

insac

Natural and Technology Sciences

Editörler

Doç.Dr. Mustafa Tolga Çöğürçü

Dr. Mehmet Uzun

Yazarlar

•**Chapter 1:** Abdülkadir Dilber, •**Chapter 2:** Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan, •**Chapter 3:** Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan, •**Chapter 4:** Mehmet Dikici, •**Chapter 5:** Cihat Erdem Bulbul, Levent Mercan, Sevgi Maraklı, •**Chapter 6:** Gani Erhan Taşar, Özden Canlı Taşar, •**Chapter 7:** Lokman Bilen, •**Chapter 8:** Gökhan Gürbüz, •**Chapter 9:** Melike Ciniviz, Gokce Keser, Lutfiye Yılmaz-Ersan, Tulay Ozcan, •**Chapter 10:** Müfide Narlı, Büşra Harnupdalı, •**Chapter 11:** Murat Gezer, •**Chapter 12:** Görkem Polat, Ezgi Türkeş, Yeşim Sağ Açıklı, •**Chapter 13:** Murat Çavuş, Şinasi Bingöl, •**Chapter 14:** Tuğba Özdemir, Özge Tüzün Özmen, •**Chapter 15:** Abayhan Buran, •**Chapter 16:** Betül Coşkun Önal, Zeynep Özdemir, •**Chapter 17:** Filiz Karakuş, •**Chapter 18:** Melek Zor, Menekşe Bulut, •**Chapter 19:** A. Hakan Aktaş, •**Chapter 20:** Şebnem Nalan Akaroğlu, Sevtap Erbilek, •**Chapter 21:** Arif Guuz Altunel •



ISBN: 978-625-8109-01-6

INSAC Natural and Technology Sciences



Editörler

Doç.Dr. Mustafa Tolga Çöğürçü
Dr. Mehmet Uzun



INSAC Natural and Technology Sciences

Doç.Dr. Mustafa Tolga ögürcü

Dr. Mehmet Uzun

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Mart 2022

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-8109-01-6

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvar kitabevi@gmail.com

Baskı ve Cilt: REPRO BİR

Repro Bir Mat Kağ. Rek. Tas. Tic. Ltd. Şti.

İvogsan 1518. Sokak 2/30 Mat-Sit iş Merkezi Ostim

Yenimahalle/Ankara

Sertifika No: 47381

INSAC Natural and Technology Sciences

Editörler

Doç.Dr. Mustafa Tolga Çöğürçü
Dr. Mehmet Uzun

Yazarlar

•Chapter 1: Abdülkadir Dilber, •Chapter 2: Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan, •Chapter 3: Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan, •Chapter 4: Mehmet Dikici, •Chapter 5: Cihat Erdem Bulbul, Levent Mercan, Sevgi Marakli, •Chapter 6: Gani Erhan Taşar, Özden Canlı Taşar, •Chapter 7: Lokman Bilen, •Chapter 8: Gökhan Gürbüz, •Chapter 9: Melike Ciniviz, Gokce Keser, Lutfiye Yılmaz-Ersan, Tulay Ozcan, •Chapter 10: Müfide Narlı, Büşra Harnupdalı, •Chapter 11: Murat Gezer, •Chapter 12: Görkem Polat, Ezgi Türkeş, Yeşim Sağ Açikel, •Chapter 13: Murat Çavuş, Şinasi Bingöl, •Chapter 14: Tuğba Özdemir, Özge Tüzün Özmen, •Chapter 15: Abayhan Buran, •Chapter 16: Betül Coşkun Önal, Zeynep Özdemir, •Chapter 17: Filiz Karakuş, •Chapter 18: Melek Zor, Menekşe Bulut, •Chapter 19: A. Hakan Aktaş, •Chapter 20: Şebnem Nalan Akaroğlu, Sevtap Erbilek, •Chapter 21: Arif Oguz Altunel •



İletişim ve Çalışma Gönderim e-mail adresi:
insackongre@gmail.com

Editörün Notu

Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluğu yazarlara aittir.

Contents

Yazarlar	5
Editörün Notu	6
Contents	7
Chapter 01	19
Yenilebilir Film Kaplamalar: Özellikleri, Sınıflandırılmaları ve Gıda Endüstrisinde Kullanmaları	19
(Abdülkadir Dilber).....	19
1. Giriş	21
2. Yenilebilir Film ve Kaplamaların, Tanımı ve Tarihçesi	22
3. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Özellikleri	22
3.1. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Avantaj ve Dezavantajları	23
4. Gıdalarda Kullanılan Yenilebilir Film ve Kaplamaların Sınıflandırılması	24
4.1. Polisakkarit Kökenli Film ve Kaplamalar	24
4.1.1. Nişasta Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	25
4.1.2. Pektin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	25
4.1.3. Selüloz Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	25
4.1.4. Aljinat ve Karragenan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	26
4.1.5. Kitosan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	26
4.1.6. Pullulan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	27
4.1.7. Gam Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	27
4.2. Protein Kökenli Film ve Kaplamalar	28
4.2.1. Mısır Zeini Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	28
4.2.2. Jelatin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	28
4.2.3. Buğday Gluteni Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	29
4.2.4. Süt Proteini Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	29
4.2.5. Soya Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar	31
4.3. Lipid Kökenli Film ve Kaplamalar	31

3.3.1.Mum ve Yağ Kökenli Kaplamalar	32
3.3.2. Yağ Asitleri Ve Monoglisericitler	32
3.3.3. Emülsiyonlar	32
3.3.4. Reçineler	32
4.4. Karma (Kompozit) Film ve Kaplamalar	33
4.5. Çift Tabakalı Film ve Kaplamalar	33
5. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıdalara Uygulanma Yöntemleri	33
5.1. Daldırma Metodu	34
5.2. Püskürtme (Sprey) Metodu	34
5.3. Köpükleme Metodu	34
5.4. Boyama Metodu	34
5.5. Dökme Metodu	35
6. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıda Endüstrisinde Kullanımı	35
7.Sonuç	36
8. Kaynaklar	37
Chapter 02.....	47
Fire Resistant Material Recommendation for Sidings of Educational Buildings	47
(Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan).....	47
1. Introduction.....	49
2. Educational Buildings in Fire Regulations	50
2.1. Educational Facilities in Fire Regulations.....	50
2.2. Sidings in Fire Insulation	51
3. Fires Caused by Sidings In The World.....	51
3.1. Example of Grenfell Tower, London	52
3.2. Example of Beijing Television Cultural Center	53
3.3. Facade Fires in Turkey.....	54
4. Fire Resistant Siding Material Recommendation	56
4.1. An Example from Turkey	56
5. Results and Suggestions.....	59
6. References	60

Chapter 03.....	63
Asbestos Exposure in Urban Renewal	63
(Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Akif Arslan).....	63
1. Introduction.....	65
2. Asbestos Mineral and Properties	66
3. The Situation of Asbestos Use in the World and in Turkey	67
4. Asbestos Exposure	68
5. Restriction of Asbestos in the World and in Turkey.....	69
6. Urban Renewal and Asbestos.....	70
6.1. Urban Renewal and Asbestos Exposure Relation	70
6.2. Asbestos Material Removal.....	71
6.3. Asbestos Inventory Report in Urban Transformation	74
6.4. Some Rules to be Followed in Asbestos Removal Process.....	75
7. Conclusion.....	78
8. References	79
Chapter 04.....	83
Hidrolojik Tahminler İçin Meteorolojik Eğilim Analizi.....	83
(Mehmet Dikici).....	83
1. Giriş	85
2. Yağış Eğilimleri.....	87
3. Sıcaklık Eğilimleri	89
4. Buharlaşma Eğilimleri.....	92
5. Referanslar	93
Chapter 05.....	95
The Biosynthesis, Functions and Importance of microRNAs in Livestock	95
(Cihat Erdem Bulbul, Levent Mercan, Sevgi Maraklı)	95
1. Introduction.....	97
2. miRNA Biogenesis	98
2.1. Canonical miRNA biogenesis	99
2.2. Noncanonical miRNA biogenesis	100

2.2.1. Drosha-independent pathways.....	100
2.2.1.1. Mirtron pathway.....	100
2.2.1.2. snoRNA-derived pathway.....	100
2.2.1.3. shRNA-derived pathway.....	100
2.2.1.4. tRNA-derived pathway	100
2.2.1.5. tRNaseZ-dependent pathway.....	101
2.2.1.6. pre-esiRNA-derived pathway	101
2.2.2. Dicer-independent pathways.....	101
2.2.2.1. AGO-dependent pathway.....	101
2.2.2.2. tRNaseZ-dependent pathway.....	101
3. Biological Functions of miRNAs in Livestock	102
3.1. Cattle	102
3.2. Sheep and goat	102
3.3. Poultry	103
3.4. Honey bee	104
4. miRNA and Retrotransposons Relationships	105
5. Concluding Remarks	106
6. References	106
Chapter 06.....	115
Yenilebilir Sucul Böcekler	115
(Gani Erhan Taşar, Özden Canlı Taşar).....	115
1. Giriş	117
2. Dünya Geneline Yenilebilen Sucul/Yarı Sucul Böcekler	119
2.1 Coleoptera.....	120
2.2 Odonata.....	121
2.3 Hemiptera	121
2.4 Diptera.....	122
2.5 Trichoptera	122
2.6 Megaloptera	122
2.7 Ephemeroptera.....	123
2.8 Plecoptera	123

3. Yenilebilir Sucul Böceklerin Besin Değerleri	123
4. Sucul Böceklerin Gıda olarak Tüketimi Ne Kadar Güvenlidir?	125
5. Türkiye'den İnsan Besin Kaynağı Olarak Yenilebilen Böcek Türleri	125
6. Sonuç ve Tartışma	126
7. Referanslar	128
Chapter 07	133
Fibre-Preserving Conformal Vector Fields on Cotangent Bundle	133
(Lokman Bilen)	133
1. Introduction	135
2. Preliminaries	136
3. Results	137
4. References	144
Chapter 08	147
GPS Gözlemleri ile Türkiye'deki Uzun Süreli Yükseklik Değişimlerinin İncelenmesi	147
(Gökhan Gürbüz)	147
1. Giriş	149
2. Materyal ve Metot	151
3. Bulgular	153
4. Sonuçlar	157
5. Referanslar	158
Chapter 09	161
Effects of Ultrasound Technology on Milk Fermentation	161
(Melike Ciniviz, Gokce Keser, Lutfiye Yilmaz-Ersan, Tulay Ozcan)	161
1. Introduction	163
1.1. Ultrasound Application	163
2. Ultrasound Technology in Fermented Dairy Products	168
3. Conclusion	171
4. References	171
Chapter 10	181
Ergonomik Risk Analizi: REBA Yöntemi ile Bir Uygulama	181

(Müfide Narlı, Büşra Harnupdalı).....	181
1. Giriş.....	183
2. Materyal ve Metod.....	186
3. Uygulama.....	195
4. Sonuçlar.....	199
5. Kaynakça.....	200
Chapter 11.....	203
Görüntülerin Değişken Boyutlu Temel Tanım ve Yapı Blok Bankaları ile Modellenmesi.....	203
(Murat Gezer).....	203
1. Giriş.....	205
2. Standart Görüntü Sıkıştırma Sistemi.....	205
3. Yöntem.....	206
3.1. Çalışma için Kullanılan Görüntüler.....	206
3.2. Kullanılan Matematiksel Yöntem.....	208
3.3. Değişken Bloklü Sympes (DBS) Algoritması.....	208
4. Deney.....	211
4.1. Lenna Görüntüsü için Benzetim Sonuçları.....	211
5. Sonuç.....	212
6. Referanslar.....	213
Chapter 12.....	215
Investigation of Adsorption Kinetics and Equilibrium for Removal of Anionic Dye Direct Blue 71 from Aqueous Media Using Magnetic Halloysite Nanotubes-Alginate Beads.....	215
(Görkem Polat, Ezgi Türkeş, Yeşim Sağ Açıklı).....	215
1. Introduction.....	217
2. Materials and Methods.....	220
2.1. Synthesis of Magnetic Halloysite Nanotubes-Alginate Hybrid Beads.....	220
2.2. Adsorption Studies in Batch Stirred Vessels.....	221
2.3. Mathematical Definition of the System, Adsorption Isotherms, Pseudo-Second Order Kinetic Model and Intraparticle Diffusion Model.....	221
3. Results and Discussion.....	224

3.1. Bet Analyses of HNTs, MHNTs, And MHNTs-ALG Hybrid Beads	224
3.2. The Effect of the Medium pH.....	225
3.3. The Effect of the Adsorbent Amount	227
3.4. The Effect of the Mass Ratio of MHNTs to ALG.....	228
3.5. The Effect of DB 71 Concentration.....	229
3.6. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with Adsorption Equilibrium Models	230
3.7. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with Adsorption Kinetic Models	233
3.8. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with the Intraparticle Diffusion Model.....	235
4. Conclusion.....	236
5. References	237
Chapter 13.....	241
Yüksek Fırın Cürufu Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı Etkisi	241
(Murat Çavuş, Şinasi Bingöl)	241
1.Giriş	243
2. Materyal ve metot.....	244
2.1. Materyal.....	244
2.2. Metot	245
3. Bulgular ve tartışma	248
3.1. Fiziksel özellikler	248
3.2. Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri.....	251
3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi	255
4. Sonuçlar	255
5. Kaynaklar	256
Chapter 14.....	261
Farklı Tip Fotovoltaik Panellerin Kış Aylarındaki Işınım, Verim ve Performans Analizleri.....	261
(Tuğba Özdemir, Özge Tüzün Özmen)	261
1. Giriş	263
2. Materyal ve Metot.....	267

3. Fotovoltaik Panellerin Kış Ayları Analizleri	269
3.1. Fotovoltaik Panellerin Işınım ve Sıcaklık Analizi	269
3.2. Üretilen Enerji	271
3.3. Verim ve Performans	272
4. Sonuçlar	277
5. Referanslar	278
Chapter 15	283
Evsel Katı Atıkların Değerlendirilmesi	283
(Abayhan Buran)	283
1. Giriş	285
2. Evsel Katı Atıkları Değerlendirme Yolları	286
2.1. Evsel Katı Atıkların Depolanması	287
2.2. Katı Atıkların Kompostlanması	288
2.3. Biyokurutma Prosesi	290
2.4. Evsel Katı Atıkların Biyogaz Üretiminde Değerlendirilmesi	291
2.4.1. Evsel Katı Atıklardan Mezofilik ve Termofilik Koşullarda Metan Gazı Üretimi	291
2.4.2. Biyogaz Üretim Prosesini Etkileyen Faktörler	293
2.5. Evsel Katı Gıda Atıklarından Pigment Üretimi	293
2.6. Evsel Gıda Atıklarının Hemiselüloz Bileşimi	294
3. Evsel Atık Gıdanın Geri Dönüşümünde Güney Kore Örneği	294
4. Sonuç	296
5. Referanslar	298
Chapter 16	303
Salda Gölü (Burdur) Güney Bölgesi Sediman Örneklerinin Element Beraberlikleri	303
(Betül Coşkun Önal, Zeynep Özdemir)	303
1. Giriş	305
2. Jeoloji	306
2.1. Dutdere Kireçtaşları	306
2.2. Dunit Üyesi	306
2.3. Marmaris Peridotiti	307

2.4. Kızılıcağ Ofiyolitli Melanj ve Olistostromu	307
2.5. Alüvyon.....	307
3. Materyal Ve Yöntemler	308
3.1. Sediman Örneklerinin Kimyasal Analizi.....	308
4. Bulgular Ve Tartışmalar	309
4.1. Sediman Örneklerinin Ana Element Konsantrasyonları	309
4.2. Sediman Örneklerinin İz Element Konsantrasyonları	309
4.3. Sedimanların Ana Element Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması	313
4.4. Sedimanların İz Element Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması	315
5. Sonuçlar	320
6. Kaynaklar	321
Chapter 17.....	323
Examination of Ilkhanid Period Tombs and Mausoleums.....	323
(Filiz Karakuş).....	323
1. Introduction.....	325
2. Ilkhanid Period Tombs and Mausoleums	325
2.1. Tombs of Gazan Khan and Vizier Reşidüddin:	325
2.2. Sultan Olcayto Tomb, Sultaniye:	326
2.3. Sheikh Mohammed Ibn Bakran (Tomb of Pir-i Bakran), Linjan:	329
2.4. Bayezid Bastami Tomb, Bastam-Bistam:	331
2.5. Abd al-Samad (Sheikh Abdussamed Isfahani) Tomb, Natanz:	333
2.6. Barak Baba Tomb, Sultaniye:.....	335
2.7. Imamzadeh Jafar Tomb, Isfahan:.....	336
2.8. Celebioglu Tomb, Sultaniye:	337
2.9. Tomb in Tus and Serahs:	338
2.10. Shamseddin Tomb, Yazd:	340
2.11. Esther and Mordecai Tomb, Hamadan:	340
3. Evaluation and Conclusion	340
4. References	341
Chapter 18.....	345
Bitkisel Sütlerin Elde Edilme Kaynakları ve Üretim Yöntemleri	345

(Melek Zor, Menekşe Bulut)	345
1. Giriş	347
2. Bitkisel süt elde edilen kaynaklar	350
2.1. Badem (<i>Prunus amygdalus</i>)	350
2.2. Soya (<i>Glycine max</i>)	353
2.3. Fındık (<i>Corylus avellana</i>)	356
2.4. Acı bakla (<i>Lupinus albus</i>)	357
2.5. Ceviz (<i>Juglans regia</i> L.)	358
2.6. Kinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	359
2.7. Hindistan Cevizi (<i>Cocos nucifera</i>)	360
2.8. Kenevir (<i>Cannabis sativa</i> L.)	361
2.9. Yulaf (<i>Avena sativa</i>)	362
2.10. Pirinç (<i>Oryza sativa</i> L.)	363
2.11. Nohut (<i>Cicer arietinum</i>)	366
2.12. Susam (<i>Sesamum indicum</i>)	367
2.13. Ayçiçeği çekirdeği (<i>Helianthus annuus</i>)	368
2.14. Kavun çekirdeği	368
2.15. Kabak çekirdeği	369
2.16. Yer fıstığı (<i>Arachis hypogea</i> L.)	369
2.17. Antep Fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	370
2.18. Keten tohumu (<i>Linum usitatissimum</i>)	370
3. Bitkisel Süt Üretim Yöntemleri	371
4. Sonuç	379
5. Kaynaklar	379
Chapter 19	391
Bazı Renklendirici Maddelerin Temel Bileşen Regresyonu (PCR) Yöntemi ile Spektrofotometrik Olarak Tayin Edilmesi	391
(A. Hakan Aktaş)	391
1. Giriş	393
2. Materyal ve Yöntem	394
2.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar	394

2.2. Yöntem	395
2.3. Ticari numune.....	395
2.4. Temel Bileşen Regresyonu (PCR)	395
3. Bulgular	396
3.1. PCR yönteminin validasyonu	396
3.2. Uygulanan yöntem için ANOVA çalışmaları	397
3.3. PCR yönteminin ticari örneğe uygulanması	397
4. Tartışma ve Sonuç	398
5. Kaynaklar	398
Chapter 20.....	401
Rubygem, Fortuna ve Sabrina Çeşitlerinin Sultanhisar Koşullarına Adaptasyonlarının Bazı Meyve Kalite Özellikleri Yönünden İncelenmesi	401
(Şebnem Nalan Akaroğlu, Sevtap Erbilek)	401
1. Giriş	403
2. Materyal ve Yöntem	406
2.1. Materyal.....	407
2.2. Yöntem	408
2.3. İstatiksel Analiz.....	408
3. Bulgular ve Tartışma	408
4. Sonuç	412
5. Referanslar	412
Chapter 21.....	415
Excerpts from Hardcopy to Digital Forest Management in Turkey: How to Tackle Topological Issues in GIS Geodatabases	415
(Arif Oguz Altunel)	415
1. Introduction.....	417
2. Material and Methodology	419
2.1. Study Area and the Inspected Geodatabase	419
2.2. Methodology.....	420
2.2.1. How Does Basic Topology Work?	421
2.2.2. Error Correction.....	424

2.2.2.1. “Must Not Have Gaps” Correction 425

2.2.2.2. “Must Not Overlap” Correction 428

3. Results and Discussion 430

4. Conclusion..... 432

5. References 433



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 01



**Yenilebilir Film Kaplamalar: Özellikleri, Sınıflandırılmaları
ve Gıda Endüstrisinde Kullanmaları
(Abdülkadir Dilber)**

Yenilebilir Film Kaplamalar: Özellikleri, Sınıflandırılmaları ve Gıda Endüstrisinde Kullanmaları

Abdülkadir Dilber

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Gıda Teknolojisi Programı
E-mail: akdilber@kmu.edu.tr*

1. Giriş

Gıdalar üretimden tüketime kadar pek çok farklı şekilde kalite kaybına uğramaktadır. Bu nedenle gıdanın duyuşal özelliklerinin ve besin değeriinin korunması ve kalite kayıplarının önlenmesi önem taşımaktadır (Yousuf ve ark., 2017; Topuz ve Boran, 2018; Kozlu, 2020).

Gıdaların üretiminden, tüketiciye ulaşana kadar geçen süre zarfında tazeliğini, kalitesini ve bütünlüğünü koruyan muhafaza işlemine ambalajlama denir. Ürünün özelliklerine uygun ambalaj materyalinin seçilmesi ve tasarlanması son derece önemlidir (Şahin ve Akpınar 2008; Temiz, 2006; Bahtimur, 2018).

Günümüzde dünya nüfusunun artmasına paralel olarak, artan çevre kirliliği ile birlikte gıda kaynaklarındaki azalmalar, gıdaların korunmasını önemli hale getirmektedir. Bu amaçla raf ömrünün daha uzun olmasını sağlayan ambalajlama ve depolama tekniklerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Gıdaların depolanması ve taşınması sırasında maruz kaldıkları çeşitli olumsuz etkileri engellemek veya azaltmak ve uzun raf ömrü sağlamak için çeşitli ambalaj materyalleri kullanılmaktadır. Ambalajlar, gıda ürünlerini belirli bir süre fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkilerden korumaktadır (Yousuf ve ark., 2017; Topuz ve Boran, 2018; Kozlu, 2020).

Gıda endüstrisinde ambalaj materyali olarak bazı plastik, cam, metal, kağıt ve karton gibi malzemeler tercih edilmekte ancak bu malzemeler çevre kirliliği açısından büyük sorun teşkil edebilmektedir. Ayrıca bu malzemeler atık sorunu oluşturmakta, petrol türevi ambalajlar ise kanser riski taşımaktadır. Bu nedenle günümüz tüketicileri çevre dostu ve geriye dönüşümlü materyallere doğru yönelmektedir. Alternatif ambalaj materyali olarak yenilebilir film ve kaplamalara olan ilgi de bu nedenle gün geçtikçe artmaktadır (Vargas ve ark., 2008; Küçük ve ark., 2017; Kozlu, 2020).

Gıdaların ambalajında kullanılan yenilebilir film ve kaplamaların etkinliğini, sahip oldukları mekanik, fiziksel ve duyuşal özellikleri belirlemektedir (Bahtimur, 2018).

2. Yenilebilir Film ve Kaplamaların, Tanımı ve Tarihçesi

Gıda yüzeyine ince bir katman halinde uygulanan ve gıda ile birlikte tüketilebilen malzemeler yenilebilir film ve kaplama olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca bu tip kaplamalar su buharı ve çözünen madde geçirgenliğine uyumluluk, uçucu bileşenlere ve gazlara karşı seçici geçirgenlik göstermektedir (Suput ve ark., 2015; Hassan ve ark., 2018; Kozlu,2020).

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla doğal kaynaklardan elde edilerek, ürün yüzeyine ince bir tabaka olarak uygulanan, çevre dostu ambalajlama yöntemleridir. Söz konusu filmler, kullanıldığı ürünlerin kalitesini iyileştiren ve aynı zamanda gıdalar ile tüketildiklerinde insan sağlığına olumsuz etki yapmamaktadır (Yıldız ve Yangılar, 2014). Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara raf ömrünü uzatmak için uygulanması yeni bir uygulama değildir. Nem geçişini önlemek, gıdaların görünümünü iyileştirmek ve ürünün raf ömrünü arttırmak için yüzyıllar boyunca yenilebilir film ve kaplamalar kullanılmıştır (Ocak ve ark., 2020). İlk olarak, 12. yüzyılda Çin’de mumdan yapılan kaplamalar limon ve portakallarda nem kaybını engellemek ve cazip bir görüntü sunmak amacıyla kullanılmıştır. 15. yüzyılda Japonya’da Yuba adı verilen yenilebilir film kaynatılmış soya sütünden elde edilerek, gıdaların kalitesini iyileştirilmek maksadıyla kullanılmışlardır (Gennadios, 2002). 19. yüzyılda ise et ürünleri jelatin ile kaplanarak muhafaza edilmiştir. Yine aynı yüzyılda ceviz, badem ve fındıkların depolanması sırasında meydana gelen oksidasyon ve bozulmanın önlenmesi için yenilebilir koruyucu bir kaplama olarak ilk kez sakkaroz kullanılmıştır (Dursun ve Erkan, 2009). Söz konusu uygulama Avrupa’da "larding" adıyla meyve ve sebzelerde kullanılmış, ürünler daha sonra tüketilmek üzere mum veya çeşitli yağlar ile birlikte depolanmıştır (Contreras-Medellin ve Labuza, 1981). Bu uygulama nem kaybını ve yumuşamayı engellemiş ancak meyve ve sebzelerin tat, aroma gibi duysal özelliklerini olumsuz yönde etkilemiş ve ürün kalitesini düşürmüştür. Bu işlemler ürün kalitesi bakımından günümüz tüketicilerince yetersiz olarak görülse de o dönem şartları için uygulanabilir olarak kabul görmüştür (Enbuscado ve Huber, 2009;Kozlu, 2020).

3.Yenilebilir Film ve Kaplamaların Özellikleri

Gıdaların raf ömrünü uzatmaları, gıdaları dış etkilere korumaları, gıdalarla birlikte tüketilebilen sağlıklı materyaller olmaları ve çevreye zarar vermeden doğada yok olmaları yenilebilir film ve kaplamaların en önemli özelliklerini oluşturmaktadır (Şahin ve Akpınar 2008).

Yenilebilir film ve kaplamalar özellikle taze ve dondurulmuş gıdalarda su kaybını azaltan verimli bir nem bariyeri olarak kullanılmakta ve gıdadaki gaz transferini kontrol altına alarak oksidasyonu engellemektedir (Bahtimur, 2018).

3.1. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Avantaj ve Dezavantajları

Diğer ambalaj filmlerine göre yenilebilir filmler; biyolojik olarak parçalanabilir olmaları, gıdaların lezzet, tat ve koku gibi özelliklerini iyileştirmeleri, gıdaların nem kaybını azaltarak tazeliklerini korumalarına yardımcı olmaları, çevre dostu olup doğada kolayca yok olmaları, gıdaların bozulmasını kolaylaştıran oksijene karşı iyi bir bariyer olmaları, yenilebilir antimikrobiyal maddeler için taşıyıcı görevi görmeleri gibi birçok önemli avantaja sahiptir (Işık ve ark., 2013).

Yenilebilir film ve kaplamaların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir; (Rhim ve Ng, 2007)

- Yenilebilir,
- Biyolojik olarak parçalanabilir,
- Gıdaların besinsel değerini artırır,
- Gıdanın görünüş, koku ve lezzet gibi duyuşal karakteristiklerini geliştirir,
- Paket hacmini, ağırlığını ve atığını azaltır,
- Antimikrobiyal ajanlar ve antioksidantlarla birleşir ve taşıyıcı olarak fonksiyon görür,
- Ambalajsız ürünlerin raf ömrünü uzatır ve kalitesini yükseltir,
- Nem, gazlar, yağlar ve çözünenlerin geçişini kontrol eder,
- Fındık ve kuru üzüm gibi küçük partiküllü gıdaların bireysel paketlenmesini sağlar,
- Aktif bileşenlerin çıkışını kontrol eder ve mikro enkapsülasyonunu sağlar,
- Yenilemeyen filmlerle beraber çok katlı gıda ambalajında kullanılabilir,
- Düşük fiyatlı ve verimlidir,
- Her yıl yenilenebilir kaynaklardır.

Yenilebilir film ve kaplamaların dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Uygulanacak materyaller sınırlı, uygulama maliyetleri yüksektir.

•Yeni bir teknoloji olduğundan çoğu tüketici tarafından yeterince tanınmamaktadır.

•Yenilebilir özellikte olduğundan genellikle ikinci bir ambalaj materyaline ihtiyaç duyulmaktadır.

•Söz konusu kaplamanın kullanımı petrol türevi ambalaj materyallerine kıyasla sınırlı olup madde transferine karşı fiziksel ve kimyasal dirençleri daha düşüktür (Gennadios ve Weller, 1990; Baldwin, 1995).

4. Gıdalarda Kullanılan Yenilebilir Film ve Kaplamaların Sınıflandırılması

Yenilebilir film ve kaplamalar gıda endüstrisinde gıdaların raf ömrünü arttırmak, besin değerini korumak, duyuşal özelliklerini iyileştirmek ve mikrobiyal kontaminasyonu azaltmak amacıyla kullanılan yenilikçi ambalajlama yöntemleri arasında yer almaktadır. Söz konusu film ve kaplamalar karmaşık üretim teknolojisi gerektirmemeleri, ekonomik olmaları, doğal bileşiklerden elde edilmeleri ve biyolojik olarak bozunabilmeleri gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Günümüz tüketicilerinin güvenilir, yüksek kaliteli ve raf ömrü uzun ürünlere yönelmesi yenilebilir film ve kaplamaların kullanımına olan ilgiyi arttırmaktadır (Yousuf ve ark., 2017; Suput ve ark., 2015).

Yenilebilir film ve kaplamalar, biyolojik kaynaklı polimer yapılarına göre polisakkaritler, proteinler ve yağlar olarak 3 kısımda sınıflandırılabilir.

4.1. Polisakkarit Kökenli Film ve Kaplamalar

Polisakkaritler, monosakkaritlerin glikozidik bağlarla bağlanarak oluşturdukları kompleks karbonhidratlardır. Polisakkarit ve türevleri maliyetlerinin düşük olması, elde edilmelerinin kolay olması ve film oluşturma özellikleri iyi olmaları nedeniyle günümüzde yaygın olarak yenilebilir film ve kaplama üretiminde kullanılmaktadır (Tural ve ark., 2017; Robertson, 2013).

Polisakkarit esaslı kaplamaların büyük bir kısmını “nişasta (patates, mısır, buğday, pirinç ve diğer türevleri), selüloz (pamuk, odun ve diğer türevleri), gumlar (guar, keçiyoynuzu, aljinatlar, karragenan, pektinler ve diğer türevleri), kitin/kitosan gibi polimerler” oluşturmaktadır. Bunların gaz geçirgenlikleri düşüktür (Işık ve ark, 2013; Yüce, 2018).

Polisakkaritlerinden üretilen yenilebilir film ve kaplamaların hidrofilik özelliklere sahip olmaları sebebiyle su buharı geçirgenlikleri yüksektir. Ancak bu kaplamaların gaz geçişlerine karşı dirençli olmaları sebebiyle istenilen atmosfer koşullarını oluşturmada ve bu sayede kaplanmış ürünlerin

raf ömrünü uzatmaktadır (Yang ve Paulson, 2000). Yağlı olmayan bir görünüşe sahip olan bu film ve kaplamalar, düşük kalorili ve renksiz olmaları sebebiyle; ürünlerde su kaybını, yüzeyinde oluşacak esmerleşmeyi ve oksidatif bozulmayı düşürerek, özellikle meyve ve sebzelerin, deniz kabuklularının ve et ürünlerinin raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılmaktadır (Hassan ve ark., 2018; Chiumarelli ve Hubinger, 2014; Azarakhsh ve ark., 2014).

4.1.1. Nişasta Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Nişasta bazlı film ve kaplamalar şeffaf, renksiz, kokusuz ve maliyetleri düşüktür. Nişasta bazlı film ve kaplamalar oksijen ve karbondioksit geçişini sınırladıklarından önemli bir avantaja sahiptirler. Ancak nem transferini önleyemediklerinden bu konudaki etkileri zayıftır (Müller ve ark., 2009). Doğal olarak var olan bir karbonhidrat polimeri olan nişasta, susuz glikoz kalıntılarından oluşur. Çoğunlukla nişastalar, bir düz zincir glikoz polimeri olan amilozdan ve dallanmış zincir yapısına sahip bir glikoz polimeri olan amilopektinden oluşmaktadır (Hassan ve ark., 2018).

4.1.2. Pektin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Pektinler bitkilerin hücre duvarlarında doğal olarak bulunmakta ve genellikle "pektik maddeler" olarak bilinmektedir. Lineer galakturonik asit zincirlerinden oluşan söz konusu polimer karmaşık yapılı bir polisakkarit grubudur (Hassan ve ark., 2018). Hücre iç yapısını sağlamlaştıran pektinler, uygun koşullarda jel oluşturmakta, böylece gıda endüstrisinde kıvamlaştırıcı ve jelleştirici olarak jöle, reçel, marmelat, lokum, cezerye ve şekerleme yapımında kullanılmaktadır. Yenilebilir film kaplama materyali olarak da tercih edilen pektinlerin çözünürlük ve jelleşme özellikleri pektinin kimyasal yapısına (metil ester içeriği), miktarına, hangi bitkisel kaynaktan elde edildiğine veya ekstraksiyon koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Pektin bazlı kaplamaların meyve, sebze ve et ürünlerinde dokusal özellikleri muhafaza ettiği ve raf ömrünü artırdığı belirtilmektedir (Kang ve ark., 2007; Marquez ve ark., 2017). Bununla birlikte, söz konusu film ve kaplamaların düşük nem içeriğine sahip gıdalarda kullanıldığında iyi bir nem bariyeri olmamaktadırlar (Savary ve Nunez 2003; Espita ve ark., 2014; Kozlu, 2020).

4.1.3. Selüloz Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Selüloz, bitki hücrelerinin önemli bir kısmını oluşturan ve tabiatta yaygın bulunan bir polisakkarittir. Yapısal olarak amiloza benzer, Ancak glikozun 1-4 glikozit bağları ile bağlanmaları sonucu oluşan, dallanmış yapı göstermeyen bir moleküldür (Hassan ve ark., 2018). Yenilebilir film ve kaplama üretimi için su ve alkolde çözünmeyen selülozlar kullanılmaz.

Özellikle yenilebilir film üretiminde suda çözünür özelliği olan ve esnek yapıda olmaları sebebiyle metil selüloz, hidroksipropil metil selüloz, hidroksipropil selüloz ve karboksimetil selüloz gibi selülozun türevleri kullanılmaktadır. Bu tip kaplamalar esnek, tatsız, düşük enerjili, şeffaf, kokusuz, yağlara karşı dirençli ve hidrofilik olup oksijene ve neme karşı orta derecede dirençlidir. Metil selüloz ve hidroksipropil metil selüloz kaplamalar etlere uygulanarak pişirme sırasında meydana gelen besin kaybını minimize etmektedir. Dondurulmuş patates ve soğanların kızartmaları sırasında çok fazla yağ emilimini, tavuk ve su ürünlerinde ise nem kaybını düşürmektedir (Dursun ve Erkan, 2009; Küçük ve ark., 2017).

4.1.4. Aljinat ve Karragenan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Phaeophyceae sınıfına ait kahverengi deniz yosun türlerinin alkali ile reaksiyona girmesiyle elde edilen aljinatlar, b-D-mannuronik asit ve a-L-guluronik asit birimlerinden oluşmaktadır. Deniz yosunu türüne ve yosunun hangi bölümünden elde edildiğine bağlı olarak aljinattaki mannuronik ve guluronik asit oranları değişiklik gösterebilmektedir (Hassan ve ark., 2018). Guluronik asit içeriği yüksek olan deniz yosunu türlerinden elde edilen aljinatlarda, kalsiyum iyonlarıyla güçlü bir bağ oluşumu güçlü bir jel oluşumunu sağlamaktadır (Tavassoli-Kafrani ve ark., 2016). Aljinatlar “suda çözünen, toksik etkileri olmayan, düşük maaliyetli, biyo-parçalanabilir ve biyo-uyumlu polisakkaritler olup daha çok kaplamalarda oksijen bariyeri” olarak kullanılırlar (Jiang, 2013; Vu ve Won, 2013). Ayrıca aljinatlar gıdalarda lipid oksidasyonu sonucu meydana gelen acılaşmayı önlemede etkilidir. Bu nedenle aljinatlar meyve ve sebzelerde esmerleşmeyi, hayvansal ürünlerde ise lipidlerin bozularak acılaşmasını önlemektedir (Diaz-Mula ve ark., 2012; Yeşiltaş 2012).

Karragenanlar kırmızı deniz yosunların (*Rhodophyceae*)’dan elde edilen bir polimer olup hidrokolloid sınıfında yer almaktadır. Suda çözünür özellikte olan karragenanlar aljinatlar gibi gıda endüstrisinde kıvam arttırma, jelleştirme ve gıdaların viskozitelerini iyileştirme gibi nitelikleri için tercih edilmektedir. Ayrıca stabilizatör ve kaplama materyali olarak kullanılmakta, eklendiği ürünün rengini ve kokusunu değiştirmemektedir (Baldwin ve ark., 1995; Tavassoli-Kafrani ve ark., 2016).

4.1.5. Kitosan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Doğada selülozdan sonra en yaygın olarak bulunan ve yenilebilir bir biyopolimer olan kitosan yengeç, karides, istakoz gibi kabuklu deniz ürünlerinin dış iskeletlerinde, alglerde ve bazı mikroorganizmaların hücre duvarlarında doğal olarak bulunan kitinin deasetillenmiş formudur. Deasetilasyon işlemi sonrası pozitif bir elektrik yükü kazanan kitosan

polimeri negatif yüklü lipit, yağ, kolesterol ve protein gibi büyük moleküllerle kimyasal bağ yapabilmektedir. Kitin su, alkol, asit veya bazik çözeltilerde çözülmez ancak lityum klorür ve dimetilasetamin gibi toksik etkili çözügenlerde çözülür. Kitosan ise seyreltik asetik asit çözeltilerinde kolayca çözünmektedir (Rinaudo, 2006).

Kitosan doğal, alerjen içermeyen, toksik etki göstermeyen, biyouyumlu, biyobozunur, güvenilir, sağlığa yararları olan ve ekonomik bir polimerdir. Gıda endüstrisinde, çoğunlukla gıdalar üzerinde bir film tabakası oluşmasına izin veren yapısal özellikleri nedeniyle başarıyla kullanılmaktadır. Kitosan bazlı kaplamalar iyi gaz bariyer özelliklerine sahiptir. Ayrıca bu tip kaplamalar katyonik özellikleri sayesinde antimikrobiyal etkileri açısından ön plana çıkmaktadır. (Maghsoudlou ve ark., 2012).

Kimyasal reaksiyonlar için aktif kısım olan serbest amin gruplarına sahip olmaları kitosana avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle reaksiyon kabiliyeti daha yüksek olan kitosana karşı ilgi giderek artmakta ve gıda endüstrisinde çeşitli alanlarda (stabilizatör, jelleştirici ve yenilebilir kaplama materyali) kullanılmaktadır (Yıldız ve Yangılar, 2014).

4.1.6. Pullulan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Pullulan *Aureobasidium pullulans* tarafından elde edilen, hücre dışı bir polisakkarit olup kimyasal olarak başlıca α -1,6 glikozidik bağlarıyla birbirine bağlanmış maltotrioz ünitelerinden oluşan bir glukandır. Endüstriyel bir polisakkarit olarak üretilen pullulan suda çözünebilir, biyolojik olarak parçalanabilen, tatsız, yağa dirençli, sıcaklıktan etkilenmeyen, oksijen geçirilmeyen ve toksik olmayan bir polimer olmaları nedeniyle yenilebilir film ve kaplama üretiminde kullanılmaktadır (Xiao ve ark., 2017). Pullulan bazlı yenilebilir film ve kaplamalar minimal işlem görmüş bazı ürünlerin raf ömrünü arttırmak amacıyla daha çok esmerleşme karşısı bileşenler ve antimikrobiyal ajanlar ile birlikte kullanıldığında etkili sonuçlar vermektedir (Singh ve ark., 2008).

4.1.7. Gam Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Gam kavramı doğal olarak bitkilerden sızan zambak benzeri, yapışkan maddeler olup suda dağılılabilen veya çözünebilir polisakkaritler olarak açıklanmaktadır. Bu tip maddeler kolloidal yapıda ve hidrofilik özellikte olduklarından “hidrokolloidler” olarak da tanımlanmaktadır (Kılınççeker ve Küçüköner, 2005). En önemli özellikleri hidrofilik karakterleri nedeniyle düşük oranlarda kullanıldıklarında sulu çözeltilerde ve süspansiyonlarda jelleşme yapmaları ve kıvam arttırmalarıdır (Liu ve Xu, 2019). Gamlar suda çözündüklerinde serbest suyu bağlar ve viskoziteyi artırırlar. Böylece gıda

endüstrisinde jelleştirici, kıvam artırıcı, kapsülleyici, stabilize edici ajan ve yenilebilir kaplama bileşeni olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tahir ve ark., 2019). Reçine gamları (gam arabik, karaya ve tragakant), deniz yosunu ekstraktları (karragenan, agar, aljinat), tohum ekstraktları (guar, keçiyoynuzu gamı), mikrobiyal gamlar (ksantan gam, gellan gam), bitki ekstraktları (pektinler, konjac unu) ve modifiye gamlar (selüloz türevleri) gıda endüstrisinde yenilebilir film kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (Kılınççeker ve Küçüköner, 2005).

4.2. Protein Kökenli Film ve Kaplamalar

Yenilebilir protein filmleri; hayvansal orijinli proteinler (jelatin, kollajen, keratin, yumurta beyazı proteini, kazein ve peynir altı suyu proteini, balık miyofibriler proteini) ve bitkisel orijinli proteinler (buğday gluteni, ayçiçeği proteini, soya proteini, mısır zeini, bezelye proteini, çığit proteini ve yer fıstığı proteini gibi) olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Protein bazlı filmlerin bariyer ve mekaniksel özellikleri polisakkarit bazlı filmlerden ekseriyetle daha iyidir (Sabato ve ark., 2007).

Protein film kaplamalar, daha iyi oksijen ve karbondioksit bariyeri özelliğine sahip olmakla birlikte, genellikle düşük su buharı bariyeri özelliği göstermektedirler (Suput ve ark., 2015; Shit ve Shah, 2014). Protein film kaplamaların nem geçişine karşı dirençleri düşük olmakla beraber mekanik özellikleri daha kuvvetlidir (Yousuf ve ark., 2017).

4.2.1. Mısır Zeini Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Mısırdan elde edilen zein proteinleri hidrofobik yapıdadır (Shukla and Cheryan, 2001). Zein proteini, etanol-su karışımı ile ekstraksiyonundan sonra kurutularak yenilebilir film ve kaplama olarak kullanılabilir (Dickey ve ark., 2002). Zeinden elde edilen filmler meyve ve sebzelerin yüzeyinde sert ve parlak tabaka meydana getirmek için kullanılırlar (Küçük ve ark., 2017). Diğer protein filmlere kıyasla zein bazlı kaplamaların nem bariyer özellikleri daha güçlüdür. Ayrıca plastikleştiriciler, zein bazlı filmlerde kırılğan yapıyı önlenmek ve esnekliklerini arttırmak için kullanılmaktadırlar, aynı zamanda nem bariyer özelliklerini de iyileştirmek amacıyla yağ asitleri formülasyona katılmaktadır (Hassan ve ark., 2018).

4.2.2. Jelatin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Jelatinin ham maddesi kolajen, hayvanlarda bağ dokunun ana elementi olup, fibriler ve α -heliks yapıda suda çözünmeyen bir protein polimeri olup hayvansal dokuların deri, kemik, tendon ve kıkırdak gibi kısımlarında bulunmaktadır (Shit ve Shah, 2014). Hidrofobik fibröz proteinlerin hidrolizi ile üretilen jelatin doğal, kokusuz ve suda çözünür bir materyal olup

endüstriyel olarak kemik ve derilerdeki kolajenden üretilme ve gıdaların elastikliğini, kıvamını ve stabilitesini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Jelatin yüksek miktarda glisin, prolin ve hidroksil-prolin aminoasitlerinden ve hidrofilik karakterli tekli ve çift katlı katlanmamış zincirlerden oluşmaktadır (Erge ve Zorba, 2016; Topuz ve Boran, 2018).

Jelatin, iyi bir film ve emülsiyon oluşturma özelliğinin olması, aynı zamanda suda çözünürlüğünün yüksek ve yenilebilir olması nedeniyle çok yaygın kullanılan bir kaplama materyalidir (Peker ve Aslan 2011). Jelatin filmler ayrıca, oksijen, nem ve yağ geçişini azaltmak için etlerde kaplama olarak kullanılırlar (Bourtoom 2008, Wittaya 2012). Jelatinler şeffaf ve güçlü filmler oluşturmakta, gıda ve ilaç imalatında mikroenkapsulasyon ve kapsül kaplamaları olarak da kullanılmaktadırlar (Wittaya 2012).

4.2.3. Buğday Gluteni Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Buğday proteini gluten, gliadin ve glutenin proteinlerinin elektrostatik çekimi bir araya gelerek oluşan kompleks bir proteindir (Kozlu, 2020). Gluten, yüksek ya da düşük pH'lı sulu çözeltilerde çözünür ancak suda çözünmez. Bu tip sulu çözeltilerde çözünen gluten bu solüsyonun kurutulmasıyla elde edilmekte ve gıdalarda yenilebilir film ve kaplama olarak kullanılmaktadır (Hasssan ve ark., 2018).

Glutenden hazırlanan film ve kaplamalar gazlara özellikle oksijen, karbon dioksit ve etilene karşı kuvvetli bir direnç oluşmasını sağlarlar (Yousuf ve ark., 2017). Glutenden üretilen film ve kaplamalar şeffaf görünümlü, mekanik olarak kuvvetli ve ürün yüzeyinde homojen bir tabaka oluştururlar, böylelikle kaplandıkları ürünün görünüşünü iyileştirirler. Ancak bu film ve kaplamaların su buharı yani nem bariyer özellikleri zayıftır (Suput ve ark., 2015).

Buğday gluteninin saflığı, film görünümü ve mekanik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Gluten bazlı film kaplamalar gıda endüstrisinde çerezler üzerine, tuz veya çeşitli tat vericilerin daha iyi kaplanmasını sağlamakla birlikte, fırıncılık ürünlerinde tat ve renk bileşenlerinin korunmasında kullanılırlar (Gennadios ve Weller, 1990; Hassan ve ark., 2018).

4.2.4. Süt Proteini Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Süt proteinleri kararlı yapılarından dolayı geçirgenliğin kontrol altına alınması bakımından, yenilebilir kaplamaların üretimi için uygun bileşenlerdir. Süt proteini, %80 kazein ve %20 peynir altı suyundan meydana gelmektedir. Peynir altı suyu, peynir üretimi sırasında ortaya çıkan ve son yıllarda yenilebilir kaplamaların üretiminde kullanılan süt proteini kaynağıdır. Peynir altı suyu proteini gıda endüstrisinde genellikle bebek

mamalarının formülasyonlarında, sporcular için üretilen ürünlerde ve yenilebilir film kaplama materyali olarak tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak peynir altı suyu proteini bazlı ürünlere yönelik araştırmalar hız kazanmıştır (Hassan ve ark., 2018).

Süt Protein bazlı yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özelliklerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (Yılmaz ve ark., 2007):

- Kütle transferinin önlenmesi,
- Gıda maddesinin yapısal bütünlüğünün mekanik darbelere karşı korunması,
- İçine eklenen çeşitli komponentlerle (renk, tat vb. maddeler) desteklenerek gıda maddesinin duysal özelliklerini çekici hale getirmesi,
- Gaz transferinin (oksijen, karbondioksit) yavaşlatılması,
- Lipid kökenli kaplamalarla oluşturulan kompozit filmlerin depolama ve pişme sırasında nem transferini yavaşlatması,
- Gıda yüzeyine kaplanan antioksidant ve antimikrobiyaller gibi koruyucu katkı maddeleri için taşıyıcı yüzey olarak kullanılması,
- Lezzet verici vb. maddelerin mikrokapsülasyonunda da kullanılarak bu maddelerin gıdaya geçişlerini kolaylaştırması,
- Çeşitli bileşenlerden oluşmuş heterojen yapıdaki gıdalarda tabakaların ayrılmasında emülgatör olarak stabilite sağlaması,
- Esmerleşme reaksiyonlarını önleyici iyonlar, vitamin ve besleyici maddeler ilavesi ile gıdanın besleyici özelliğinin artırılması.

Peynir altı suyu proteini filmleri düşük nisbi nemde yüksek dokusal direnç göstermekte ve iyi bir gaz bariyeri olarak ön plana çıkmaktadır. Koku bileşenlerinin ve lipitlerin gıda içinde kalması amacıyla da tercih edilen kaplamalar; şekerleme, çikolata ve bisküvi ürünlerinde, kahvaltılık olarak üretilen gevreklerde nem geçirgenliğini azaltarak yumuşamayı geciktirmek ve kuru üzümde yapışkanlığını gidermek amacıyla kullanılmaktadır (Krochta and Mulder-Johnston, 1997).

Suda çözünebilen bir fosfoprotein olan kazein ile formülize edilen film kaplamalar esnek, transparan ve kokusuzdur. Bu tip kaplamaların zayıf olan nem bariyeri özellikleri pamuk, mısır, keten tohumu gibi yağların ilavesi ile geliştirilebilmekte böylece kek, çikolata ve fındık gibi ürünlerin raf ömrü uzamakta ve duysal özellikleri korunmaktadır (Krochta ve Mulder-Johnston, 1997; Kozlu, 2020).

4.2.5. Soya Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Soya proteini filmlerin yapımında ham materyal olarak yaygın şekilde kullanılan en önemli proteinlerden biridir. Özellikle soya filmleri Uzakdoğu ülkelerinde daha çok üretilmektedir. “Soya protein konsantresi ve soya protein izolatları kuru ağırlık olarak % 70–90 oranında proteinden oluşmaktadır. Soya proteini izolatları, yağı alınmış soya keklerinin seyreltik alkali ile ekstraksiyonu sonucunda elde edilmektedir. Ekstraksiyon sonucu protein, pH'nın 4.5 altına düşürülmesi ile çöktürülür ve daha sonra santrifüj yardımıyla ayrılıp kurutulur” (Gennadios ve ark., 1993). Film oluşumu; özellikle protein polimerizasyonundan sorumlu olan disülfid bağlarına ısı uygulamasıyla artmaktadır (Temiz ve Yeşilsu, 2006).

Genellikle yüksek besin değerine sahip olan soya bazlı film ve kaplamalar nem kaybını önlemede zayıf, oksijen geçişine karşı yüksek bariyer özelliği gösterirler. Soya proteini ile hazırlanan filmler genellikle lipit oksidasyonunu engellemek amacıyla kullanılmasına karşın, elastikliğini arttırmak ve filmdeki yapışkanlığı gidermek amacıyla plastikleştiriciler kullanılmaktadır (Ghidelli ve ark., 2014; Hassan ve ark., 2018).

4.3. Lipid Kökenli Film ve Kaplamalar

Hayvansal ve bitkisel yağlar, trigliseridler ve diğer bazı lipitler ile türevlerinden oluşmaktadır. Yenilebilir filmlerdeki ve kaplamalardaki lipit materyallerin etkinliği doğal hidrofobik maddeler, fiziksel durum (katı veya sıvı) ve filmin diğer bileşenleri ile lipit etkileşimlerine bağlıdır. Lipitler genellikle, su geçiş direnci arttırmak için emülsiyon partikülleri veya çok tabakalı kaplamalar olarak proteinler veya polisakkaritler gibi diğer film oluşturu malzemelerle birlikte kullanılırlar. Özellikle polar reçine filmleri O₂, CO₂ ve etilen için iyi bariyerlerdir (Suput ve ark., 2015).

Potansiyel olarak kullanılan hidrofobik maddeler arasında doğal mumlar (karnauba mumu, kandelilya mumu, pirinç kepeği mumu ve balmumu gibi), bitkisel yağlar, asetogliseridler ve yağ asitleri gösterilebilir. Reçineler de hammaddeye parlaklık kazandırmak için kullanılırlar (Rhim ve Shellhammer 2005).

Bu alanda yapılan birçok çalışmada özellikle biberiye, tarçın, fesleğen, kekik, bergamot ve limon otu yağı gibi farklı kaynaklardan elde edilen yağlarında, değişik film ve kaplama malzemeleri ile kombinasyonları hazırlanarak kullanıldıkları görülmektedir (Choi ve ark., 2016; Giray ve ark., 2017; Gundewadi ve ark., 2018; Kozlu, 2020).

3.3.1. Mum ve Yağ Kökenli Kaplamalar

Lipit film ve kaplama materyali parafin ile balmumu uygulandığında kalın bir tabaka oluştursa, tüketime sunulmadan önce mutlaka fazlalıkların uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Ancak ince bir film ve tabaka olarak uygulanırsa gıdayla birlikte tüketilebilmektedir (Yıldız ve Yangılar 2016).

Parafin kaplamalar su transferini engellemek, hava ile teması kesmek ve istenmeyen kimyasal reaksiyonları veya fiziksel bir hasarı önlemek amacıyla gıda ürünlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Gıdaların canlı ve parlak görünmesine katkı sağlayan parafin bazlı kaplamalar genellikle peynirlerde ve çiğ meyve ve sebzelerde kullanılmaktadır (Hassan ve ark., 2018).

3.3.2. Yağ Asitleri Ve Monogliseritler

Asetillenmiş monogliserid, erimiş halden katılaşıp esnek, mum benzeri bir madde haline getiren eşsiz karakteristik gösterir. Katı haldeki çoğu lipit, kırılmadan önce orijinal uzunluğunun sadece %102'sine kadar gerilebilir. Asetillenmiş gliserol monostearat ise orijinal uzunluğunun %800'üne kadar uzatılabilir (Bourtoom 2008). Bu filmin su buharı geçirgenliği, metil selüloz veya etil selüloz hariç olmak üzere polisakarit filmlerin su buharı geçirgenliğinden çok daha düşüktür (Kester ve Fennema 1986). Bu tip kaplamalar polisakarit kaplamalardan daha yüksek su buharı direncine sahip olup genellikle tavuk ve kırmızı et parçaları üzerinde kullanılmaktadır (Hassan ve ark., 2018).

3.3.3. Emülsiyonlar

Emülsiyon bazlı yenilebilir film ve kaplamalar, taze ve işlenmiş gıda ürünleri, meyve ve sebze, peynir, et, sosis ve unlu mamullerin üretiminde kullanılır. Hidrokolloidlerden ve lipitlerden üretilen kompozit emülsiyon bazlı yenilebilir materyaller, özellikle su bariyeri özelliklerine göre, tek bileşenli filmlerden daha iyi işlevsellik sağlar. Emülsiyon oluşturma işlemi, istenen mekanik özelliklere sahip filmler elde etme olanağı verir. Bir emülsiyonun yapısı ve kararlılığı, emülsiyon haline getirilmiş filmlerin mekanik özelliklerini güçlü bir şekilde etkileyen temel parametrelerdir (Galus ve Kadzinska 2015).

3.3.4. Reçineler

Reçineler, ağaç ve çalıların özelleşmiş bitki hücrelerinin yaralanmalara karşı bir tepki olarak ürettikleri asit karakterdeki maddelerdir (Işık ve ark., 2013). Şellak reçineler lak böceği (*Laccifer lacca*) tarafından salgılanır ve alifatik alisilik hidrosil asit polimerlerinin kompleks bir karışımından

oluşur. Ürüne parlaklık kazandırmak amacıyla kaplama materyali olarak kullanılırlar (Bourtoom 2008; Hassan ve ark., 2018).

4.4. Karma (Kompozit) Film ve Kaplamalar

Son yıllarda gıda güvenliği ve raf ömrünün uzatılmasına dair çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, protein, lipit, karbonhidrat ve kombinasyonlarının bulunduğu fonksiyonel yenilebilir film ve kaplamaların gıdalarda raf ömrünü uzattığı, duyuşal ve tekstürel özellikleri geliştirdiği ifade edilmektedir (Delikanlı ve Özcan 2014).

Kompozit film kaplamaların üretilmesinin asıl amacı söz konusu kaplamaların mekanik ve geçirgenlik özelliklerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla film formülasyonlarına farklı bileşenleri bir karışım halinde kullanarak ortaya çıkabilecek olumsuzlukları gidermek, sınırlı olan özelliklerini iyileştirmek ve arzu edilen özellikte kaplamaların üretilmesi adına çok önemlidir (Suput ve ark., 2015).

4.5. Çift Tabakalı Film ve Kaplamalar

Su kaybını önleme özellikleri sebebiyle lipit kaplamalar ve iyi gaz geçirgenliği ile yağsı olmayan görüntü özellikleri sebebiyle polisakkarit kaplamalar; yenilebilir çift tabakalı kaplamaların oluşturulmasında kullanılmaktadır. Stearik ve palmitik asitlerin tek tabakası ile hidroksipropilin tek tabakası birleştirilerek üründe su kaybını azaltan bir kaplama materyali yapılmıştır (Işık ve ark., 2013).

5. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıdalara Uygulanma Yöntemleri

Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalarda pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Mikrobiyolojik gelişmeleri geciktirmek, nem veya gaz bariyeri yaratmak ürünlerin yüzey görünümünü geliştirmek ve küçük porsiyonların yapışmasını engellemek bunlardan bazılarıdır. Kaplamanın bileşimi arzu edilen özelliklere göre seçilmektedir (Altan, 2003). Ürünlerin mekanik dirençlerini güçlendiren proteinler ve gaz transferlerini sınırlayan karbonhidratlar ve su kaybını geciktiren lipitler amaca yönelik olarak tek başına veya birlikte kullanılmakta, gerektiğinde filmlere esneklik sağlayan plastikleştiriciler ve diğer katkı maddeleri kullanılabilir (Üçüncü, 2000). Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara uygulanmasında kullanılan yöntemlerin gıdalara zarar vermeyecek biçimde seçilmesi göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu kaplamaların uygulanmasında; daldırma, püskürtme, köpükleme, boyama ve dökme gibi yöntemler sıklıkla tercih edilmektedir (Altan 2003, Dhanapal ve ark., 2012).

5.1. Daldırma Metodu

Daldırma gıda ürünlerinin doğrudan sıvı kaplama solüsyonuna daldırılmasına dayanan basit bir yöntemdir (Üçüncü, 2000). Fazla kaplama materyali üründen uzaklaştırıldıktan sonra ürünler kurumaya bırakılmakta ve istenilen kalınlıkta film tabakası oluşturulmaktadır (Çiltepe, 2013). Oda sıcaklığında bekletilerek veya bir kurutucu kullanarak çözünün uzaklaştırılması ile ürünlerin kuruması sağlanabilmektedir. Bu yöntemin en önemli avantajı düzgün olmayan ürünlerin homojen olarak kaplanmasını sağlaması, fazla kaplama materyalinin üründen kolay uzaklaştırılması ve kurutucu ekipmanlarla kolay kullanılabilir olmasıdır. Yöntemin dezavantajı ise büyük hacimli gıdalar için uygun olmamasıdır (Dhanapal ve ark., 2012; Caner ve Küçük, 2004; Erkan, 2016).

5.2. Püskürtme (Sprey) Metodu

Püskürtme (spray) yöntemi, ürünlerin belli bir kısmını kaplamak, ürün yüzeyinde homojen ince bir tabaka elde etmek amacıyla gıdalara püskürtülerek uygulanmaktadır (Üstunol, 2009). Bu yöntem kaplama yapılmış ürün yüzeyinde ikinci bir kaplama oluşturmak için idealdir. Özellikle meyve ve sebzelerde yüksek basınçlı püskürtücüler ve hava üflemleri sistemler bu yöntem için sıklıkla tercih edilmektedir. Püskürtme yönteminin dezavantajı ise bu işlem için çok miktarda kaplama materyalinin kullanılmasıdır (Polat, 2007; Çiltepe, 2013).

5.3. Köpükleme Metodu

Köpükleme yönteminde; ürünler, üzerinde hareket eden bir silindir bulunan sisteme yerleştirilmekte, silindir üstten ürünlere köpük fırlatırken sistemde yer alan fırçalar kaplama malzemesinin ürün yüzeyine dağıtılmasını sağlamaktadır. Kaplama malzemesinin fazlası tıpkı daldırma yönteminde olduğu gibi kurutma v.s. gibi işlemlerle üründen uzaklaştırılmakta ve uzaklaştırılan malzeme tekrar kullanılmaktadır. Köpükleme yönteminde kaplama malzemesi az su içerdiğinden ürün hızlı bir şekilde kururken hızlı kurumadan dolayı üründe kaplama problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir (Erkan, 2016).

5.4. Boyama Metodu

Gıdanın belirli bir bölümünü kaplamak, ürün yüzeyinde ince ve eşit bir tabaka oluşturmak amacıyla tercih edilen boyama yönteminde akışkan kaplama materyali dengeli bir biçimde bir fırça ekipmanı yardımıyla ürüne uygulanmaktadır (Üçüncü, 2000). Kaplama kalınlığı fırçalarla yayılarak kontrol edilebilmektedir. Eğer kaplama kalınlığı istenenden fazla ya da az

olursa ürünlerde depolama süresince istenmeyen durumlar (kırılma, çatlama veya yapışma) ortaya çıkabilmektedir (Oğur, 2012; Çiltepe, 2013).

5.5. Dökme Metodu

Püskürtme ve daldırma yöntemlerine yardımcı olmak amacıyla tercih edilen dökme yönteminde, kaplama çözeltisi ürünlerin üzerine dökülmekte, yayılmakta ve kurutulmaktadır. Bu yöntem istenilen kalınlıkta film oluşturulmasına olanak sağlanmaktadır. Ancak ürün yüzeyi fazla miktarda kaplama materyali ile kaplanırsa ürünün gaz geçirgenliği olumsuz yönde etkilenilmekte ve bu durum ürünlerde bozulmalara neden olabilmektedir (Polat, 2007; Çiltepe, 2013).

6. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıda Endüstrisinde Kullanımı

Gıda endüstrisinde birçok işletmede yaşanan kötü sanitasyon ve hijyen koşulları sonucunda gıdalar özellikle süt ürünleri, et ürünleri, meyve ve sebzeler çok çabuk bozulabilmektedir. Dolayısıyla patojen mikroorganizmalar bu tip gıdalarda gelişmekte ve bu gıdaların tüketilmesi ile gıda kaynaklı hastalıklar meydana gelebilmektedir. (Ayana ve Turhan, 2010).

Gıdalara uygulanacak film ve kaplamaların belirlenmesinde; gıdanın niteliği, film ve kaplamalardan beklenen fonksiyonel özellikler çok önemlidir. Örneğin yenilebilir film ve kaplamalar meyve ve sebzelere uygulanacaksa, meyve ve sebzelerde canlılığın devam etmesi için solunumuna imkan veren belli bir gaz geçirgenliğine sahip filmlerin kullanılması istenmektedir. Aksi halde anaerobik solunum sonucu ürün kısa sürede tüketilemeyecek duruma gelir. Bunun tersine bileşiminde doymamış yağ oranı yüksek olan gıdalarda kullanılacak filmlerin ise oksidasyona sebep olmamak için oksijen geçirgenliğinin az veya hiç olmaması istenmektedir. Nem kaybının önlenmesi gıdaların yapısal özelliklerini ve kalitesini korumak için önemlidir. Yenilebilir film ve kaplamaların kullanılmasıyla gıdalarda nem kaybı engellenebilmektedir. Gıdalar su aktivitesi değerlerine bağlı olarak bulundukları ortamdan su alıp verebilmektedirler. Gıda yüzeylerinin yenilebilir filmlerle kaplanmasıyla su aktivitesi düşük gıdaların nem çekmesi, su aktivitesi yüksek gıdaların da kuruması önlenebilmektedir. Ayrıca yağ geçirgenliği az olan yenilebilir filmler ile yağda kızartılacak gıdalar filmler ile kaplanarak, yağ emilimi azaltılmaktadır. Böylece yenilebilir film ve kaplamalar ile kaplanan gıdalar daha düşük kalorili, daha sağlıklı ve daha lezzetli olarak üretilmektedirler (Uslu, 2001; Dragich ve Krochta 2010).

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdalardaki nem, oksijen, karbondioksit, lipit, aroma ve lezzet bileşenlerinin geçişini düzenleyerek gıdaların raf

ömrünü arttırmakta ve gıda kalitesini geliştirmektedirler (Zhao ve McDaniel 2005).

Yenilebilir film ve kaplamalar et ve et ürünlerinde (Lu ve ark., 2009; Emiroğlu ve ark., 2010; Neetoo ve ark., 2010; Fernandez-Pan ve ark., 2013; Weerasinghe ve ark., 2013), meyve ve sebzelerde (Uslu, 2001; Durango ve ark., 2006; Saucedo-Pompa ve ark., 2009; Vu ve ark., 2011), peynirlerde (Sarıküş, 2006; Ayana ve Turhan 2009), yağlı tohumlarda (Mate ve ark., 1996) yani hemen hemen bütün temel gıda gruplarında kullanılabilmektedir.

Yenilebilir film ve kaplamalar, taze veya dondurulmuş etleri depolama süresince nem kaybına karşı korumaktadır. Özellikle, lipid oksidasyonuna bağlı acılaşmanın önlenmesi ve miyogloblin oksidasyonuna bağlı kahverengileşmenin azaltılmasını sağlar. Ayrıca bu filmler bozucu ve patojen mikroorganizmaların etin yüzeyinden girişini engellemektedir. Aynı zamanda uçucu aroma kaybını ve kötü tat ve koku bileşenlerinin oluşumunu engellemektedir (Bağdatlı ve Kayaardı, 2010; Quintavalla ve Vicini, 2002).

Yenilebilir filmle kaplamanın kaşar peynirlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinde olumlu değişikliklere neden olduğunu belirlemişlerdir (Sarioğlu ve Öner, 2006). Ricotta peynirinin raf ömrünü artırmak amacıyla yenilebilir film kaplaması olarak kitosan/peynir altı suyu proteinlerini kullanmışlar, Depolama sonunda yenilebilir filmle kaplı Ricotta peynirlerinin, kontrol grubuna kıyasla laktik asit, mezofilik ve psikrotrofilik bakteri sayılarında önemli bir düşüş olduğunu belirlemişlerdir (Di Pierro ve ark., 2011).

Yenilebilir film ve kaplamalar, işlenmiş meyve ve sebzelerde depolama süresince ürünlerde ağırlık kaybının, duyu özelliklerinin ve besin değerlerinin kaybının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır (Suput ve ark., 2015). Kaplama materyali olarak protein, polisakkarit ve lipitlerden veya bunların karışımı olan kompozitler kullanılmaktadır (Shit ve Shah, 2014). Söz konusu uygulama ile yarı geçirgen ince bir tabaka oluşturularak, böylece ürünün iç ve dış ortamındaki nem, çözünen madde ve gaz değişimi düzenlenmektedir (Kozlu, 2020). Ayrıca film formülasyonuna ilave edilen aktif bileşenlerin etkisiyle film ve kaplamaların fonksiyonel özellikleri iyileştirilmektedir (Yousuf ve ark., 2017).

7.Sonuç

Gıdalar tarladan sofraya gelinceye kadar pek çok farklı şekilde kalite kaybına uğramaktadır. Bu nedenle gıdaların duyu özellikleri ve besin değerleri korunarak, kalite kayıplarının önlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Gıda endstrisinde ambalaj materyali olarak cam, plastik, metal ve kağıt gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu materyaller çevre kirliliği ve atık sorunu oluşturmaktadırlar. Bu nedenle günümüzde tüketiciler çevre dostu ve geri dönüşümü olan materyallerle ambalajlanan ürünleri tercih etmektedirler. Bu nedenle gıdaların ambalajlanmasında yenilebilir film ve kaplamalara ilgi giderek artmaktadır.

Gıdalarda meydana gelen problemler gıda güvenliği açısından tüketicileri, gıda kaybı açısından da üreticileri büyük ölçüde ilgilendirmektedir. Çeşitli nedenlerle tüketilmeyen gıdalar, ülkemizdeki gıda israfını arttırmaktadır. Gıdaları koruma ve meydana gelen bu tip kayıpları azaltma yollarından biri de yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara uygulanma çalışmalarıdır.

Günümüzde tüketicilerin daha bilinçli hale gelmeleri ile birlikte gıda tercihlerinde besin değerleri yüksek olan gıdaların yanı sıra, fonksiyonel özellikleri iyi olan ve raf ömrü uzun olan gıdaları tercih etmektedirler. Yenilebilir film ve kaplamalar gıda endüstrisinde gıdaların raf ömrünü uzatmak, besin değerlerini korumak, duyuusal özelliklerini iyileştirmek ve mikrobiyal kontaminasyonu azaltmak amacıyla kullanılan yenilikçi ambalajlama yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu film ve kaplamalar karmaşık üretim teknolojisi gerektirmemeleri, ekonomik olmaları, doğal bileşiklerden elde edilmeleri ve biyolojik olarak bozunabilmeleri gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Günümüz tüketicilerinin güvenilir, yüksek kaliteli ve raf ömrü uzun ürünlere yönelmesi yenilebilir film ve kaplamaların kullanımına olan ilgiyi arttırmaktadır.

8. Kaynaklar

- Altan, A., (2003). Özel Gıdalar Teknolojisi, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ofset Matbaası, Adana, 242s.
- Ayana, B. ve Turhan, K.N., (2009). Use of antimicrobial methylcellulose films to control *Staphylococcus aureus* during storage of kasar cheese. *Packaging Technology and Science*, 22 (8): 461-469.
- Ayana, B. ve Turhan, K.N., (2010). Gıda Ambalajlamasında Antimikrobiyel Madde İçeren Yenilebilir Filmler/ Kaplamalar Ve Uygulamaları, *Gıda*, 35(2): 151-158 s.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazalia, H.M., Tan, C.P. and Adzahan, N.M., (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple, *Postharvest Biology and Technology*, 88: 1–7 pp

- Bahtimur, E.D.,(2018). Limon Kabuklarından Antimikrobiyal Özellikli Yenilebilir Film Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bil. Ens.Hacettepe Üniversitesi.
- Bağdatlı, A. B., Kayaardı S. (2010). Et ve Et Ürünlerinde Kullanılan Paketleme Yöntemleri. Akademik Gıda, 8 (2): 24-30.
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. and Baker, R.A., (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products, *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 35(6): 509-524 pp.
- Bourtoom, T., (2008). Edible films and coating characteristic and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 237-248.
- Caner, C. ve Küçük, M., (2004). Yenilebilir film ve kaplamalar: Gıdalara uygulanabilirliği, *Gıda Mühendisliği ve Gıda Sanayi Dergisi*, 2(8): 30-35 s.
- Choi, W.S., Singh, S. and Lee, Y.S., (2016). Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of „Formosa” plum (*Prunus salicina* L.), *LWT - Food Science and Technology*, 70: 213-222 pp.
- Chiumarelli, M. and Hubinger, M.D., (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*, 38: 20-27 pp.
- Contreras-Medellin, R. and Labuza, T.P., 1981, Prediction of moisture protection requirements for foods . *Cereal Food World*, 26(7): 335–340 pp.
- Çiltepe, A., (2013). Yenilebilir kaplama ve filmler ile kaplanan hindi eti köftelerinin bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 112 s.
- Delikanlı, B. ve Özcan, T., (2014). "Probiyotik İçeren Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar" *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28 (2), 59-70.
- Dhanapal, A., Sasikala, P., Rajamani, L., Kavitha V., Yazhini. G., Banu, M.S., (2012). Edible films from polysaccharides. *Food Science and Quality Management* 3: 1-10

- Diaz-Mula, H., Serrano, M. and Valero, D., (2012). Alginate Coatings Preserve Fruit Quality and Bioactive Compounds during Storage of Sweet Cherry Fruit, *Food and Bioprocess Technology* 5: 2990–2997 pp.
- Dickey, L.C., Parris, N., Craig, J.C. and Kurantz, M.J., (2002). Serial batch extraction of zein from milled maize, *Industrial Crops and Products*, 15: 33-42 pp.
- Di Pierro P., Sorrentino A., Mariniello L., Giosafatto C. V. L., Porta R. (2011). Chitosan/whey protein film as active coating to extend Ricotta cheese shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 2324-2327.
- Dragich, A.M. and Krochta, J.M. (2010). Whey protein solution coating for fat-uptake reduction in deep-fried chicken breast strips. *Journal of Food Science*, 75 (1): S43-S47.
- Durango, A., Soares, N. and Andrade, N. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food control*, 17 (5): 336-341.
- Dursun, S ve Erkan, N., (2009). Yenilebilir Protein Filmler Ve Su Ürünlerinde Kullanımı, *Journal of Fisheries Sciences.com*, 3(4): 352-373 pp.
- Emiroğlu, Z.K., Yemiş, G.P., Coşkun, B.K. ve Candoğan, K., (2010). Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat science*, 86 (2): 283-288.
- Enbuscado, M.E. and Huber, K.C., (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer International Publishing, New York, ISBN: 9780387928234.
- Erge, A. ve Zorba, Ö., (2016). Jelatin ve Fizikokimyasal Özellikleri, *Akademik Gıda*, 14(4): 431-440 s.
- Erkan Özden, N., (2016). Dumanlanmış Balıkların Kalite ve Raf Ömrü Üzerine Yenilebilir Protein Film Kaplamanın Etkisi, (eds:Oğur, S.), Türkiye Alim Kitapları, Türkiye,
- Epita, P.J.P., Du, W., Avena-Bustillos, R.J. and Soares, N.F.F. and McHugh, T., (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review, *Food Hydrocolloids*, 35: 287-296 pp.

- Fernandez-Pan, I., Mendoza, M. and Mate, J.I., (2013). Whey protein isolate edible films with essential oils incorporated to improve the microbial quality of poultry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (12): 2986-2994.
- Galus, Z. and Kadzinska, J., (2015). "Food applications of emulsion-based edible films and coatings", *Trends in Food Science & Technology* 45, 273-283.
- Gennadios, A., (2002). Protein based films and coatings, CRC Press LLC, 672 p.
- Gennadios, A. and Weller, C.L., (1990). Edible films and coatings from wheat and corn proteins, *Food Technology*, 44: 63-69 pp.
- Gennadios, A., Weller, C. L. & Testin, R., (1993). Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. *Journal of Food Science* 58 (1): 212-214.
- Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C. and Perez-Gago, M.B., (2014). Extending the shelf life of fresh-cut eggplant with a soy protein–cysteine based edible coating and modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 95: 81–87 pp.
- Giray, N.S.K., Baysal, T. and Taştan, Ö., (2017). Effects of edible hydroxypropyl methylcellulose film incorporated with carvacrol nanoemulsion on shelf life of table grapes, *New trends in Food safety and quality NIFSA2017*, Aleksandras Stulgiskis University, Lithuania, 5-7 October 2017, Akademija, 2017, 37 pp.
- Gundewadi, G., Rudra, S.G., Sarkar, D.J. and Singh, D., (2018). Nanoemulsion based alginate organic coating for shelf life extension of okra, *Food Packaging and Shelf Life*, 18: 1–12 pp
- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A.I., Zia, K.M. and Akhtar, N., (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1095-1107 pp.
- Işık, H., Dağhan Ş. ve Gökmen, S., (2013). Gıda Endüstrisinde Kullanılan Yenilebilir Kaplamalar Üzerine Bir Araştırma. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1), 26-35.
- Jiang, T., (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere, *Postharvest Biology and Technology*, 76(1): 91-97 pp.

- Kang, H.J., Jo, C., Kwon, J.H. and Kim, J.H., (2007). Effect of a pectin-based edible coating containing green tea powder on the quality of irradiated pork patty, *Food Control*, 18(5): 430-435 pp.
- Kester, J. J. and Fennema, O. R., (1986). "Edible Films and Coatings: A review", *Food Technology* 40 (12), 47-59.
- Kılınççeker, O. ve Küçüköner, E., (2005). Gıdalarda gamların yenilebilir film olarak kullanımı, *Gıda*, 30: 181-186 s
- Kozlu,A., (2020). Ayva Çekirdeği Müsilajının Yenilebilir Film Kaplaması Olarak Bazı Meyvelere Uygulanması ve Depolama Süresince Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bil. Ens. Ege Üniversitesi.
- Krochta, J.M. and Mulder-Johnston C., (1997). Food Technology: Edible and Biodegradable Polymer Films Challenges and Opportunities, *Food Technology*, 51(2): 61-74 pp.
- Küçük, G.S.,Çelik, Ö.F.,ve Türe, H.,(2017). Yenilebilir Aljinat ve Zein Filmlerin Gıda Ambalajlamasında Kullanımı. *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, 7(2): 295-311.
- Liu, J. and Xu, B., (2019). Food Chemistry A comparative study on texture, gelatinisation, retrogradation and potential food application of binary gels made from selected starches and edible gums, *Food Chemistry*, 296: 100-108 pp.
- Lu, F., Liu, D., Ye, X., Wei, Y. and Liu, F., (2009). Alginate–calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*Channa argus*) fillets stored at 4 C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89 (5): 848-854.
- Maghsoudlou, A., Maghsoudlou, Y., Khomeiri, M. and Ghorbani, M., (2012). Evaluation of anti-fungal activity of chitosan and its effect on the moisture absorption and organoleptic characteristics of Pistachio nuts, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol. 2: 336-340 pp.
- Marquez, G.R., Pierro, P.D., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C.V.L. and Porta, R., (2017). Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible films *LWT*, 75: 124-130 pp.
- Mate, J.I., Frankel, E. and Krochta, J., (1996). Whey protein isolate edible coatings: Effect on the rancidity process of dry roasted peanuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (7): 1736-1740.

- Müller, C.M.O., Laurindo, J.B. and Yamashita, F., (2009). Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films, *Food Hydrocolloids*, 23: 1328-1333 pp.
- Neetoo, H., Ye, M. and Chen, H., (2010). Bioactive alginate coatings to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon slices and fillets. *International journal of food microbiology*, 136 (3): 326-331.
- Ocak, Ö.Ö., ve Demircan, B.,(2020). Lezzet bileşenleri ve biyoaktif maddelerin yenilebilir film ve kaplamalar ile gıda sistemlerinde taşınması ve işlevsellğe etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 26(7), 1245-1256.
- Oğur, S.D., (2012). Dumanlanmış balıkların kalite ve raf ömrü üzerine yenilebilir protein film kaplamanın etkisi, *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı*, 237s.
- Peker H, Arslan S (2011). Mikroenkapsülasyon ve süt teknolojisinde kullanım alanları. *Akademik Gıda Dergisi*, 9(6): 70-80.
- Polat H., (2007).İşlenmiş et ürünlerinde yenilebilir filmlerin ve kaplamaların uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 64 s.
- Rhim, J. W. and Ng P. K. W., (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411–433.
- Rhim, J. W. and Shellhammer, T. H., (2005). *Innovations in Food Packaging*, Chapter 21: Lipid-Based Edible Films and Coatings, ISBN: 0-12-31 1632-5, 362-383.
- Rinaudo, M., (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications, *Progress in Polymer Science*, 7: 603-632 pp.
- Robertson, G.L., (2013). *Food Packaging: Principle and Practice*. Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 703p.
- Sabato, S. F., Nakamurakare, N. and Sobral, P. J. A. (2007). Mechanical and thermal properties of irradiated films based on Tilapia (*Oreochromis niloticus*) proteins. *Radiation Physics and Chemistry*, 76: 1862–1865.
- Sarıkuş, G., (2006). Farklı antimikrobiyal maddeler içeren yenilebilir film üretimi ve kaşar peynirinin muhafazasında mikrobiyal inaktivasyona etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi*, 69 s.

- Sarioğlu, T., Öner, Z., (2006). Yenilebilir filmlerin kaşar peynirinin kaplanmasıda kullanılma olanakları ve peynir kalitesi üzerine etkileri. *Gıda*, 31 (1): 3-10.
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Aguilera-Carbo, A.F., Saenz-Galindo, A., De La Garza, H., Jasso-Cantu, D. and Aguilar, C.N., (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*, 42 (4): 511-515.
- Savary, B.J. and Nuñez, A., (2003). A Gas chromatography–mass spectrometry method for determining the methanol and acetic acid contents of pectin using headspace solid-phase microextraction and stable isotope dilution, *Journal of Chromatography*, 1017: 151-159 pp.
- Shit, S.C. and Shah, P.M., (2014). Edible Polymers: Challenges and Opportunities, *Journal of Polymers*, 2014, 1:14 pp.
- Shukla, R. and Cheryan, M., 2001, Zein: the industrial protein from corn, *Industrial Crops and Products*, 13: 171-192 pp.
- Singh, R.S., Saini, G.K. and Kennedy, J.F., (2008). Pullulan: Microbial sources, production and applications, *Carbohydrate Polymers*, 73(4): 515–531 pp.
- Suput, D.Z., Lazic, V.L., Popovic, S.Z. and Hromis, N.M., (2015). Edible films and coatings – sources, properties and application. *Food and Feed Research*, 42: 11-22 pp.
- Şahin, O.I., Akpınar, A., (2008). Nanokompozit Filmlerin Gıda Sanayiye Uygulanmaları, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, Erzurum.
- Tahir, H.E., Xiaoboi, Z., Mahunu, G.K., Arslan, M. and Zhihua, M.A.L., (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation, *Carbohydrate Polymers*, 224 (in press).
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H. and Masoudpour-Behabadi, M., (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans, *Carbohydrate Polymers*, 137: 360-374 pp.
- Temiz, H., Yeşilsu, A.F., (2006). Bitkisel Protein Kaynaklı Yenilebilir Film ve Kaplamalar, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 41-50.
- Topuz, F.C. ve Boran, G., (2018). Jelatin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar, *Akademik Gıda*, 16: 332-339 s.

- Tural, S., Sarıcaoğlu, F.T., ve Turhan, S.,(2017). Yenilebilir Film ve Kaplamalar: Üretimleri, Uygulama Yöntemleri, Fonksiyonları ve Kaslı Gıdalarda Kullanımları. Akademik Gıda 15(1) 84-94.
- Uslu, M.K., (2001). Protein bazlı yenilebilir filmler ile bazı meyvelerin kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 96 s.
- Üçüncü, M., (2000). Gıdaların Ambalajlanması. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 612s.
- Üstünol, Z., (2009). Edible Films and Coatings for Meat and Poultry. In Edible Films and Coatings for Food Applications, Edited by Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 403p.
- Vu, K., Hollingsworth, R., Leroux, E., Salmieri, S. and Lacroix, M., (2011). Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. Food Research International, 44 (1): 198-203.
- Vu, C.H.T. and Won, K., (2013). Novel water-resistant UV-activated oxygen indicator for intelligent food packaging, Food Chemistry, 140: 52-56 pp.
- Weerasinghe, S., Williams, J.B., Mukherjee D., Tidwell, D.K., Chang, S. and Haque, Z.U., (2013). Quality and Sensory Characteristics of Cubed Beef Steak Dipped in Edible Protective Solutions of Thermized Cheddar Whey. Journal of Food Quality, 36 (2): 77-90.
- Wittaya T (2012). Protein-based edible films: Characteristics and improvement of properties. Structure and Function of Food Engineering, Ayman Amer Eissa. Agricultural and Biological Sciences, Chapter 3.
- Xiao, Q., Lim, L., Zhou, Y. and Zhao, Z., (2017). Drying process of pullulan edible films forming solutions studied by lowfield NMR, Food Chemistry, 230: 611–617 pp.
- Yang L, Paulson A.T., (2000). Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. Food Hydrocolloids Volume, 23: 1328-1333.
- Yeşiltaş, M., (2012). Dumanlanmış balığın kalitesinde aljinat kaplama etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen bilimler enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı İşleme Teknolojisi Programı, 101 s.

- Yıldız, P.O. ve Yangılar, F., (2014). Gıda Endüstrisinde Kitosanın Kullanımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(3):198-206 s.
- Yıldız, P.O. ve Yangılar, F., (2016). "Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıda Endüstrisinde Kullanımı", Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1), 27-35.
- Yılmaz, L., Akpınar, B. A. ve Özcan, Y. T., (2007). Süt proteinlerinin yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılması, Teknolojik araştırmalar: Gıda Teknolojisi Elektronik Dergisi, 1, 59–64.
- Yousuf, B., Qadri, O.S. and Srivastava, A.K., (2017). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review, LWT - Food Science and Technology, 89: 198-209 pp.
- Yüce, F., (2018). Kaplanmış Balık Filetosu Üretiminde Havuç ve Portakal Posasının Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Pamukkale Üniversitesi.
- Zhao, Y. and McDaniel, M., (2005). Sensory quality of foods associated with edible film and coating systems and shelf-life extension. In: J. Han (Ed.), Innovations in food packaging, pp. 434-453.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 02



**Fire Resistant Material Recommendation for Sidings of
Educational Buildings
(Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çögürcü, Mehmet Akif
Arslan)**

Fire Resistant Material Recommendation for Sidings of Educational Buildings

Sıtkı Alper Özdemir¹, Mustafa Tolga Çöğürçü², Mehmet Akif Arslan³

¹*İskenderun Technical University, İskenderun Vocational School of İskenderun,
Department of Construction, İskenderun, Turkey,
E-mail: salper.ozdemir@iste.edu.tr*

²*Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Civil Engineering, Konya, Turkey,
E-mail: mtcogurcu@ktun.edu.tr*

³*Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Civil Engineering, Konya, Turkey,
E-mail: maarslan@ktun.edu.tr*

1. Introduction

Fire is one of the important situations that can cause disasters in buildings and threaten the safety of life and property. Fire is one of the leading risk sources in the building since its formation is not completely preventable. (Demirel & Başdemir, 2010). Active and passive fire safety measures should be taken to prevent loss of life and property that may occur in these fires. The importance of building materials and building elements, which are passive fire safety measures, is a very effective factor in the emergence and spread of fire. Especially building siding materials are risky building elements in terms of fire safety because they form the connection between interior spaces and exterior (Demirel et al., 2012).

In a fire that occurs outdoors or occurs in the lower floors, it is possible for the flames to spread through the window and door openings and spread to other floors over the interior cladding materials. For this reason, in the selection of building sidings materials, their flammability properties should be taken into account. The use of flammable materials on facades; even with a small heat source, it can cause the surfaces of the facade cladding materials to ignite and the flames to spread rapidly on the surface with the oxygen in the atmosphere (Kılıç, 2012). Therefore, when choosing the coating materials to be used on exterior facades, the issue of fire resistance should be carefully considered. In addition, the selection of facade cladding of public buildings such as schools and hospitals should be done carefully. In this study, literature review of studies on fire and fire resistant materials was conducted. Examples of fires originating from exterior cladding in the world and in Turkey have been examined. In addition, the relevant articles in the fire regulations were evaluated. Fire resistant materials that can be used for both

exterior cladding and heat insulation have been identified, and these materials and manufacturing applications have been demonstrated with a public building sample that has been implemented in Turkey.

2. Educational Buildings in Fire Regulations

Many regulations such as building bylaws and fire regulations should be considered in the project design of educational buildings. From the preparation of the application projects to the use phase, fire safety should be considered in the foreground in principle. These situations, which should be applied carefully, are determined by the "Regulation on the Protection of Buildings from Fire" published in the official gazette. The relevant fire regulation was last updated in 2015 and is still in effect. (Şimşek, 2017).

2.1. Educational Facilities in Fire Regulations

According to the provisions of the "Regulation on the Protection of Buildings from Fire", educational buildings are evaluated under the title of institutional buildings in article 11- (1). Accordingly, training facilities; "It is the place where education and training activities are carried out. Educational buildings; It covers buildings or parts of buildings used for educational purposes for 4 hours or more a day or more than 12 hours a week by six or more people, including primary education, secondary education institutions and higher education institutions. Kindergartens, kindergartens, children's clubs, special education institutions, primary schools, secondary education institutions, private teaching institutions, libraries, orphanages, regional boarding schools, higher education institutions and similar places are included in this class."

In addition, for educational buildings in the relevant regulation;

- Hazard use areas group
- Location and arrangement of escape ladder slots
- Fire resistance times according to building usage classes
- Maximum compartment areas in buildings
- User load coefficient table
- Longest escape distances and unit widths to exits
- Design densities in the sprinkler system
- Water needs to be added for fire cabinets and hydrant system
- Longest escape distances to exits

- Buildings that require an automatic detection system
- Fixed piping and fire cabinets are mentioned in special provisions in regulation.

2.2. Sidings in Fire Insulation

In the 27th article of the Regulation on the Protection of Buildings from Fire, titled “facades”, regarding the arrangements to be made on the facades and the materials to be used;

- Sidings should be made of flammable resistant material according to the height of the building,
- Necessary points to prevent the flames from passing from one floor to another,
- Application and standard certifications of materials to be used for thermal insulation,
- Arrangement of exterior fire barriers,
- Siding materials and system details in adjacent buildings,
- Curtain wall systems insulation standards and joint arrangement principles are included.

However, when the issues listed above and included in the relevant regulation provisions are evaluated in many respects, they do not cover all building types and exterior applications. Considering the applications in the field, sidings can have different characteristics as plastered composite insulated facades, non-ventilated curtain walls, ventilated curtain walls, and plastered non-insulated facades. The reactions of each of these facade application forms will be different during the fire. (Uslu, 2013). One of the obvious differences is that if non-combustible or hardly flammable insulation materials are used on a ventilated façade, a chimney effect will occur and the flames will rise rapidly during a fire.. In this case, it will cause the burning of the entire front. For this reason, the use of normally flammable insulation materials should not be preferred on curtain walls. (Csoke & Koudijs, 2012).

3. Fires Caused by Sidings In The World

There have been fires in many high-rise buildings around the world. In recent years, the 17-storey Plasco building in Tehran, the capital of Iran, collapsed after the fire on January 19, 2017, and more than 20 firefighters who were left in the wreckage of the building lost their lives. Also in 2017, a fire occurred in the 72-floor Emaar Fountain Views skyscraper under construction in Dubai. In the fire at Grenfell Tower in London on 14 June

2017, the building was completely burned and 79 people lost their lives. (Watt, 2017).

In 1991, a fire broke out in the 18-floor Odakule building in Istanbul and the 17th and 18th floors were completely burned. The fire in Novus Residence in Ataköy in 2008 and the fire in the 42-floor Polat Residence in Fulya in 2012 were caused by the insulation material used on the facade and the entire facade of the building was covered with flames in a short time. (Kılıç, 2017).

3.1. Example of Grenfell Tower, London

It has 24 floors and its height is 63.7 meters. There are two elevators and an indoor staircase in the tower core.



Figure 1. Grenfell Building Floor Plan (Watt, 2017)

This building, which was built in 1974, has a total of 129 flats and approximately 600 people live here. It was decided to replace the windows and insulate the walls in order not to be affected by the temperature changes in summer and winter months and to prevent hot and cold heat loss. According to this decision, the renovation project was started in 2012 and completed in 2016. The windows of the tower have been changed and the exterior cladding has been renewed. Arconicm Reynobond Celotex RS5000 PIR panel was used for thermal insulation within the scope of renovation works (Watt, 2017).

The fire caused by the electrical contact has grown rapidly due to the fact that the siding material in the tower is easily flammable. In addition, the insufficient level of fire precautions in the building is among the biggest mistakes that cause fire. (BBC Section UK, 2017).

An aluminum composite cladding was planned by the renovating architectural firm Studio E Architect for Grenfell Tower (Katz, 2017), and Arconic Reynobond aluminum panels were used as siding. There is polyethylene material between the two aluminum sheets of this panel. As seen in Figure 2, the tower's new exterior cladding is made of 3 mm thick polyethylene core aluminum sandwich panel, a standard 50 mm ventilation gap between the cladding and the insulation behind it, 150 mm thick PIR (polyisocyanurate) Celotex RS5000 foam plates mounted on the existing facade for insulation and 250 mm of existing reinforced concrete(Kılıç, 2017) (Figure 2).

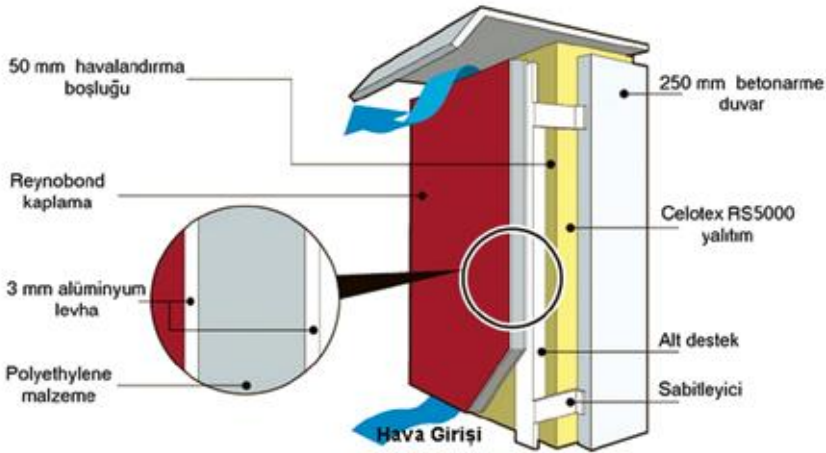


Figure 2. Grenfell Tower Siding (Mostrous et al., 2017)

As a result, the gap between the coating and the insulation showed a chimney effect, and fire and smoke spread rapidly upwards due to this gap. Since the insulation material used is easily flammable, all parts of the building were exposed to burning. (Kılıç, 2017).

3.2. Example of Beijing Television Cultural Center

The Television Cultural Center (TVCC) fire in Beijing took place in 2009. One firefighter died and seven others were injured in the fire. The TVCC building is adjacent to the CCTV headquarters as seen in the picture (Figure 3). The TVCC building is 159 meters high (32 floors) and consists of three blocks. Silicon glass facade on the north and south facades, and sidings made of titanium-zinc alloy metal panels and strips on the east and west facades. The fire started with fireworks display on the roof and penetrated the metal panels, igniting the insulation materials and waterproof plates under the panels. (China Daily, 2009). Consisting of waterproof material EPDM rubber sheets, the insulation is made of Extruded Polystyrene (XPS) foam. For this

reason, when the fire reached the edges of the roof, the melting and dripping XPS material caused the flow down from the front facades. The fire then spread rapidly to the floors below.

Building fires normally spread from lower floors to upper floors or from the inside to the outside. However, the TVCC fire showed a very different way of spreading. The fire first started on the roof and then spread from the upper floors to the lower floors. In addition, the fire that started outside spread to the interior areas as a result of the complete leakage of the facade cladding. The fact that insulation materials are flammable and they are used too much, as well as the presence of openings in the building caused the fire to spread rapidly. The melting and dripping properties of XPS insulation also accelerated the downward spread of the fire. (Net Xinhua, 2009).



Figure 3. (a) TVCC building before fire, (b) TVCC building after fire

3.3. Facade Fires in Turkey

Building geometric shape and layout scales are very important when evaluated in terms of fire safety. Especially when it is taken into account that the intervention to the fire (control, extinguishing, rescue and cooling works) is through the building facades, facade fires increase the risk for building fires much more.

The performance requirements expected from construction materials in the Construction Materials Regulation in Turkey:

- Mechanical strength and stability
- Hygiene, health and environment
- Accessibility and security in use

- Protection against noise
- Energy saving and heat preservation
- Sustainable use of natural resources and
- Safety in case of fire (“Yapı Malzemeleri Yönetmeliği”, 2013).

Therefore, building materials to be used as siding have an extremely important place in fire resistance according to the principles of the relevant regulation.

It is understood that in Turkey, materials with a low flammability class (normally flammable, easily flammable) are used on facades, and measures to prevent the vertical spread of fire on silicon glass facades (curtain facades) are ignored. (Yaman ve Demirel, 2020).

Table 3.3.1. Fire Examples From Turkey (Modified from: Yaman, 2019)

No	Name of Building	Intended Use	Number of Floors	Location	Year	Siding Material/ System
1	Polat Tower	Dwelling	44	İstanbul	2012	Glass Curtain Wall /Aluminum Facade
2	Keşan State Hospital	Health	7	Edirne	2016	Petroleum based Insulation Material/ Metal composite panel
3	Hotel Alican	Accommodation	6	İzmir	2018	PVC based/ Weather boarding
4	Gaziosmanpaşa Taksim Hospital	Health	11	İstanbul	2018	Petroleum based Insulation Material/ Metal composite panel
5	Küçükbakkalköy Trade Center	Office	9	İstanbul	2018	Petroleum based Insulation Material/ Aluminum curtain wall
6	Sultangazi Rest Home	Health	6	İstanbul	2018	Glass Curtain Wall and Aluminum Façade/ Metal Composite Panel
7	Avrasya Uni. Faculty Building	Education	7	Trabzon	2019	Petroleum based Insulation Material/ Aluminum curtain wall

As shown in the table, fires caused by siding materials have occurred in Turkey, as in many countries of the world. When these fires are evaluated in terms of the usage class of the buildings, it is seen that they occur in

buildings with collective use areas such as residences, health facilities, offices and education facilities.

4. Fire Resistant Siding Material Recommendation

Especially as mechanical assembly, exterior main coatings such as aluminum composite, compact laminate, wood, PVC, which are manufactured at construction sites, are very weak materials in terms of fire resistance. In addition, materials with very weak fire resistance properties such as XPS and EPS, which are made to provide thermal insulation, are used under these siding materials. Precast concrete panel as a siding material and rock wool materials for thermal insulation show a much greater resistance than other related materials in terms of fire resistance.

4.1. An Example from Turkey

In Turkey, public institutions and organizations have the construction works according to the Public Procurement Law No. 4734. Within the scope of this study, the exterior cladding of the "Faculty of Architecture Building", which was announced in EKAP (Electronic Public Procurement Platform) by Iskenderun Technical University (ISTE) according to the relevant law was examined. ISTE Faculty of Architecture building, which was examined because it is both a public use area and an education facility, was designed and built with a fire resistance sensitive in terms of exterior cladding system.



Figure 4. ISTE Faculty of Architecture Building

Tender file numbered 2017/111875 for the Faculty of Architecture exterior cladding system review has been downloaded from the EKAP system. ("Ekap İhale Arama", 2021).

The application projects, technical specifications and construction work group special exposure descriptions in the tender dossier give detailed information about the materials used in the exterior cladding system, application principles and material quality and standards. In the application projects, exterior coatings are explained as Type 1-DDUV 1 and Type 2-DDUV 2 as a system.

Type 1-DDUV 1;

- Curtain wall cladding



Figure 5. Glass Façade Application

Type 2-DDUV 2;

- Acrylic-based, water based exterior paint
- Cement Based Particle Board (Betopan)
- Carrier System
- Rockwool is specified as thermal insulation.



Figure 6. Cement Based Particle Board

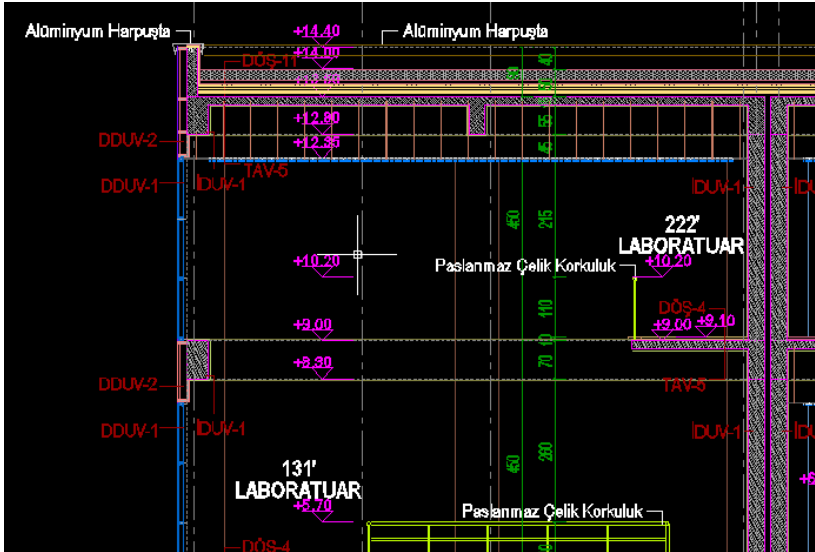


Figure 7. A section from application Projects

The manufacturing conditions and material technical properties of the materials used in the Type 1-DDUV 1 and Type 2-DDUV 2 system details in the construction technical specifications and construction work group special pose descriptions are explained as follows.

Type 1-DDUV 1;

- Curtain wall cladding: Technical details about the Turkish Standards to be complied with, quality and assurance documents, water tightness, air permeability, static and fire resistance tests are given. In addition, with the

title of fire arresters, it will be bent from 2 mm galvanized sheet according to the measurements taken after the installation of the vertical and horizontal carriers, and will be attached to the bottom and top of the parapet, with polyisobutylene bands that cut metallic contact without connecting to the curtain wall profiles. The joint gap between both the parapet/beam and horizontal profiles of these sheets will be silicone-type sealant and absolute smoke impermeability will be ensured.

Tip 2-DDUV 2;

- Cement-based particle board (Betopan): Cutting the 10 mm thick moisture, water and fire resistant cementitious particle boards to be used on the exterior in the dimensions suitable for the project and making them ready for assembly, placing the plates along the edges of the existing metal profiles in such a way that there is a gap of 4 mm at the vertical joints as specified in the project, Mounting the RHS 40/40/2 mm profiles with 60 cm intervals vertically with trumpet screws at 25 cm intervals, embedding the screw heads by 2-3 mm,

- Carrier system: 40x40x2mm box profile framework,

- Rock wool insulation: Adhering the stone wool boards to the walls and reinforced concrete surfaces specified in the project with the thermal insulation board adhesive at the thickness specified in the project, with a consumption of 4 kg per m² (min. 120 kg/m³ density) and then fixing it to the surface with a steel nailed thermal insulation dowel.

In addition, the materials to be used in production and the tests to be made for the manufacturing processes, quality standard documents and test reports on fire resistance are explained in detail in the relevant documents.

5. Results and Suggestions

- Even if measures such as fire extinguishing and alarm systems are taken in buildings, there is always a very high risk of fire unless fire resistant sidings are used.
- Many expensive and architecturally ostentatious coating materials used on facades are used without evaluating their fire resistance.
- Insulation materials such as XPS and EPS are highly preferred in Turkey in terms of heat energy conservation. However, since these materials are petroleum-based, they cannot resist fire and heat.
- In buildings that are not allowed by the Regulation on the Protection of Buildings from Fire and where flammable exterior cladding and insulation materials have been applied, these materials must be

removed. New applications to be made with these materials in the production of exterior heat insulation should also be prevented.

- In addition, although hardly flammable materials are allowed under certain conditions in the regulation, it should be preferred to choose the exterior insulation and coating materials from A1 class “non-combustible” materials.
- It is observed that joint gaps in glass facade applications are closed with silicone fillers that are not fire resistant and have the property of flowing by burning. Joint gaps should be closed using non-combustible materials.
- Fire resistance of siding materials is of greater importance in buildings where hospitals, public use and educational facilities, such as the elderly, children, and patients who are vulnerable or unable to react in the event of a fire. For this reason, the use of non-combustible coating and insulation materials in these structures should be considered as imperative.

6. References

- BBC Section UK. 2017. "BBC News; “London Fire: A Visual Guide to What Happened at Grenfell Tower”". Retrieved from: www.bbc.com
- China Daily. 2009. "CCTV Hotel Fire Caused by Fireworks: official". Retrieved from: http://www.chinadaily.com.cn/china/2009-02/10/%0Acontent_7461514.htm.
- Csoke, C., Koudijs, J. 2012. "Fire resistance without fire resistant glazing". İçinde Challenging Glass 3: Conference on Architectural and Structural Applications of Glass, CGC 2012.
- Demirel, F., Başdemir, H. 2010. "Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması". Politeknik Dergisi, 13.
- Demirel, F., Başdemir, H., Ggeri, İ. 2012. "Yangın güvenlik önlemleri bağlamında bir hastane projesi ve ulusal yangın mevzuatına uygunluk analizi". Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University.
- Ekap İhale Arama. 2021. Tarihinde adresinden erişildi <https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html>

- Katz, G. 2017. ""What Made the London Highrise Fire so Horrific? Tower's Cladding May Have Helped Spread Blaze"". The Associated Press.
- Kılıç, A. 2012. "Cephe Kaplamaları ve Cephe Yangın Güvenliği". Yangın ve Güvenlik Dergisi, 152, 8–12.
- Kılıç, A. 2017. "Londra Yüksek Bina Yangını: Eksikler, Hatalar". Tüyak Yangın Mühendisliği Dergisi, 2, 24–28.
- Mostrous, A., O'Neill, S., Joiner, S. 2017. ""Grenfell Tower: Fire-Resistant Cladding is Just £5,000 More Expensive"". The Times.
- Net Xinhua. 2009. "CCTV Official Detained over Massive Fire".
- Şimşek, Z. 2017. "Eğitim Yapılarının Yangın Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi". İçinde Uluslararası Yangın Ve Güvenlik Sempozyumu Ve Sergisi (ss. 50–60). İstanbul.
- Uslu, O. H. 2013. "Binalarda Yangın Yalıtımı Esasları". 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (ss. 1837–1843).
- Watt, R. G. 2017. "Grenfell Tower fire-A tragic case study in health inequalities". British Dental Journal.
- Yaman, M. 2019. "Cephe Yangın Güvenlik Önlemleri Kapsamında Ulusal ve Uluslararası Büyük Ölçekli Test Standartlarının Karşılaştırmalı Analizi". İçinde Cumhuriyet 1. Uluslararası Teknik Bilimler Kongresi. Sivas.
- Yaman, M., Demirel, F. 2020. "Cephelerde Yangın Güvenlik Önlemleri ve Mevzuatların Karşılaştırmalı Analizi". International Journal of Eastern Anatolia Science Engineering And Design, 88–108.
- Yapı Malzemeleri Yönetmeliği. 2013. Retrieved from: https://mevsu-api.csb.gov.tr/api/mevzuat/DosyaGetir?path=r_20131003003418758_f8852a26-cc33-4b99-afa9-1469578f07ed.pdf

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 03



Asbestos Exposure in Urban Renewal
(Sıtkı Alper Özdemir, Mustafa Tolga Çögürcü, Mehmet Akif Arslan)

Asbestos Exposure in Urban Renewal

Sıtkı Alper Özdemir¹, Mustafa Tolga Çögürçü², Mehmet Akif Arslan³

¹*İskenderun Technical University, İskenderun Vocational School of İskenderun,
Department of Construction, İskenderun, Turkey,
E-mail: salper.ozdemir@iste.edu.tr*

²*Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Civil Engineering, Konya, Turkey,
E-mail: mtcogurcu@ktun.edu.tr*

³*Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Civil Engineering, Konya, Turkey,
E-mail: maarslan@ktun.edu.tr*

1. Introduction

Asbestos and asbestos-containing materials are widely used in the industry since the beginning of the 1900s, and after the 1950s, they are mixed with cement due to their strength-enhancing properties and are widely used in the construction industry. The use of asbestos material aims to provide insulation in constructions such as ceilings, walls, roof coverings, flooring, boiler and pipe insulation. It is seen that it is referred to as the "Magic Mineral" because of its performance in insulation (Altıntop & Uraz, 2020). However, over time, studies have been carried out to determine the harms of asbestos and building materials containing asbestos to human health and to terminate the use of asbestos.

It carries out serious studies on asbestos exposure in developed countries that give importance to occupational health and safety studies. In addition, in many European countries, occupational diseases in construction workers caused by asbestos and the damages it causes to the country's economy due to these diseases are examined and legal regulations are taken in this regard. (Kale et al., 2017).

Regarding asbestos-related health problems, European Countries took a decision in the European Parliament and Council Directive no 2009/148/AT on 30 November 2009, to be valid from 05.01.2010, in order to protect employees from the risks that may arise due to interaction with asbestos in the workplaces. This decision aims to reduce the exposure rate of employees who interact with asbestos in the workplace by minimizing the asbestos level. In order to reduce the problematic situations in this matter in Turkey, the legislative arrangements covering the elimination of the risks that may occur, at least minimizing, and the implementation of the necessary engineering control measures are designed and implemented in accordance with the European Union Directives (Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası, 2011).

This study aims to reveal that the buildings that have been or will be demolished as a result of urban transformation studies contain asbestos materials and that these asbestos construction materials pose a great danger to those working in building demolition and renovation works. In addition, this study was carried out in order to provide determinations and suggestions for the safe dismantling and demolition of materials found to be asbestos in buildings. In this direction, a literature review was conducted and then interviews were made with companies that were engaged in asbestos removal due to urban transformation.

The situation assessment of the applications on a sectoral basis was made. In the study, it is aimed to increase the awareness of "Asbestos Exposure in Urban Renewal".

2. Asbestos Mineral and Properties

Asbestos, also known as white soil, is the name given to a fibrous crystalline mineral group found in nature. The measurement of asbestos in the air takes into account fibers greater than five microns in length, less than three microns in width, and in length greater than three times the width. These asbestos minerals, which are in the structure of magnesium silicate, calcium-magnesium silicate, sodium-iron silicate and iron-magnesium silicate, are resistant to acid, pressure and fire. Due to the advantages of these properties, asbestos mineral has been widely used in thousands of different business areas in the industry. Since asbestos is a strong insulation material and is used in many sectors, there is a serious interaction between asbestos material and people who come into contact with this material. The development of the industry, the increase in supply and demand in the construction sector and the realization of intense construction activities have resulted in contact with asbestos, and therefore, occupational diseases have occurred in many sectors. In this case, workers in construction activities were either directly or indirectly exposed to asbestos and were affected. (Şahan, 2015).

Asbestos fibers are in the composition of magnesium silicate, calcium-magnesium silicate, iron-magnesium silicate or sodium-iron silicate. They have different lengths, diameters, bending, brittleness and resistance to fire, chemicals and impact. On the other hand, asbestos mineral has no conductivity property. For these reasons, it is widely used in the construction industry. However, the International Cancer Research Center (IARC: International Agency for Research on Cancer) within the body of the World Health Organization (WHO) stated that asbestos is a carcinogenic substance in the "List of Carcinogenic Substances" Group 1A. (Altıntop & Uraz, 2020).

Asbestos is divided into two main groups in terms of its mineralogical properties. The first of these is the Serpentine Group and the other is the Amphibole Group. Asbestos minerals in the serpentine group are hydrated magnesium silicates. These magnesium silicates are white in color, fibrous structure, soft, curved, silky shine appearance and in the form of bundles. Chrysotile asbestos is the most used in the world. (Figure 1). Asbestos varieties in the Amphibole group, which is the other group, are shorter and harder in terms of their fibrous structure, small diameter, more durable against moisture and chemicals (Clifton, 1979). Asbestos in this group; crocidolite (Figure 2), amosite, tremolite (Figure 3), actinolite and anthophyllite.

In terms of the properties of asbestos;

- It is resistant to high temperature, abrasion and rust.
- Its melting point is above 1000°C.
- Resistant to corrosive chemicals such as acids and bases.
- Electrical permeability is very low.
- It has high elasticity and hardenability.
- Provides high strength when mixed with cement and similar materials (A. S. Altıntop ve Uraz, 2020).



Figure 1. Kizolit



Figure 2. Krokidolit



Figure 3. Tremolit

3. The Situation of Asbestos Use in the World and in Turkey

Asbestos has been found in earthenware pots made by the Finns around 2500 BC. The appearance of asbestos in the industry took place in Italy in the 1800s. Since the early 1900s, the use of asbestos in the automotive industry has continued in almost all European countries due to its properties such as thermal insulation, waterproofing, and resistance to impact. Between 1940 and 1985, the use of asbestos increased to a high level as a result of the production of asbestos-containing materials in Europe and even all over the

world. Especially after the Second World War, asbestos was used a lot in Europe, especially in reconstructed buildings and ships (HAS-UK, 2021).

The use of asbestos in Turkey has increased due to rapid urbanization after the 1970s, when the use in the world reached the highest point. The use of asbestos in the world has decreased in the 1980s, with the understanding of the negative effects of asbestos on human health and the understanding that asbestos is the cause of health problems in humans as a result of these effects. In Turkey, the use of asbestos and asbestos-containing materials has increased until the 2000s (Altıntop, 2019). In terms of its geological structure, the natural existence of asbestos-containing soils in Turkey both increased the exposure to asbestos and facilitated the production of asbestos-containing materials, leading to asbestos-related health problems. In Turkey, asbestos is also called white soil, sky soil, celpek soil, ceren soil. Asbestos has been used in construction works to provide water and heat insulation on the roofs of the houses, as an additive in plaster and whitewash productions on the walls, and in many construction production items such as floor coverings. (Altıntop & Uraz, 2020).

4. Asbestos Exposure

Asbestos exists in the form of a powder that is too small to be seen with the naked eye. Due to this structure, in case of inhalation, it collects in the lungs and causes tissue damage in the lung. Depending on the duration and intensity of asbestos exposure, even if the working period of the person working in the asbestos environment is over, occupational diseases may occur after many years due to this exposure. Benign or malignant diseases may occur as a result of reaching and accumulating in the lungs by breathing. The pleura is the thin membrane that covers the lungs. Pleural plaque is the thickening and calcification of the lung membrane as a result of contact with asbestos (Doll & Peto, 1985). Diffuse pleural thickening is a benign lung disease caused by exposure to asbestos. This disease is a thickening of the pleura. For diffuse pleural thickening to occur, there must be more contact with asbestos than with pleural plates (Demirağ et al., 2011).

Asbestosis, on the other hand, is a lung fibrosis that occurs as a result of exposure to large amounts of asbestos fibers and develops in a long time, and also spreads over a large area and causes disease. Afterwards, symptoms of breath hard and coughing appear. The degree of impact of the disease is directly proportional to the amount of asbestos contacted and the amount of contact time. The disease continues to progress even after exposure to asbestos has ceased (Doll & Peto, 1985). The pericardium, on the other hand, is a cone-like bag-shaped structure that surrounds the heart and great vessels, and this structure provides lubricity during the functioning of the heart.

Common in pericardial diseases are benign and malignant tumors. The malignant tumor is mesothelioma, named after asbestos exposure. If it is a benign tumor, it is surgically removed. There is no surgical intervention for malignant tumors (Yıldız & Ateş, 2021). Mesothelioma, on the other hand, occurs as a result of asbestos contact, is malignant and is called lung cancer. Chest pain occurs with symptoms of shortness of breath. Symptoms such as cough, weight loss and fever may also be observed. The cause of these symptoms is the accumulation of fluid between the chest wall and the lungs. There is no scientifically clear data on whether asbestos causes other cancers other than lung cancer in case of contact and exposure. However, cancer types such as laryngeal, gastrointestinal, kidney and ovarian cancer occur in people who work in an asbestos environment for more than 20 years and are exposed to asbestos (Altıntop & Uraz, 2020).

5. Restriction of Asbestos in the World and in Turkey

Between 1950 and 2000, the use of asbestos reached the highest levels in the world, and since the 1970s, the use of asbestos was limited with the European Union Directive in 1976, due to asbestos-related diseases and even loss of life. The legislative provision 1999/77/EC, which the European Union put into practice in 1999, stopped the use of asbestos material in all kinds of areas within the borders of the European Union countries and legally prevented its marketing. In 2003, as a result of the European Union's legislation numbered 2003/18/EC, all kinds of activities where workers could be exposed to asbestos and which could come into contact with asbestos fibers were prohibited. Legally, this legislation came into force in 2006 (Altıntop & Uraz, 2020).

The use of asbestos started in Turkey after 1970 and increased rapidly. Especially in the construction sector, cements with asbestos additives have been very popular in the sector since the beginning of the 2000s. The Ministry of Environment and Urbanization has banned the sale of products containing asbestos fibers in the market through the "Regulation on Control of Harmful Chemicals and Products" announced in the Official Gazette dated 11 July 1993 and numbered 21634. In 1996, the production of building materials containing amphibole type asbestos was completely prohibited (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1993).

The "Regulation on Restrictions on the Production, Placing and Use of Certain Hazardous Substances, Preparations and Goods" was announced in the Official Gazette dated 29 August 2010 and numbered 27687 by the Ministry of Environment and Urbanization. In Turkey, as of December 31, 2010, the manufacture and use of all types of asbestos and the sale of

materials containing asbestos in the market upon their request have been legally prohibited. (Orman Bakanlığı, 2010).

In addition, "Regulation on Health and Safety Precautions in Working with Asbestos" was prepared and announced in the Official Gazette dated 25 January 2013 and numbered 28539 and entered into force (Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013).

6. Urban Renewal and Asbestos

In Turkey, significant damage has occurred in the earthquakes experienced in the past years (Çöğürçü & Uzun, 2020). Some of these structures cannot be reused. Urban transformation, on the other hand, can be considered as a project that emerged as a result of the studies carried out as a result of the experiences gained in Turkey with the damages caused by the earthquakes and the needs of urbanization. This project has been designed as a static evaluation of approximately millions of buildings in terms of some basic criteria (strength, ductility and rigidity) and a billion-dollar demolition works. (Güranlı, 2013, Uzun & Çöğürçü, 2018).

Within the scope of this project, it is planned to demolish 150 public buildings in the first stage. A total of 3169 buildings, 6404 flats and 34 service buildings, including public and private buildings, were evaluated in terms of static bearing capacity and it was decided to demolish them. (Güranlı & Duman, 2014).

6.1. Urban Renewal and Asbestos Exposure Relation

In the urban transformation process, while the building to be transformed is being demolished, occupational health and safety, as well as environmental risks, especially the removal of asbestos materials and demolition processes should be evaluated under a special heading. The issues of removal/storage of excavation as a result of building demolitions are not clearly defined in Turkey. This situation carries great risks when the processes in terms of destruction and storage of wastes are considered. Asbestos, one of the most important of these risks, poses a great risk in terms of worker safety and human health (Güranlı & Duman, 2014). In addition, the dust released during the removal of asbestos and the removal of asbestos materials seriously threatens human health (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

Asbestos use in Turkey was legally restricted in 2004, and its use was completely banned in 2011. When the building stock in Turkey is evaluated, almost all of the buildings have building materials that contain asbestos mineral and are at risk of being found. Therefore, the demolition of such buildings without taking precautions against asbestos is an indication that the

workers working in the demolition as well as the people living in the surrounding area will be exposed to asbestos at an intense level. Although there are legislative provisions within the scope of combating asbestos, it is seen that these provisions are generally not followed in practice, namely in demolition works. (Kale vd., 2017).

Asbestos exposure in urban renewal occurs in the following situations:

- Demolition or dismantling of structures containing asbestos,
- Dismantling, relocation or transportation of asbestos-containing materials,
- Construction, replacement, maintenance, repair or renewal of structures or infrastructures containing asbestos,
- Cleaning of debris and wastes containing asbestos,
- Transport, storage and control of asbestos or asbestos-containing building materials at the construction site(Gürcanlı, 2013).

6.2. Asbestos Material Removal

In this stage of the study, many companies that carry out asbestos removal operations were interviewed and information about the operations was obtained.

Detailed interviews were held with the company "Vonka Asbest", which is the only laboratory in Turkey that passed the international qualification tests in asbestos analysis and measurement, and evaluations were made on the dismantling of asbestos-containing building materials, asbestos removal in the buildings demolished by urban transformation, and official procedures.

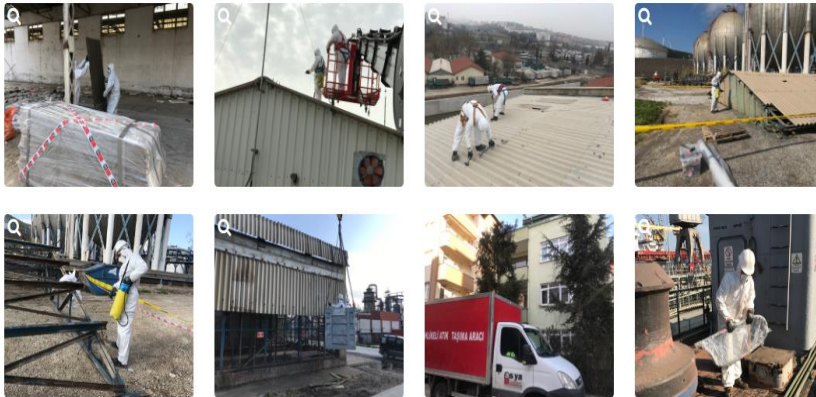


Figure 4. Application of removal of Asbestos Materials (Asya Asbest Danışmalık, 2021)

Asbestos removal works should be carried out by specialized institutions that have "Asbestos Removal Specialist" and "Asbestos Dismantling Worker". Afterwards, İSKUR (Turkish employment organization) should be notified and personal exposure measurements should be carried out during the dismantling process. After the dismantling process, "Asbestos Environment Measurements" must be taken in order to open the asbestos cleaned area for use. Asbestos level measurements in the environment must be made by authorized laboratories in accordance with the TS EN 689 Standard. The environment can be opened for use only after the measurement results are clear. Asbestos waste should be sent to the disposal company. After all these processes are done, the dismantling process is completed by giving a closing petition to İŞKUR with the results of the ambient measurement and personal measurement. (Vonka Asbest, 2021b).

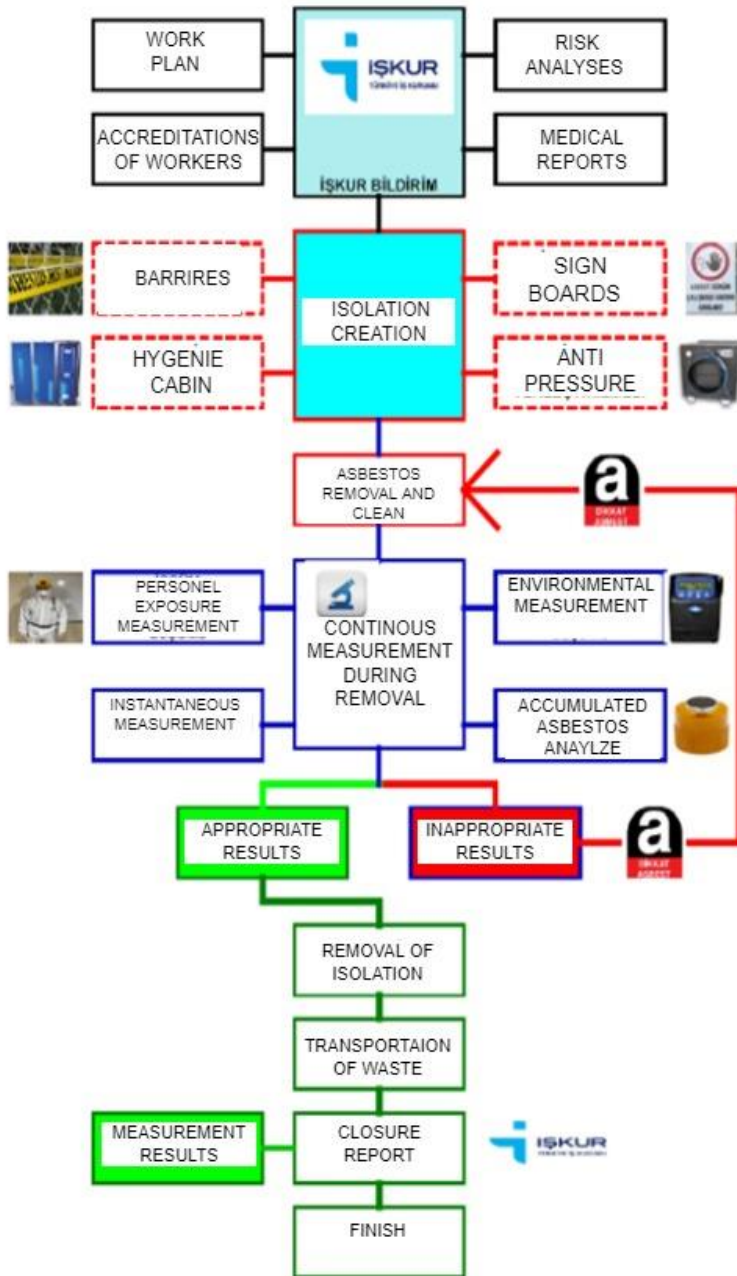


Figure 5. Asbestos Removal Flow Chart (Vonka Asbest, 2021a)

6.3. Asbestos Inventory Report in Urban Transformation

In the buildings to be demolished within the scope of urban transformation, an inventory report of dangerous materials such as asbestos fluorescent, lead and mercury in the building, which is required in the demolition license application before demolition, must be prepared. Hazardous chemical substances determined according to the results of the report should be disposed of in accordance with the laws. In big cities such as Istanbul, Izmir, Antalya, Bursa and Ankara, Provincial Directorates of Environment and Urbanization have sent a circular to district municipalities regarding the need to prepare a hazardous material inventory report for asbestos. In Turkey, many municipalities other than these provinces do not require asbestos and hazardous waste reports. (Vonka Asbest, 2021c). For asbestos inventory preparation and asbestos research, for example, before demolition or renovation work on a building before 2015, an asbestos inventory should be made by laws and regulations. In this way, the relevant ministry wants to prevent people living or working in a building from coming into contact with dangerous asbestos fibers. An asbestos inventory, which must be done by a certified company, is also part of the mandatory risk inventory and assessment. If a building or object was built and demolished or renovated before 2013, an asbestos inventory should be made. This also applies if a building is already known to contain asbestos and the owner wishes to remove that asbestos material from the building.

The order of action to be followed while preparing the asbestos inventory report; During asbestos research, asbestos-containing materials are mapped according to a structured approach. Once the purpose of the investigation has been determined, theoretical examination and interviews with the property owner or manager will determine if asbestos is found and where it will be. In real estate, this is for example corrugated iron panels, facade panels, screeds, boards, window sills, sills, roofing sheets, drains and chimneys. However, it can also occur in invisible places such as pipe insulation or in the connections of stoves or ventilation ducts.

It is impossible to recognize asbestos fibers with the naked eye. Based on knowledge and experience, certain applications and materials may be identified and labeled as 'asbestos suspect'. Based on this, an inspection plan is drawn up and a comprehensive on-site inspection is carried out. Samples are taken from questionable materials and analyzed in an accredited asbestos laboratory. Finally, a comprehensive report of the findings is provided (Vonka Asbest, 2021c).

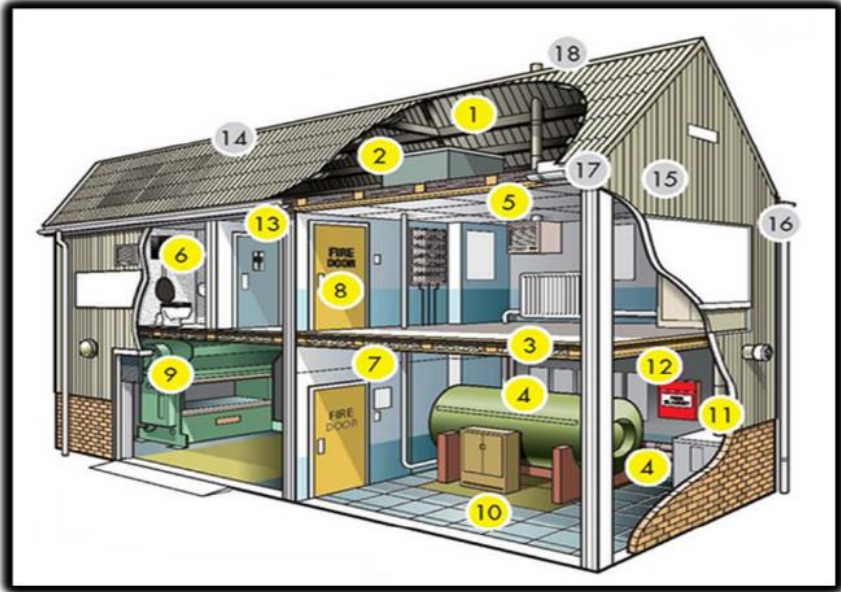


Figure 6. Asbestos spots that can be encountered in a building (Vonka Asbest, 2021c)

6.4. Some Rules to be Followed in Asbestos Removal Process

Many institutions that will have asbestos removal add some methods to their specifications. Although the asbestos removal processes regulated by the specifications are very positive for Turkey, it is one of the most important situations observed during the dismantling practices that neither the institutions nor the companies that carry out the dismantling fully comply with the provisions of the specification.

Some methods applied in asbestos removal operations:

- Minimum number of staff work
- Not giving the exhaust of vacuum cleaners to be used in closed environments to the same environment
- Making measurements with an electron microscope
- Asbestos-related professional liability or accident insurance (without exclusion of asbestos and hazardous materials)
- The conditions under which P2, FFP2, P3, FFP3 and air-fed masks will be used should be determined according to the risk assessment and measurement results. An additional burden should not be placed on the breathing of the personnel unnecessarily.

- Protective clothing (overalls) should be disposable if possible. Washable overalls can be worn in mandatory situations. Disposable coveralls should be Cat 3 type 5-6, in some cases type 4 can be used. Disposable coveralls other than this are not allowed.
- In accordance with hygiene rules, employees should be provided with shower and toilet facilities. Unfortunately, untrim containers are frequently used in Turkey, and even a shower system is not installed most of the time.
- When removing asbestos, the employer permits employees or their representatives to access records of exposure levels and information about their significance. The employer must immediately notify workers if they may be exposed to exceptionally high concentrations of hazardous substances under working conditions that deviate from normal operation. This may be especially true in the event of malfunctions, certain maintenance work or accidents. Certainly, dismantling companies and dismantling companies see this as a cost factor and this rule is not followed at all due to lack of supervision.
- The occupational physician should definitely participate in the risk assessment study.
- The asbestos fiber concentration in the area around the work area should fall below 1000 fibers/m³.
- Water containing asbestos should not be discharged into the sewer system.
- White area measurements may be required. (If the quarantine is damaged, if the work is long, etc.)
- The work area (black area) should be dustproofed with the latest technology. The partition must be stable and withstand the suction force of negative pressure and other stresses. The working area should be kept as small as possible. In addition, the ventilation and air conditioning systems to be installed must meet the following criteria;
 - It must be adequately sized
 - Must have an exhaust air purification system
 - The work area should be adequately ventilated to reduce asbestos fiber concentration.
 - Sufficient negative pressure must be maintained.

The required air output must be calculated from the nominal output of the ventilation system according to the room volume. Supply air must be passed through defined supply air openings for effective flow in the work area. The air flow should be controlled, for example, using a smoke tube. After the shift has ended, the ventilation and air conditioning system should continue to be operated with the same output for at least one hour. Negative pressure should be measured continuously. Recording strips should be retained at least until the measure is completed. If the negative pressure drops, an optical or audible alarm should be triggered automatically. In some cases, it may be necessary to connect the ventilation system to the emergency power supply.

- Personnel decontamination systems should be established, and the black area with at least 3 rooms should be entered and exited from here. Asbestos materials should never be removed from these units and negative pressure should be measured continuously. Also, the air flow direction should be towards the black area.
- With a fiber concentration of over 100,000 fibers / m³, a maximum of three workers are employed and the total working time cannot exceed two shifts.
- Material decontamination systems should be designed for proper handling, cleaning, packaging and temporary storage of objects and materials. These designs are;
 - Floors, walls and ceilings are made of solid, washable, smooth material,
 - Controlled negative pressure maintenance in chamber 2; negative pressure higher than the working area,
 - Ventilation of chambers (ten air changes per hour and diagonal flow in chamber 2),
 - At least 30 air changes in compartment 1 before material is removed,
 - Self-closing room doors,
 - The doors must be locked so that doors 1 and 2 and 2 and 3 cannot be opened at the same time.
- Removal of protective measures

The employer can only take the following protective measures:

- Work with asbestos and other materials containing asbestos, including cleaning, must be completed.

- No visible residual contamination should be confirmed by visual inspection,
- An asbestos fiber concentration below 500 F/m³ in room air should be determined by measurement according to VDI 3492.

The upper limit of the 95% confidence interval for the asbestos fiber concentration calculated according to the Poisson distribution is less than 1000 F/m³. During this measurement, maintenance of negative pressure in the measuring range must be removed.

- When removing gaskets and packings, the released asbestos fibers should be vacuumed with an industrial vacuum cleaner / dust extractor,
- Wastes containing asbestos should be classified as “hazardous waste” according to waste law if the mass content of asbestos exceeds 0.1%,
- Personal exposure measurements should be taken according to DIN EN 689(Vonka Asbest, 2021b).

7. Conclusion

Asbestos is a mineral that has a naturally formed fibrous structure, is resistant to heat and chemicals, and is used in different fields such as the construction industry, textile, automotive, chemical industry and shipbuilding. In the last century, it has been determined that those who work with asbestos and those who breathe the air mixed with asbestos fibers suffer from respiratory tract diseases and even cancer diseases. For this reason, asbestos was called “The Evil Dust” in the world, and it was named “Killer Dust” in Turkey. With the start of urban transformation activities in Turkey, uncontrolled building demolitions, dismantling of asbestos building materials have brought up possible diseases. Observations and determinations show that asbestos was not used in the buildings demolished by urban transformation, and the demolition was carried out and the excavation resulting from this demolition was disposed of uncontrollably. The following recommendations are presented to prevent or minimize asbestos exposure.

- In Turkey, the Urban Transformation or Renewal process was initiated with the Law No. 6306 on the "Transformation of Areas Under Disaster Risk". The buildings that will undergo urban transformation are the buildings where asbestos building materials are used as of the date of construction. Therefore, legal regulations regarding asbestos removal must be applied in the demolition process of these buildings.

- Analysis and evaluations made on a sectoral basis show that both employers and institutions doing the work have difficulties in full compliance with the dismantling legislation in asbestos removal operations.
- Asbestos removal workers have a lack of knowledge and attention about the harms of asbestos and the need to be protected from asbestos. Therefore, social awareness on asbestos and its harms should be increased.
- In the asbestos inventory report, the detection of asbestos wastes, the storage and disposal of these wastes should be documented. Although urban transformation processes are carried out by the Provincial Directorates of Environment and Urbanization as per the relevant law, waste reporting and legal procedures are implemented and supervised by local administrations. However, there is no asbestos reporting and waste management practice in local governments in Turkey, except for a few metropolitan municipalities. This situation causes asbestos to spread to the environment by free destruction.
- Demolition and dismantling operations in urban transformation are under the responsibility of both the relevant ministry and the relevant local administrations, as per the legislation. These institutions should create a process flow chart as an "asbestos removal guide" that sets out what needs to be done in dismantling. This guide will ensure both the safe removal of asbestos and the documentation of the operations performed.
- In order to clearly demonstrate the importance of all the regulations and practices to be made, the numerical data of those who have suffered from diseases as a result of asbestos exposure in the past should be announced to the public by all public institutions and organizations and professional chambers related to the construction sector. Thus, the sensitivity to asbestos exposure will be increased.

8. References

- Altıntop, A. 2019. "*Asbestli Söküm İşlerinde Asbest Maruziyetinin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi*". Ege Üniversitesi.
- Altıntop, A. S., Uraz, C. 2020. "*Bina Yıkım İşlerinde Asbest Maruziyetinin Değerlendirilmesi*". e-Journal of New World Sciences Academy.

- Asya Asbest Danışmalık. 2021. "Asbest Söküm Uygulamaları". Retrieved from: <https://www.asyaasbest.com/FotoGaleri-asbest-sokumu-3>
- Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı. "Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik" (2013). Resmi Gazete.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "Zararlı Kimyasal Maddelerin ve Ürünlerin Kontrolü Yönetmeliği" (1993). Resmi Gazete.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2021. "'Asbest Çıkarılması ve Asbest İçeren Ürünleri İşleme veya Dönüştürme Projeleri'". Retrieved from: <http://www.csb.gov.tr/turkce/index.php>
- Çöğür, M. T., Uzun, M., 2020. "Effect of configuration of shear walls at story plan to seismic behavior of high-rise reinforced concrete buildings". Challenge Journal Of Structural Mechanics. 6(1), 31-40.
- Clifton, R. A. 1979. "Asbestos: report on mineral commodity profile."
- Demirağ, F., Çakir, E., Alpar, S., Taştepe, I., Kaya, S. 2011. "Plevra-pulmoner soliter fibröz tümörlerin histopatolojik görünümünün CD44 ve MMP-2 ekspresyonu ile birlikteliği". Turk Patoloji Dergisi/Turkish Journal of Pathology.
- Doll, R., Peto, J. 1985. "Effects on health of exposure to asbestos". Applied Optics.
- Güranlı, G. 2013. "'Kentsel Dönüşüm Süreci, Yıkımlar ve Asbest Riski Üzerine'". Retrieved from: <http://gurkanemregurcanli.blogspot.com.tr/2013/07/kentsel-donusum-sureci-yikimlar-ve.html>
- Güranlı, G., Duman, E. 2014. "'Kentsel Dönüşüm, Yıkımlar, Asbest'". İstanbul İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Meclisi. Tarihinde adresinden erişildi <http://docplayer.biz.tr/3836241-Kentsel-donusum-dr-ercan-duman-halk-sagligi-msc-doc-dr-gurkan-emre-gurcanli-itu-insaat-fak-ns-muh-bol-ogr-uyesi.html>
- HSA-UK. 2021. "Asbestos Containing Materials ACM in Workplaces, Health and Safety Authority". Retrieved from https://www.hsa.ie/eng/Publications_and_Forms/Publications/Chemicaland_Hazardous_Substances/Asbestos_Guidelines.pdfEngland

- Kale, Ö., Gürcanlı, G., Baradan, S. 2017. "Kentsel Dönüşüm Sürecinde Asbest Maruziyeti ve Korunma Yöntemleri". Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 23(6), 694–706.
- Orman Bakanlığı. "Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelik" (2010).
- Şahan, R. 2015. "*Asbest Maruziyetinin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi*". Gedik Üniversitesi.
- Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası. 2011. "'AB'nin İstihdam ve Sosyal Politikası'". Retrieved from: http://www.mess.org.tr/media/filer_public/4c/e8/4ce80e0b-1dbe-40fa-8b55-8a951552ae66/istihdamvesosyalpolitika.pdf
- Uzun, M., Çöğürçü, M. T., 2018. "Investigation of Effect of Infilled Wall on Soft Story Irregularity". Journal of Engineering Research and Applied Science. 7(2), 878-885.
- Vonka Asbest. 2021a. "Asbest Söküm Akış Şeması". Tarihinde adresinden erişildi <https://www.vonkalab.com/post/asbest-söküm>
- Vonka Asbest. 2021b. "Asbest Sökümü İşlemleri". Tarihinde adresinden erişildi <https://www.vonkalab.com/post/asebest-söküm-akış-şeması>
- Vonka Asbest. 2021c. "Kentsel Donusum Asbest Envanter Raporu". Retrieved from: <http://www.vonka.com.tr/2020/05/13/kentsel-donusum-asbest-envanter-raporu/>
- Yıldız, T., Ateş, A. 2021. "Asbest ile İlişkili Plevra ve Akciğer Hastalıkları". Retrieved from: http://www.klinik.gelisim.org.tr/kg_234/9.pdf

**Natural and Technology
Sciences**

CHAPTER 04



**Hidrolojik Tahminler İçin Meteorolojik Eğilim Analizi
(Mehmet Dikici)**

Hidrolojik Tahminler İçin Meteorolojik Eğilim Analizi

Mehmet Dikici

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kestel Alanya
E-mail:mehmet.dikici@alanya.edu.tr

1. Giriş

Taşkın ve kuraklık suyun azlığı ve çokluğu ile olabilen afet türleridir. Önceden tahmin edilen boyutları ile tedbir almak ve zarar azaltmak hidroloji biliminin konusuna girer. Meteorolojik veriler ile yapılan eğilim analizleri afetin boyutunu tahmin etmekte kullanılır.

Bir parametrenin zaman içerisinde ölçülmüş değerinde anlamlı bir artma veya azalma (eğilim-trend) olup olmadığı istatistiki testler yardımıyla incelenebilir. Hidroloji büyüklükleri (yağış, akış) zamanla rastgele değiştiğinden daimi bir artma ya da azalma eğiliminin analiz edilmesi özel metotlar kullanmak için geçerli bir sebeptir (Helsel ve Hirsch, 1992).

Bu bölümde meteorolojinin verilerindeki eğilimin belirlenmesi için dünyada çoğunlukla kullanılmakta olan Mann-Kendall testi kullanılacaktır.

Genel olarak Kendall τ istatistik metodu olarak anılan Mann-Kendall testi ((Kendall, 1975), (Mann, 1945)) verilerdeki eğilimin rastgele olup olmadığının bulunması için klimatoloji ve hidrolojide genellikle kullanılmaktadır. Bu test non-parametrik bir yöntem olduğundan verilerdeki dağılımdan bağımsız ele alınır. Bu testle zaman serilerinde eğilim olup olmadığını sıfır hipoteziyle “Ho: Eğilim Yok” ifadesiyle kontrol edilmek mümkündür (Bayazit, 1996).

Testin uygulandığı zaman serileri $(x_1, \dots, x_n)$ x_i ve x_j çiftleri olarak iki gruba ayrılır. $i < j$ için $x_i < x_j$ olup çiftlerin sayısı P ve $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı ise M ile gösterilsin Testin istatistiği $S = P - M$ biçiminde hesaplanır. Testin istatistiği S, ortalaması sıfır iken ve varyans Denklemi (3) ile hesaplanmış iken Denklemler (1) ve (2) kullanılarak bulunur (Partial ve Kahya, 2006).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n-1} \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eger } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{eger } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{eger } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Var}(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) \right] / 18 \quad (3)$$

Verilen herhangi bir bağıntının büyüklüğünü t gösterir, Buradaki t eşit gözlemleri sayısal olarak belirtmektedir. Örneğin büyüklüğünü $n>10$ olarak alan bu çalışmadaki normal standart dağılım z değeriye, Denklem (4) ile bulunmuştur.

Ho hipotezi, eğer α anlam düzeyinde $|z| \leq z_{\alpha/2}$ ile kabulü yapılmakta ve araştırılan zaman periyodunda eğilimin olmadığını, büyük ise eğilimin olduğunu işaret etmektedir. S göstergesi pozitif değerde ise yukarı (artan) eğilimi, benzer biçimde S göstergesi negatif değerde ise azalan eğilime işaret eder (Partal ve Kahya, 2006).

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eger } S > 0 \\ 0 & \text{eger } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eger } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Tahmini olarak anlamlılık seviyesini kullanıp bir büyüklük amacıyla belirlenmiş aralığa ise güven aralığı denmektedir. En fazla kullanılmakta olan güven aralıkları %99, %95 ve %90' dır. Bu çalışma %95 güven aralığı esas alınarak yapılmıştır.

Bu kabuller ile $\alpha = 0,05$ anlam seviyesinde z değerler $-1,96 \leq z \leq 1,96$ biçiminde belirlendiğinden anlamlılık eğiliminin olmaması durumunda "0", artan eğilimin olması durumunda "+", azalan bir eğilimde "-" olarak gösterilmektedir.

Ceyhan Havzasındaki alınan meteoroloji kayıtlarının (yağış, sıcaklık, buharlaşma), zamanla nasıl bir eğilime şahit olduğunun tespiti için trend analizi hesaplanmıştır.

Meteoroloji eğilim analizlerini MGİ'lerde 1970–2016 yılları arası ölçülen yıllık ortalama sıcaklık, yıllık toplam yağış ve toplam yıllık açık yüzey buharlaşma verileri ele alınarak yapılmıştır.

2. Yağış Eğilimleri

Ceyhan Havzasında bulunan MGİ'lerin toplam yıllık yağışları için Mann Kendall testi ile analiz yapılmıştır. Ceyhan Havzası toplam yıllık yağışlar için istasyona odaklı yapılan Mann Kendall eğilimi analiz sonuçlarını Tablo 1 üzerinde görmek mümkündür.

Tablo 1. Ceyhan havzası istasyon bazlı yıllık toplam yağışların eğilim analizi sonuçları

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım	$\alpha=0,05$ Anlamlılık Düzeyinde z Değeri	$-1,96 < z < 1,96$	Eğilim
17868	Afşin	1180	-0,532	0	Trend Yok
7946	Bahçe	665	0,587	0	Trend Yok
17960	Ceyhan	30	0,844	0	Trend Yok
17870	Elbistan	1137	-0,220	0	Trend Yok
17866	Göksun	1344	-1,559	0	Trend Yok
17871	Gölbaşı	900	1,018	0	Trend Yok
7767	Kadirli	100	0,862	0	Trend Yok
17255	Kahramanmaraş	572	1,210	0	Trend Yok
17908	Kozan	109	-0,972	0	Trend Yok
17355	Osmaniye	120	1,816	0	Trend Yok
17979	Yumurtalık	27	-0,037	0	Trend Yok
7251	Ağabeyli	950	0,724	0	Trend Yok
7937	İmamoğlu	100	1,247	0	Trend Yok
8115	Kaypak	700	-0,165	0	Trend Yok
7600	Türkoğlu	500	-1,082	0	Trend Yok

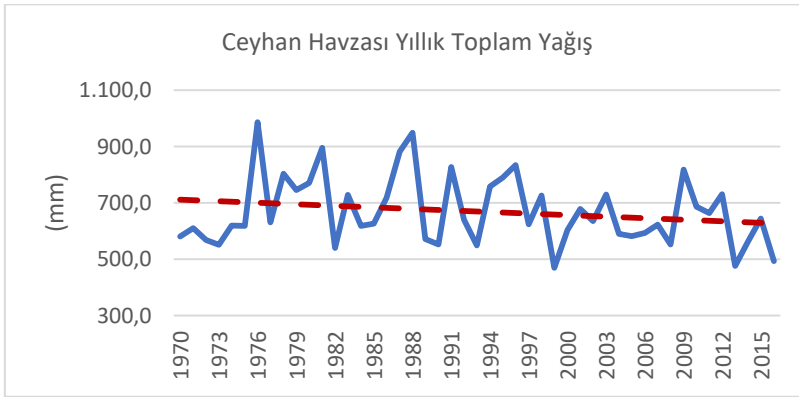
Tablo 1 ile verilmiş sonuçlara bakılırsa toplam yıllık yağışlar için yapılmış eğilimin analizindeyse bir istasyonda %95 güven seviyesinde istatistiki olarak anlamlı bir eğilim görülmemektedir.

Ceyhan Havzası toplam yıllık yağışları için alt havzalarda yapılan Mann Kendall eğilimin analiz sonuçlarını Tablo 2 'de görmek mümkündür.

Tablo 2. Ceyhan havzası alt havza bazlı yıllık toplam yağışların eğilim analizi sonuçları

Havza No	Havza/Alt Havza Adı	Anlamlılık Düzeyi (%5) z Değeri	$-1,96 < z < 1,96$	Eğilim
20-1	Yukarı Ceyhan Alt Havzası	-0,807	0	Trend Yok
20-2	Orta Ceyhan Alt Havzası	-1,449	0	Trend Yok
20-3	Aşağı Ceyhan Alt Havzası	-0,899	0	Trend Yok
20	CEYHAN HAVZASI	-0,899	0	Trend Yok

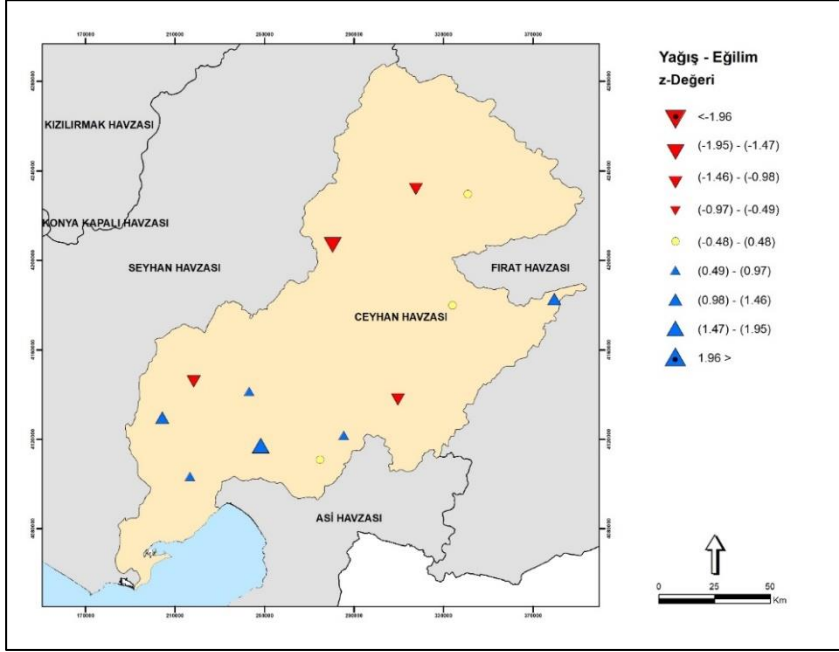
Tablo 2 ile hesaplanan sonuçlar esas alındığında alt havzaların toplam yıllık yağışları için gerçekleşen eğilimin analizi ile tüm alt havzada %95 güven seviyesinde istatistiki anlamda bir eğilim görülmemektedir. Ceyhan Havzasının tamamında da bu güven seviyesinde anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Havzanın genelinde zaman serilerine bakıldığında bu güven seviyesinde azalma olduğu ancak anlamlılık açısından yeterli olmadığı düşünülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Ceyhan havzası yıllık toplam yağışlar zaman serisi

İstasyonların yapılan alansallaştırılmasıyla analiz edilerek çizilmiş harita Şekil 2 ile verilmektedir. %95 güven seviyesinde çok fazla bir anlamı olmasa dahi azalan bir eğilimin var olduğu istasyonların ters kırmızı üçgenlerle, bir artan eğilimi gösteren istasyonların mavi üçgenlerle gösterildiği harita aşağıdadır. %95 güven seviyesinde eğilimin makul görüldüğü istasyonlarda

siyah nokta üçgen şekil ile işaretlenmiştir. Sarı çemberle işaretlenen istasyonlar bir eğilim göstermemektedir.



Şekil 2. Ceyhan havzası yıllık toplam yağışlar eğilim analizi haritası

3. Sıcaklık Eğilimleri

Ceyhan Havzasında bulunan MGI'lerin ortalama yıllık sıcaklıklar için Mann Kendall eğilimi analizinin sonuçlarının Tablo 3 üzerinde özetlenmesiyle bir trend olup olmadığı artan bir eğilimin varlığı görülmektedir.

Tablo 3. Ceyhan havzası istasyon bazlı yıllık ortalama sıcaklıkların eğilim analizi sonuçları

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım	$\alpha=0,05$ Anlamlılık Düzeyinde z Değeri	-1,96<z<1,96	Eğilim
17868	Afşin	1180	2,357	+	Artan
7946	Bahçe	665	4,824	+	Artan
17960	Ceyhan	30	3,677	+	Artan
17870	Elbistan	1137	2,421	+	Artan
17866	Göksun	1344	1,009	0	Trend Yok
17871	Gölbaşı	900	6,080	+	Artan
7767	Kadirli	100	4,163	+	Artan
17255	Kahramanmaraş	572	4,457	+	Artan
17908	Kozan	109	4,539	+	Artan
17355	Osmaniye	120	5,539	+	Artan
17979	Yumurtalık	27	4,879	+	Artan
7251	Ağabeyli	950	3,347	+	Artan
7937	İmamoğlu	100	5,805	+	Artan
8115	Kaypak	700	6,786	+	Artan
7600	Türkoğlu	500	4,659	+	Artan

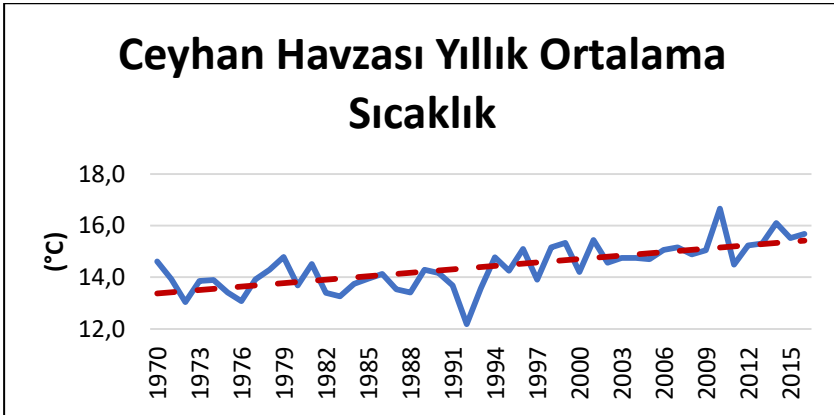
Tablo 3. ile gösterilen sonuçlara bakıldığında ortalama yıllık sıcaklık için yapılmış eğilim analizindeki Göksun istasyonu hariç bütün istasyonlarda %95 güven seviyesinde istatistiksel anlamda ve eğilimi artan yönde gözlemek mümkündür. Göksun istasyonunda ise %95 güvenli seviyede anlamlı bir eğilimi görmek mümkün değildir.

Ceyhan Havzasında ortalama yıllık sıcaklıklar için havzaların alt kısımlarında yapılan Mann Kendall eğilimi analiz sonuçlarına göre Tablo 4 'de düzenlenmiştir.

Tablo 4. Ceyhan havzası alt havza bazlı yıllık ortalama sıcaklıkların eğilim analizi sonuçları

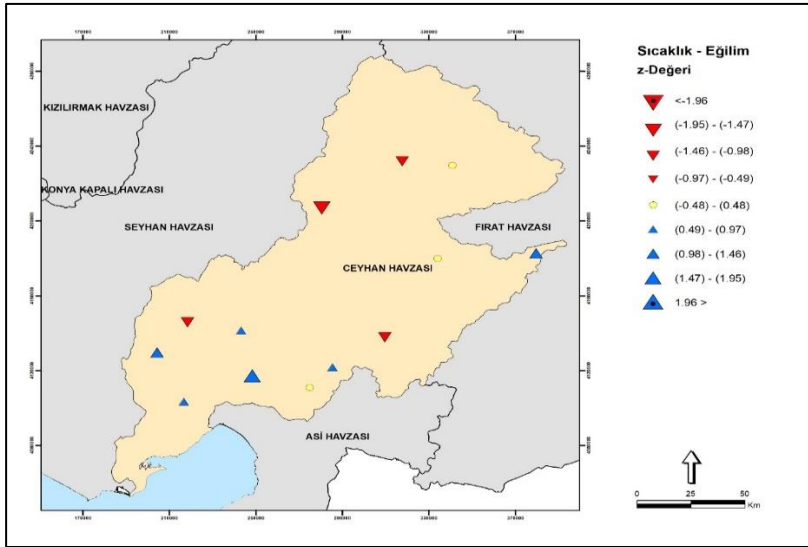
Havza No	Havza/Alt Havza Adı	$\alpha=0,05$ Anlamlılık Düzeyinde z Değeri	-1,96<z<1,96	Eğilim
20-1	Yukarı Ceyhan Alt Havzası	4,787	+	Artan
20-2	Orta Ceyhan Alt Havzası	5,447	+	Artan
20-3	Aşağı Ceyhan Alt Havzası	5,245	+	Artan
20	CEYHAN HAVZASI	6,016	+	Artan

Tablo 4 ile verilen sonuçlara bakıldığında Ceyhan Havzası tüm alt havzalarıyla ortalama yıllık sıcaklık ölçüleri %95 güven seviyesinde artan ve anlamlı sayılabilecek bir eğilimi göstermektedir. Havzanın genelinde ortalama yıllık sıcaklıkların zaman serileri elde edildiğinde bu artışı görmek mümkündür (Şekil 3).



Şekil 3. Ceyhan havzası yıllık ortalama sıcaklıklar zaman serisi

Aşağıdaki şekilde görülen istasyonların alansallaştırılması yöntemi ile çizilen bir haritadır. Haritadaki renklerde mavi üçgen artan kırmızı ters üçgen ile azalan %95 güvenli seviyede anlamlı sayılmasa da bir eğilim gösteren istasyonlardır. %95 güven seviyesindeki bir eğilimin anlamlı görüldüğü istasyonları ise siyah renkli üçgenlerle belirlenmiştir. Sarı daireyle işaretlenen istasyonlar bir eğilimin görülmediği yerlerdir.



Şekil 4. Ceyhan havzası yıllık ortalama sıcaklıklar eğilim analizi haritası

4. Buharlaşma Eğilimleri

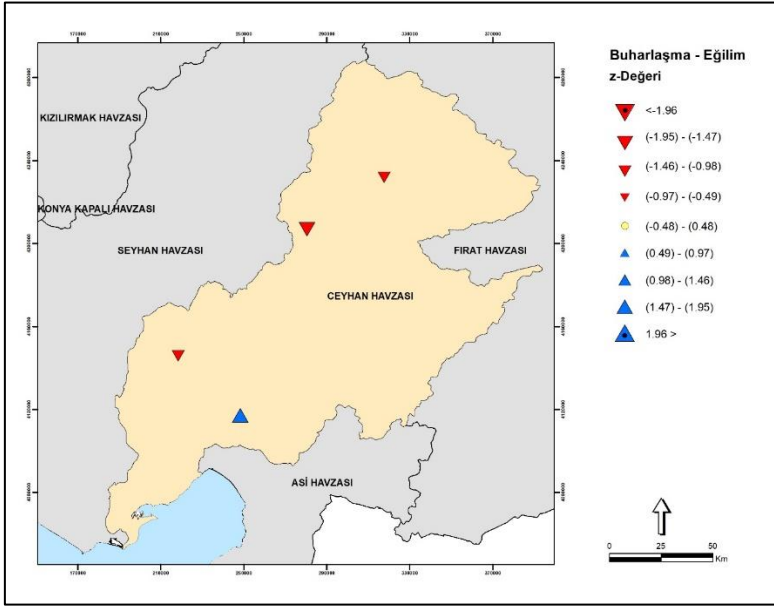
Ceyhan Havzası'nda MGİ'ler yardımıyla yıl bazında buharlaşmasının değerlerini kullanarak Mann Kendall eğilim analiziyle buharlaşma eğilimlerini tahmin etmek mümkündür. Ceyhan Havzasında toplam yıllık buharlaşma değerleriyle istasyonlarda yapılan Mann Kendall eğilimi analiz neticesi Tablo 5 'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Ceyhan havzası istasyon bazlı yıllık toplam buharlaşma eğilim analizi sonuçları

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım	$\alpha=0,05$ Anlamlılık Düzeyinde z Değeri	$-1,96 < z < 1,96$	Eğilim
17868	Afşin	1180	3,650	+	Artan
17866	Göksun	1344	0,954	0	Trend Yok
17255	Kahramanmaraş	572	-0,697	0	Trend Yok
17908	Kozan	109	1,669	0	Trend Yok
17355	Osmaniye	120	5,264	+	Artan
17979	Yumurtalık	27	0,110	0	Trend Yok

Tablo 5 'de elde edilen sonuçlara bakıldığında toplam yıllık buharlaşmalar için gerçekleşen eğilim analiziyle Afşin ve Osmaniye istasyonlarından başka %95 güven seviyesinde istatistiksel anlamlı bir eğilim görülmemiştir. Afşin ve Osmaniye istasyonları istatistiksel anlamda %95 güven seviyesinde artan bir eğilim göstermiştir.

İstasyonlarda yapılmış eğilim analizinin alansallaştırılmasıyla çizilen harita Şekil 5 'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Ceyhan havzası yıllık toplam buharlaşma eğilim analizi haritası

Eğilimi %95 güven seviyesinde anlamlı kabul edilirse istasyonlar siyah renkli üçgenlerle işaretlenmiştir. Sarı daireyle gösterilen istasyonlarda bir eğilimin görülmediği tespit edilmiştir. Elde edilen haritalarda %95 güven seviyesinde anlamlı olmasına bakılmadan bir azalan eğilimi göstermiş istasyonlarda ters kırmızı üçgenler, mavi üçgen ise artan bir eğilim gösteren istasyonlarda kullanılmıştır.

Teşekkür

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne verileri paylaşmasından dolayı teşekkür ederim.

5. Referanslar

Bayazit, M. (1996). İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.

Helsel ve Hirsch. (1992). Statistical Methods in Water Resources. Elsevier, 522 p.

Kendall, M. (1975). Rank Correlation Methods. London: 4th edition, Charles Griffin.

Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13:163-171.

Partal ve Kahya. (2006). Trend Analysis in Turkish Precipitation Data. *Hydrological Processes*, 20, 2011-2026.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 05



**The Biosynthesis, Functions and Importance of microRNAs
in Livestock
(Cihat Erdem Bulbul, Levent Mercan, Sevgi Marakli)**

The Biosynthesis, Functions and Importance of microRNAs in Livestock

Cihat Erdem Bulbul¹, Levent Mercan², Sevgi Marakli³

¹*Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture,
Ondokuz Mayıs University, Turkey*

E-mail: cihaterdem.bulbul@omu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8609-6239

²*Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture,
Ondokuz Mayıs University, Turkey*

E-mail: lmercan@omu.edu.tr

³*Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Arts and Sciences,
Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.*

E-mail: smarakli@yildiz.edu.tr

Abstract

Gene expression regulation is an important mechanism including different important molecules such as transcription regulation factors, enhancers, inducers and silencers, etc. Among all these sequences, sncRNAs (small non-coding RNAs) have been widely studied to identify their roles. miRNAs (microRNAs) are a subclass of sncRNAs and can be utilised to improve product quality in both plants and animals in addition to biomarkers for disease diagnosis, prognosis and novel therapeutic targets. This chapter summarised the biosynthesis and biological functions of miRNAs in livestock. This review is expected to provide a resource for researchers interested in increase product quality and quantity in animal biotechnology.

Keywords: Epigenetics, gene expression regulation, RNA world, retrotransposons

1. Introduction

Genome size shows considerable variability across species. These sizes are 2.86 Gb for cattle, 3.04 Gb for goat, 2.6 Gb for sheep, 1.2 Gb for chicken, 1.1 Gb for goose, while 236 Mb in honey bees (Consortium, 2006; Consortium, 2004; Heaton et al., 2021; Li et al., 2020; NCBI, 2022; Siddiki et al., 2019). Functional products (protein and other RNAs) in the genome are encoded by genes. These sequences cover a very little portion of the genome (2%). Repetitive sequences, regulatory sequences and non-coding RNAs (long non-coding RNAs - lncRNAs and small non-coding RNAs - sncRNAs) are found in another large part (98%) (Consortium, 2007). miRNAs with 19-25 nt in length are functional sncRNAs (Tornesello et al., 2020). They play very crucial roles in gene expression regulation in different metabolic

pathways including cell differentiation, proliferation, and apoptosis mechanisms (Gebert & MacRae, 2019). Recent studies have indicated 1025 miRNAs in cattles, 436 miRNAs in goats, 153 miRNAs in sheeps, 1232 miRNAs in chickens, 262 miRNAs in honey bees (Kozomara et al., 2019). Additionally, 1328 conserved known miRNAs were reported in geese (Xu et al., 2014).

miRNA genes are frequently located in gene clusters, and these clusters are operon-like structures transcribed as polycistronic. Some researchers have hypothesised that miRNAs found in the same cluster could regulate functionally related genes (Wang et al., 2011; Yuan et al., 2009). In addition to this mechanism, various miRNAs have also been identified in almost all biological fluids and even found to function in extracellular conditions (Yáñez-Mó et al., 2015). High-density lipoproteins (Vickers et al., 2011), Argonaute (Ago2) protein (Arroyo et al., 2011) or within extracellular vesicles (EVs) (Gad et al., 2020) play important roles in localisation of miRNAs. Clustered miRNA genes with homologous functions are conserved in related species (Wang et al., 2016).

miRNAs have been extensively investigated in animals and humans as biomarkers for disease diagnosis, prognosis, and novel therapeutic targets (Di Martino et al., 2021; Do et al., 2021; Dobrowolny et al., 2021; Hong et al., 2021). miRNAs are also related to population genetics, genetic drift and differentiation, and domestication (Braud et al., 2017). Glazko et al. (2019) emphasised that another epigenetic mechanism, transposons, also contributed to domestication as miRNA sources and distributors.

The two most common methods to identify new miRNAs and determine the expression profiles are microarray and RNA-seq (Jet et al., 2021; Kanakis et al., 2021; Yaylak & Akgül, 2022). Moreover, several target gene loci have been identified experimentally, and some have been computationally predicted in some livestock. Achieved polymorphism in these regions is considered a basis for breeding and genomic selection (Wara et al., 2019).

This chapter summarised miRNAs' biosynthesis, biological functions, and utilisation of miRNA markers in genomic selection and breeding. Moreover, we aimed to give detailed information in terms of the effects of miRNAs on improving the quality and yield of livestock, and also the utilisation of miRNAs as biomarkers.

2. miRNA Biogenesis

miRNA biogenesis begins with post- or co-transcriptional processing of RNA polymerase II/III. These sequences are located as intragenic, and some of them are processed from introns or exons in general. The remaining

miRNAs are located in intergenic sites regulated by their promoters. miRNA biogenesis is classified as canonical and noncanonical pathways including Drosha-independent and Dicer-independent (O'Brien et al., 2018) (Figure 1).

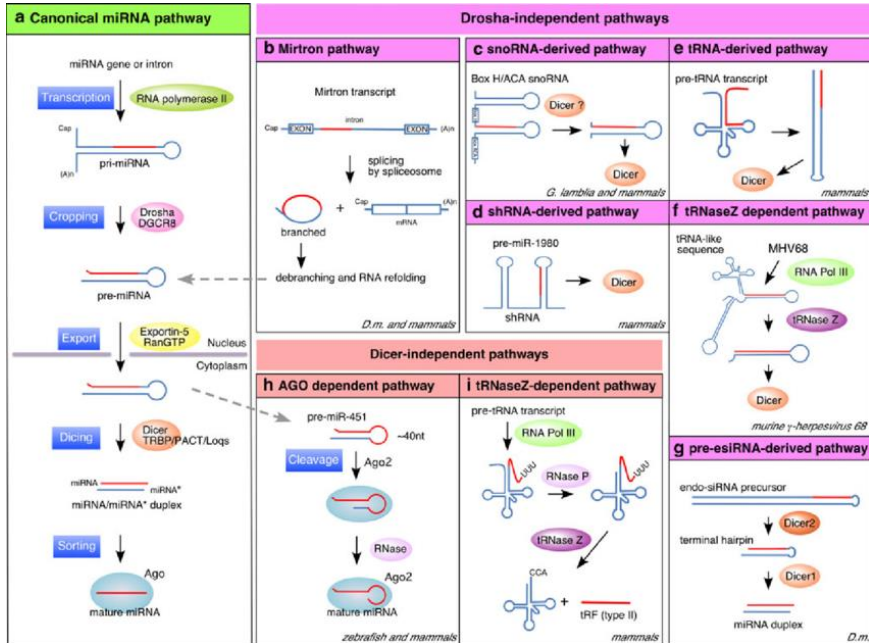


Figure 1: Pathways of miRNA biogenesis (Miyoshi et al., 2010)

2.1. Canonical miRNA biogenesis

miRNAs are firstly produced as pri-miRNA (primary miRNAs) above 1000 nt in length, containing a cap and also poly-A tail. Then, pri-miRNAs are processed and converted into 70 nt in length. These stem-loop-shaped precursor structures of miRNAs are also known as pre-miRNAs (precursor microRNAs) in the nucleus (Figure 1a). This processing is performed by a protein complex called the microprocessor complex in animals. The microprocessor complex contains a nuclease termed Drosha (RNase III enzyme) and a dsRNA-binding (double-stranded RNA) protein termed DGCR8. The pre-miRNA hairpin is cleaved by the RNase III endonuclease enzyme (or Dicer enzyme) in the cytoplasm. Finally, RISC (RNA-Induced Silencing Complex) is formed by the loading of proteins from the AGO (Argonaute) protein family and dissociation of the guide strand from double-stranded RNA through Dicer (Treiber et al., 2019).

2.2. Noncanonical miRNA biogenesis

2.2.1. Drosha-independent pathways

2.2.1.1. Mirtron pathway

Mirtrons are an important class of Drosha-independent miRNAs (Figure 1b). These miRNAs arise from introns that can be transferred to the cytoplasm for processing by Dicer without splicing. Mirtrons are found in chickens (Glazov et al., 2008) and cattle (Bell, 2020). Mirtrons may have 3' or 5' lateral regions on both sides (tailed mirtrons), splitting before transferring to the cytoplasm. The nuclear exosome complex is responsible for the 3' clipping, and the removal of the 5' extensions is not fully understood (Zia & Flynt, 2020).

2.2.1.2. snoRNA-derived pathway

snoRNAs (small nucleolar RNAs) are small RNAs of about 70-200 nt in length that have been maintained in the process of evolution mechanism (Matera et al., 2007). Similar to the canonical miRNA, the snoRNA-derived miRNA is about 21 nt in length. They bind to AGO1-AGO4 and inhibit target mRNAs' activity. For example, miRNA derived from ACA45-recognises the 3'-UTR and inhibits the expression of transcriptional regulator cell division cycle 2-like 6 (CDC2L6) (Figure 1c) (Stavast & Erkeland, 2019).

2.2.1.3. shRNA-derived pathway

Babiarz et al. (2008) revealed that one of the shRNAs (short-hairpin RNAs) is connected by a hinge with two potential pre-miRNA hairpin-like transcripts, leading to a secondary structure. Microprocessor independence indicates that an unknown nuclease either splits up to 5'-end of the first hairpin or the second hairpin (Figure 1d) to produce a suitable Dicer substrate (Miyoshi et al., 2010).

2.2.1.4. tRNA-derived pathway

Another source of noncanonical miRNAs is transfer RNAs (tRNAs). tRNA is a substrate for Dicer which cleaves tRNA into tRNA-derived RNA (tDR) fragments (Figure 1e). tDRs are also derived from 5'-tRNA stress-induced fragments (tiRNAs). Some tRNA fragments together with AGO proteins could regulate gene expression similar to miRNA activity. Despite the miRNA-like functions of tiRNAs, they are still unknown whether tiRNAs are loaded into RISC or not (Stavast & Erkeland, 2019).

2.2.1.5. tRNaseZ-dependent pathway

Murine-herpesvirus 68 (MHV68) encoding miRNAs located in adjacent viral tRNA-like sequences (Bogerd et al., 2010; Pfeffer et al., 2005; Pfeffer et al., 2004). Drosha does not process pri-miRNAs containing 5' tRNA but cellular tRNase Z cleaves 3' to release pre-miRNA hairpins (Figure 1f), which Dicer processes to obtain mature viral miRNAs (Bogerd et al., 2010).

2.2.1.6. pre-esiRNA-derived pathway

Endogenous siRNAs (endo-siRNAs or esiRNAs) originated from another endogenous RNA form named long endogenous dsRNAs. This type of siRNAs is derived from intergenic regions, heterochromatic sequences, transposons, long RNA transcripts and mRNAs in *Drosophila* (Okamura & Lai, 2008). There is a difference between miRNAs and esiRNAs in Dicer and AGO protein. miRNAs are related to Dicer1 and AGO1 whereas esiRNAs interact with Dicer2 and AGO2 (Siomi & Siomi, 2009). However, it was shown that many esiRNAs are based on *Loquacious* (Loqs), the authentic partner of Dicer1 in the miRNA pathway. Therefore, it could be said that esiRNA is processed by different dicer complexes and these complexes recognise the stem length of precursor hairpins (Miyoshi et al., 2010) (Figure 1g).

2.2.2. Dicer-independent pathways

2.2.2.1. AGO-dependent pathway

The biogenesis of miR-451 and its functions in hematopoiesis has been widely studied (Wang et al., 2019). Mature miR-451 is produced by processing pre-miR-451 through Ago2 catalytic activity (Figure 1h) (Kretov et al., 2020). However, it is unclear how Ago2-dependent processes of pre-miR-451 and conserves its functions in erythropoiesis in vertebrates (Bartel, 2018; Yang & Lai, 2010; Yang et al., 2010).

2.2.2.2. tRNaseZ-dependent pathway

The association with tRNaseZ dependent or the integrator-dependent pathway with the AGO2-dependent pathway revealed RNase III-independent miRNA biogenesis in mammalian cells (Figure 1i). Sindbis and tick-borne encephalitis virus designed to produce functional miRNAs were given as other examples to identify cytoplasmic RNA viruses. Successful processing of artificially inserted pri-miRNAs into these viruses that can only replicate in the cytoplasm may be inferred a noncanonical miRNA processing pathway. Thus, studies from this perspective will promise to discover unexpected miRNA biogenesis mechanisms (Xie & Steitz, 2014).

3. Biological Functions of miRNAs in Livestock

3.1. Cattle

The functions of miRNAs in different metabolic pathways have been commonly investigated in cattle. These studies were conducted in *B. taurus* and *B. primigenius* (Braud et al., 2017). They determined that 1620 candidate domestication genes related to immun system, forming of pigment, neuroendocrinology, fertility, metabolism and production traits. Fang et al. (2018) also studied milk production and even health status. GWAS (Genome-Wide Association Studies) analyses relationships between different traits and miRNA in Jersey, Nordic red cattle and Holstein breeds. Results showed that 55 critical miRNA target networks were identified for different traits, and 12 of them were shared by multiple characteristics such as yields of fat, protein, milk, mastitis and body conformation. Another study was conducted by Raza et al. (2020). They reported that differentially expressed miRNAs had impacted adipogenesis in muscle, and thus, miRNA expression affects meat quality in beef cattle. Jia et al. (2021) also compared grass-fed and grain-fed regimen groups in Angus beef cattle. They reported 200 differentially expressed genes, 76 differentially expressed miRNAs (DEmiRNAs), and two differentially expressed lncRNAs (DElncRNAs).

In addition to cellular miRNAs and lncRNAs, Gad et al. (2020) declared that EV-miRNAs (Extracellular Vesicle microRNAs) are potential biomarkers for super stimulation in the blood of heifers. Plasma EV-miRNAs give a new insight as a potential biomarker to predict super stimulation response in assisted reproduction. In addition, miRNAs are also utilised for detecting early-stage of pregnancy in cattle. For this purpose, Lim et al. (2021) stated that miRNAs in plasma samples collected from 12 cows when non-pregnant and after insemination (0th, 4th, 8th, 12th, 16th weeks at pregnancy) were examined using small RNA sequencing and GWAS. They determined 115 miRNAs that were differentially expressed in 16th weeks compared to non-pregnancy.

3.2. Sheep and goat

Wenguang et al. (2007) specifically characterised 19 miRNAs in an adult body and ear skin from goats and sheep by microarray analyses. Especially mmu-miR-720 and mmu-miR-199b were expressed particularly in goats, whereas mir-17, mir-30, mir-15, and mir-8 gene families were expressed frequently in both species. Zhao et al. (2016) conducted a different study related to miRNA and sheep skeletal muscle relationships. They identified 15 SDEmiRs (Significantly Differently Expressed miRNAs) between 90 and 110 days fetus, 290 SDEmiRs between 90 days fetus and 40 days age lamb, 343 SDEmiRs between 90 days fetus of and 3 years age adult, 207 SDEmiRs

between 110 days fetus and 40 days lamb, 209 SDEmiRs between 110 days fetus and 3 years adult, and 293 SDEmiRs between 40 days lamb and 3 years adult. Another sheep experiment was performed by Zhou et al. (2017). In the study, 35 new miRNAs were found in adipose tissues of fat-tailed (Kazakh sheep - KS) and thin-tailed (Tibetan sheep - TS) sheep breeds using high-throughput sequencing. Moreover, they also reported that some miRNAs were uniquely expressed in KS (179) and TS (97), whereas 539 miRNAs were found in both. Li et al. (2021) also examined the expressions of circRNA (circular RNAs) and miRNA in the sheep oviduct during the follicular and luteal phase in *FecB^{BB}* (mutant type) and *FecB⁺⁺* (wild type) genotypes using RNA sequencing technology. 15 DE circRNAs and 40 DE miRNAs were found in the follicular and luteal phases. Furthermore, 1 DE circRNA and 18 DE miRNAs were revealed when comparing the *FecB^{BB}* and *FecB⁺⁺* genotypes. Gene ontology and Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes analyses demonstrated that target genes of DE miRNAs were substantially enriched in insulin secretion and the signalling pathways of cAMP, cGMP-PKG, Rap1, and TGF- β . Another study was conducted by Zhao et al. (2021), analysing miRNAs in EVs obtained from Dazu black goats consisting of the NP group (non-pregnant) with three individuals and the P30 group (30-day pregnant) with three individuals. The study results showed that previously determined two miRNAs (miR-31-5p and miR-137-3p) and three novel miRNAs (miR-1355, miR-734, and miR-736) were expressed primarily in the P30 group. miRNA-mRNA interactive network analysis revealed potential regulatory functions of miRNAs in axon guidance, tight junction, and the signalling pathways of Notch, Wnt, and Hippo for goats during early pregnancy.

3.3. Poultry

Product quality and efficiency are essential parameters for poultry similar to other animals. Therefore, several studies have been carried out to increase production, quality and efficiency, especially for dairy consumed animals and their products (Alsiddig et al., 2022; Marchesi et al., 2021). One of these investigations was performed by Wu et al. (2017). In this study, the comparison between the low and high rates of egg production of chickens was investigated in terms of miRNA. They concluded that 17 significantly differentially expressed miRNAs, 11 of them involved in steroid hormone biosynthesis and dopaminergic synapse and 6 novel miRNAs. Also reported that gga-miR-34b, gga-miR-34c, and gga-miR-216b miRNAs regulated some processes such as proliferation, cell cycle, apoptosis, metastasis, and even expressed differentially in ovaries of the hens laying more. Chicken breast muscle and miRNA relationships were also shown that miR-2131-5p, miR-221-5p, miR-126-3p, miR-146b-5p, miR-10a-5p, let-7b, miR-125b-5p, and

miR-146c-5p up-regulated but miR-206 down-regulated in male broilers compared to Plymouth Rock chicken's breast muscle (Khatri et al., 2018). Tissue-specific candidate miRNA biomarkers were studied to determine liver, heart and gizzard in skeletal meat of chicken (Vishnuraj et al., 2021). Wu et al. (2017) suggested suitable miRNAs as molecular markers in chicken breeding programs that are based on genetic selection.

Chen et al. (2017) conducted a study in Landes goose. They identified that 16 conserved miRNAs were increased while 9 conserved miRNAs were decreased in fatty livers of geese after overfeeding for 21 days. Another study was performed by Fan et al. (2021). Blood microRNA-omics analyses in overfed and normal fed Landes geese revealed that 21 miRNAs in the blood of overfed geese were remarkably higher than usually fed geese. Furthermore, they analysed the expression of miR-143, miR-455-5p, miR-222a-5p, miR-184, miR-1662, and miR-129-5p and revealed that all miRNAs except miR-129-5p were significantly higher in the fatty liver ($p < 0.05$). Therefore, it was suggested that these miRNAs have systematic effects on fatty liver growth and thus serve as candidate markers for diagnosing.

3.4. Honey bee

Greenberg et al. (2012) analysed 5 specific miRNA genes among identified 97 miRNAs in the bee head. Moreover, ame-miR-184 and ame-miR-2796 in foragers, and ame-miR-1 and ame-miR-275 in nurses were increased. Differentially expressed miRNAs have significantly constituted differences between queen and worker bees (Shi et al., 2015). Ashby et al. (2016) also analysed miRNA in honeybee female and male caste-specific miRNA in larval development. They demonstrated significant differences in diploid females' miRNAs and transcriptional profiles compared to haploid drone males, queens and workers. Alternatively, Shi et al. (2021) showed that expression profiles of 11 miRNAs, 17 miRNAs, and 18 miRNAs were significantly different between nurse vs. forager, nurse vs. newly emerged, and forager vs. newly emerged honey bees, respectively. Among these sequences, ame-miR-184-3p and ame-miR-252a-5p in nurse bees and ame-miR-11-3p, ame-miR-281-3p and ame-miR-31a-5p in forager bees had lower expression levels. Watson et al. (2021) also characterised small RNAs in honey bee reproductive tissues, including fertilised and unfertilised eggs, spermatheca, ovaries, semen, and testes for the first time. They concluded that small RNAs are important players in honey bee gametogenesis and reproduction, providing a conceivable mechanism for parent-of-origin effects in terms of gene expression and reproductive physiology.

Zhu et al. (2017) revealed a novel mechanism that plants' miRNAs in worker bees' food, retarding larval development and honey bee caste

development. Another plant miRNAs and food interaction study (Gharehdaghi et al., 2021) also showed 11 plant miRNAs in the midgut of honey bees feeding by sunflower and sedr pollen, and 9 of which were shared in honey bees fed by these two plants. Furthermore, it was determined that these miRNAs target 121 honeybee mRNAs.

Ma et al. (2021) also investigated miRNA reserve of arthropod species (152), including insects (135) and noninsect arthropods (17) by using small RNA-seq data. In the study, 16212 miRNA genes were identified and classified as highly conserved (62), insect-conserved (90), and lineage-specific (354) miRNA families. In addition, miRNAs as phylogenetic markers are useful to figure out the relationships in metazoan (Tarver et al., 2013), Tardigrada (Campbell et al., 2011), arthropods (Rota-Stabelli et al., 2011), and basal Hexapoda (Liu et al., 2020). The effect of gene expression via miRNAs are correlated with GWAS (Fang et al., 2018; Valinezhad Orang et al., 2014). DNA methylations and miRNAs are associated with nutrition and developmental programming (Chavatte-Palmer et al., 2018). Moreover, piRNAs and transposons are also associated with these nutritional differences (Wang et al., 2017). Additionally, it has been suggested that retrotransposons lead to polymorphism in honey bees depending on feeding and developmental stages (Mercan et al., 2022a).

4. miRNA and Retrotransposons Relationships

Retrotransposons are mobile genetic elements, moving via copy-paste mechanisms in the genome. These sequences are important epigenetic mechanisms similar to miRNAs in plants, animals, and humans. Many studies report on transferring retrotransposons between different plant species (Marakli, 2018; Marakli et al., 2019) and even between plants and animals (Mercan et al., 2022b). miRNAs can also be transferred cross-kingdoms (from plants to animals) (Gharehdaghi et al., 2021; Zhu et al., 2017). Moreover, transposon-derived miRNAs have also been identified in different species. One of the studies was performed by Marakli (2020), identifying transposon-derived miRNAs and their targets in *Aegilops* species for the first time. Jannesar et al. (2021) also demonstrated the critical role of retrotransposon-derived miRNAs on adaptation to harsh environmental conditions as mobile epigenetic regulators throughout intracellular genomes in *Pistacia*. Because miRNAs are transmitted among different kingdoms, horizontal miRNA transfer could be a novel perspective to further study intrinsically related to the molecular mechanisms in kingdom interaction and tandemly evolution.

5. Concluding Remarks

miRNA-based biomarkers have been used for meat quality, milk traits such as yield, fat composition and other purposes (Raza et al., 2020). Different techniques have been developed from conventional (northern blot, RT-PCR, microarrays) to new (biosensors, nanopores) methods for identification of miRNAs. On the other hand, various disadvantages about miRNA analyses, including low abundance, small size, and high level of sequence similarity affect the success of experiments. Some methods such as small RNA-seq, HCR (Hybridization Chain Reaction), RCA (Rolling Circle Amplification), nanomaterials, and enzyme-based target recycling like DSN enzyme have provided new opportunities for minimising the false positive results. All of these methods will provide valuable data about miRNomes in livestock, using in breeding programs for improving complex traits.

6. References

- Alsiddig, M., Badri, T., Widaa, H., Li, B., Shigang, Y., Chen, J., & Liu, H. (2022). A SNP at MicroRNA binding site of epidermal growth factor receptor 3 untranslated region associated with Yangzhou geese egg production. *Animal Gene*, 23, 200123.
- Arroyo, J. D., Chevillet, J. R., Kroh, E. M., Ruf, I. K., Pritchard, C. C., Gibson, D. F., Mitchell, P. S., Bennett, C. F., Pogosova-Agadjanyan, E. L., & Stirewalt, D. L. (2011). Argonaute2 complexes carry a population of circulating microRNAs independent of vesicles in human plasma. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(12), 5003-5008.
- Ashby, R., Forêt, S., Searle, I., & Maleszka, R. (2016). MicroRNAs in honey bee caste determination. *Scientific Reports*, 6(1), 1-15.
- Babiarz, J. E., Ruby, J. G., Wang, Y., Bartel, D. P., & Blelloch, R. (2008). Mouse ES cells express endogenous shRNAs, siRNAs, and other Microprocessor-independent, Dicer-dependent small RNAs. *Genes & Development*, 22(20), 2773-2785.
- Bartel, D. P. (2018). Metazoan micrnas. *Cell*, 173(1), 20-51.
- Bell, J. D. (2020). *Machine Learning Methods for the Discovery and Analysis of MicroRNAs*.
- Bogerd, H. P., Karnowski, H. W., Cai, X., Shin, J., Pohlers, M., & Cullen, B. R. (2010). A mammalian herpesvirus uses noncanonical expression and processing mechanisms to generate viral MicroRNAs. *Molecular Cell*, 37(1), 135-142.

- Braud, M., Magee, D. A., Park, S. D., Sonstegard, T. S., Waters, S. M., MacHugh, D. E., & Spillane, C. (2017). Genome-wide microRNA binding site variation between extinct wild aurochs and modern cattle identifies candidate microRNA-regulated domestication genes. *Frontiers in Genetics*, 8, 3.
- Campbell, L. I., Rota-Stabelli, O., Edgecombe, G. D., Marchioro, T., Longhorn, S. J., Telford, M. J., Philippe, H., Rebecchi, L., Peterson, K. J., & Pisani, D. (2011). MicroRNAs and phylogenomics resolve the relationships of Tardigrada and suggest that velvet worms are the sister group of Arthropoda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(38), 15920-15924.
- Chavatte-Palmer, P., Velazquez, M., Jammes, H., & Duranthon, V. (2018). Epigenetics, developmental programming and nutrition in herbivores. *Animal*, 12(s2), s363-s371.
- Chen, F., Zhang, H., Li, J., Tian, Y., Xu, J., Chen, L., Wei, J., Zhao, N., Yang, X., & Zhang, W. (2017). Identification of differentially expressed miRNAs in the fatty liver of Landes goose (*Anser anser*). *Scientific Reports*, 7(1), 1-9.
- Consortium, E. P. (2007). Identification and analysis of functional elements in 1% of the human genome by the ENCODE pilot project. *Nature*, 447(7146), 799.
- Consortium, H. G. S. (2006). Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature*, 443(7114), 931.
- Consortium, I. C. G. S. (2004). Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrate evolution. *Nature*, 432(7018), 695-716.
- Di Martino, M. T., Riillo, C., Scionti, F., Grillone, K., Polerà, N., Caracciolo, D., Arbitrio, M., Tagliaferri, P., & Tassone, P. (2021). miRNAs and lncRNAs as novel therapeutic targets to improve cancer immunotherapy. *Cancers*, 13(7), 1587.
- Do, D. N., Dudemaine, P.-L., Mathur, M., Suravajhala, P., Zhao, X., & Ibeagha-Awemu, E. M. (2021). MiRNA Regulatory Functions in Farm Animal Diseases, and Biomarker Potentials for Effective Therapies. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3080.
- Dobrowolny, G., Martone, J., Lepore, E., Casola, I., Petrucci, A., Inghilleri, M., Morlando, M., Colantoni, A., Scicchitano, B. M., & Calvo, A. (2021). A longitudinal study defined circulating microRNAs as reliable biomarkers for disease prognosis and progression in ALS human patients. *Cell Death Discovery*, 7(1), 1-11.

- Fan, X., Xing, Y., Liu, L., Zhao, C., Chen, Z., Khogali, M. K., Zhao, M., Hu, X., Cui, H., & Geng, T. (2021). Screening of MicroRNAs with Potential Systemic Effects Released from Goose Fatty Liver. *The Journal of Poultry Science*, 0200097.
- Fang, L., Sørensen, P., Sahana, G., Panitz, F., Su, G., Zhang, S., Yu, Y., Li, B., Ma, L., & Liu, G. (2018). MicroRNA-guided prioritization of genome-wide association signals reveals the importance of microRNA-target gene networks for complex traits in cattle. *Scientific Reports*, 8(1), 1-14.
- Gad, A., Sánchez, J. M., Browne, J. A., Nemcova, L., Laurincik, J., Prochazka, R., & Lonergan, P. (2020). Plasma extracellular vesicle miRNAs as potential biomarkers of superstimulatory response in cattle. *Scientific Reports*, 10(1), 1-16.
- Gebert, L. F., & MacRae, I. J. (2019). Regulation of microRNA function in animals. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(1), 21-37.
- Gharehdaghi, L., Bakhtiarzadeh, M. R., He, K., Harkinezhad, T., Tahmasbi, G., & Li, F. (2021). Diet-derived transmission of MicroRNAs from host plant into honey bee Midgut. *BMC Genomics*, 22(1), 1-14.
- Glazko, V. I., Zybaylov, B. L., Glazko, G. V., & Glazko, T. T. (2019). Domestication and mobile genetic elements. *The Holocene*, 29(3), 518-522.
- Glazov, E. A., Cottee, P. A., Barris, W. C., Moore, R. J., Dalrymple, B. P., & Tizard, M. L. (2008). A microRNA catalog of the developing chicken embryo identified by a deep sequencing approach. *Genome Research*, 18(6), 957-964.
- Greenberg, J., Xia, J., Zhou, X., Thatcher, S., Gu, X., Ament, S., Newman, T., Green, P., Zhang, W., & Robinson, G. (2012). Behavioral plasticity in honey bees is associated with differences in brain microRNA transcriptome. *Genes, Brain and Behavior*, 11(6), 660-670.
- Heaton, M. P., Smith, T. P., Bickhart, D. M., Vander Ley, B. L., Kuehn, L. A., Oppenheimer, J., Shafer, W. R., Schuetze, F. T., Stroud, B., & McClure, J. C. (2021). A reference genome assembly of Simmental cattle, *Bos taurus taurus*. *Journal of Heredity*, 112(2), 184-191.
- Hong, L. Z., Zhou, L., Zou, R., Khoo, C. M., San Chew, A. L., Chin, C.-L., & Shih, S.-J. (2021). Systematic evaluation of multiple qPCR platforms, NanoString and miRNA-Seq for microRNA biomarker discovery in human biofluids. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11.

- Jannesar, M., Seyedi, S. M., & Botanga, C. (2021). Targeted designing functional markers revealed the role of retrotransposon derived miRNAs as mobile epigenetic regulators in adaptation responses of pistachio. *Scientific Reports*, 11(1), 1-21.
- Jet, T., Gines, G., Rondelez, Y., & Taly, V. (2021). Advances in multiplexed techniques for the detection and quantification of microRNAs. *Chemical Society Reviews*, 50(6), 4141-4161.
- Jia, C., Bai, Y., Liu, J., Cai, W., Liu, L., He, Y., & Song, J. (2021). Metabolic Regulations by lncRNA, miRNA, and ceRNA Under Grass-Fed and Grain-Fed Regimens in Angus Beef Cattle. *Frontiers in Genetics*, 12, 220.
- Kanakakis, I., Alameddine, M., Folkes, L., Moxon, S., Myrtziou, I., Ozanne, S. E., Peffers, M. J., Goljanek-Whysall, K., & Vasilaki, A. (2021). Small-RNA sequencing reveals altered skeletal muscle microRNAs and snoRNAs signatures in weanling male offspring from mouse dams fed a low protein diet during lactation. *Cells*, 10(5), 1166.
- Khatri, B., Seo, D., Shouse, S., Pan, J. H., Hudson, N. J., Kim, J. K., Bottje, W., & Kong, B. C. (2018). MicroRNA profiling associated with muscle growth in modern broilers compared to an unselected chicken breed. *BMC Genomics*, 19(1), 1-10.
- Kozomara, A., Birgaoanu, M., & Griffiths-Jones, S. (2019). miRBase: from microRNA sequences to function. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D155-D162.
- Kretov, D. A., Walawalkar, I. A., Mora-Martin, A., Shafik, A. M., Moxon, S., & Cifuentes, D. (2020). Ago2-dependent processing allows miR-451 to evade the global microRNA turnover elicited during erythropoiesis. *Molecular Cell*, 78(2), 317-328. e316.
- Li, Y., Gao, G., Lin, Y., Hu, S., Luo, Y., Wang, G., Jin, L., Wang, Q., Wang, J., & Tang, Q. (2020). Pacific Biosciences assembly with Hi-C mapping generates an improved, chromosome-level goose genome. *GigaScience*, 9(10), giaa114.
- Li, Z., He, X., Zhang, X., Zhang, J., Guo, X., Sun, W., & Chu, M. (2021). Analysis of Expression Profiles of CircRNA and MiRNA in Oviduct during the Follicular and Luteal Phases of Sheep with Two Fecundity (FecB Gene) Genotypes. *Animals*, 11(10), 2826.
- Lim, H.-J., Kim, H. J., Lee, J. H., Lim, D. H., Son, J. K., Kim, E.-T., Jang, G., & Kim, D.-H. (2021). Identification of plasma miRNA biomarkers for pregnancy detection in dairy cattle. *Journal of Animal Reproduction and Biotechnology*, 36(1), 35-44.

- Liu, A. M., Chen, W. J., Huang, C. W., Qian, C. Y., Liang, Y., Li, S., Zhan, S., & Luan, Y. X. (2020). MicroRNA evolution provides new evidence for a close relationship of Diplura to Insecta. *Systematic Entomology*, 45(2), 365-377.
- Ma, X., He, K., Shi, Z., Li, M., Li, F., & Chen, X.-X. (2021). Large-scale annotation and evolution analysis of miRNA in insects. *Genome Biology and Evolution*, 13(5), evab083.
- Marakli, S. (2018). Transferability of Barley Retrotransposons (*Sukkula* and *Nikita*) to Investigate Genetic Structure of *Pimpinella anisum* L. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(3), 299-304.
- Marakli, S. (2020). In silico determination of transposon-derived miRNAs and targets in *Aegilops* species. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 38(10), 3098-3109.
- Marakli, S., Calis, A., & Gozukirmizi, N. (2019). Determination of barley-specific retrotransposons' movements in *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* varieties: *pyramidata* and *Seneriana*. *Russian Journal of Genetics*, 55(1), 71-78.
- Marchesi, J. A. P., Ono, R. K., Cantão, M. E., Ibelli, A. M. G., de Oliveira Peixoto, J., Moreira, G. C. M., Godoy, T. F., Coutinho, L. L., Munari, D. P., & Ledur, M. C. (2021). Exploring the genetic architecture of feed efficiency traits in chickens. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12.
- Matera, A. G., Terns, R. M., & Terns, M. P. (2007). Non-coding RNAs: lessons from the small nuclear and small nucleolar RNAs. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 8(3), 209-220.
- Mercan, L., Bulbul, C. E., & Marakli, S. (2022a). Genetic diversity among queen bee, worker bees and larvae in terms of retrotransposon movements. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(1), 1-13.
- Mercan, L., Bulbul, C. E., Bilgi, F., & Marakli, S. (2022b). Determination of plant-specific retrotransposons in chicken. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 46(1), 67-73.
- Miyoshi, K., Miyoshi, T., & Siomi, H. (2010). Many ways to generate microRNA-like small RNAs: non-canonical pathways for microRNA production. *Molecular Genetics and Genomics*, 284(2), 95-103.
- NCBI. (2022). *Ovis aries* Annotation Release 104. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_016772045.1/ on 24.02.2022.

- O'Brien, J., Hayder, H., Zayed, Y., & Peng, C. (2018). Overview of microRNA biogenesis, mechanisms of actions, and circulation. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 402.
- Okamura, K., & Lai, E. C. (2008). Endogenous small interfering RNAs in animals. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 9(9), 673-678.
- Pfeffer, S., Sewer, A., Lagos-Quintana, M., Sheridan, R., Sander, C., Grässer, F. A., van Dyk, L. F., Ho, C. K., Shuman, S., & Chien, M. (2005). Identification of microRNAs of the herpesvirus family. *Nature Methods*, 2(4), 269-276.
- Pfeffer, S., Zavolan, M., Grässer, F. A., Chien, M., Russo, J. J., Ju, J., John, B., Enright, A. J., Marks, D., & Sander, C. (2004). Identification of virus-encoded microRNAs. *Science*, 304(5671), 734-736.
- Raza, S. H. A., Kaster, N., Khan, R., Abdelnour, S. A., El-Hack, M. E. A., Khafaga, A. F., Taha, A., Ohran, H., Swelum, A. A., & Schreurs, N. M. (2020). The role of MicroRNAs in muscle tissue development in beef cattle. *Genes*, 11(3), 295.
- Rota-Stabelli, O., Campbell, L., Brinkmann, H., Edgecombe, G. D., Longhorn, S. J., Peterson, K. J., Pisani, D., Philippe, H., & Telford, M. J. (2011). A congruent solution to arthropod phylogeny: phylogenomics, microRNAs and morphology support monophyletic Mandibulata. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1703), 298-306.
- Shi, T., Zhu, Y., Liu, P., Ye, L., Jiang, X., Cao, H., & Yu, L. (2021). Age and Behavior-Dependent Differential miRNAs Expression in the Hypopharyngeal Glands of Honeybees (*Apis mellifera* L.). *Insects*, 12(9), 764.
- Shi, Y.-Y., Zheng, H.-J., Pan, Q.-Z., Wang, Z.-L., & Zeng, Z.-J. (2015). Differentially expressed microRNAs between queen and worker larvae of the honey bee (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 46(1), 35-45.
- Siddiki, A. Z., Baten, A., Billah, M., Alam, M. A. U., Shawrob, K. S. M., Saha, S., Chowdhury, M., Rahman, A. H., Stear, M., & Miah, G. (2019). The genome of the Black Bengal goat (*Capra hircus*). *BMC Research Notes*, 12(1), 1-3.
- Siomi, H., & Siomi, M. C. (2009). On the road to reading the RNA-interference code. *Nature*, 457(7228), 396-404.
- Stavast, C. J., & Erkeland, S. J. (2019). The non-canonical aspects of microRNAs: many roads to gene regulation. *Cells*, 8(11), 1465.

- Tarver, J. E., Sperling, E. A., Nailor, A., Heimberg, A. M., Robinson, J. M., King, B. L., Pisani, D., Donoghue, P. C., & Peterson, K. J. (2013). miRNAs: small genes with big potential in metazoan phylogenetics. *Molecular Biology and Evolution*, 30(11), 2369-2382.
- Tornesello, M. L., Faraonio, R., Buonaguro, L., Annunziata, C., Starita, N., Cerasuolo, A., Pezzuto, F., Tornesello, A. L., & Buonaguro, F. M. (2020). The role of microRNAs, long non-coding RNAs, and circular RNAs in cervical cancer. *Frontiers in Oncology*, 10, 150.
- Treiber, T., Treiber, N., & Meister, G. (2019). Regulation of microRNA biogenesis and its crosstalk with other cellular pathways. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(1), 5-20.
- Valinezhad Orang, A., Safaralizadeh, R., & Kazemzadeh-Bavili, M. (2014). Mechanisms of miRNA-mediated gene regulation from common downregulation to mRNA-specific upregulation. *International Journal of Genomics*, 2014.
- Vickers, K. C., Palmisano, B. T., Shoucri, B. M., Shamburek, R. D., & Remaley, A. T. (2011). MicroRNAs are transported in plasma and delivered to recipient cells by high-density lipoproteins. *Nature Cell Biology*, 13(4), 423-433.
- Vishnuraj, M., Devatkal, S., Vaithiyanathan, S., Kumar, R. U., & Mendiratta, S. (2021). Development and validation of miRNA based method for rapid identification of offal meats in processed chicken meat products. *Food Control*, 121, 107593.
- Wang, J., Haubrock, M., Cao, K.-M., Hua, X., Zhang, C.-Y., Wingender, E., & Li, J. (2011). Regulatory coordination of clustered microRNAs based on microRNA-transcription factor regulatory network. *BMC Systems Biology*, 5(1), 1-11.
- Wang, T., Wu, F., & Yu, D. (2019). miR-144/451 in hematopoiesis and beyond. *ExRNA*, 1(1), 16.
- Wang, W., Ashby, R., Ying, H., Maleszka, R., & Forêt, S. (2017). Contrasting sex-and caste-dependent piRNA profiles in the transposon depleted haplodiploid honeybee *Apis mellifera*. *Genome Biology and Evolution*, 9(5), 1341-1356.
- Wang, Y., Luo, J., Zhang, H., & Lu, J. (2016). microRNAs in the same clusters evolve to coordinately regulate functionally related genes. *Molecular Biology and Evolution*, 33(9), 2232-2247.

- Wara, A. B., Chhotaray, S., Shafi, B. U. D., Panda, S., Tarang, M., Yosuf, S., Baba, N. A., & Kumar, A. (2019). Role of miRNA signatures in health and productivity of livestock. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(4), 727-738.
- Watson, O. T., Buchmann, G., Young, P., Lo, K., Remnant, E. J., Yagound, B., Shambrook, M., Hill, A. F., Oldroyd, B. P., & Ashe, A. (2021). Abundant small RNAs in the reproductive tissues of the honey bee, *Apis mellifera*, are a plausible mechanism for epigenetic inheritance and parental manipulation of gene expression. *BioRxiv*. doi:10.1101/2021.08.27.457896
- Wenguang, Z., Jianghong, W., Jinquan, L., & Yashizawa, M. (2007). A subset of skin-expressed microRNAs with possible roles in goat and sheep hair growth based on expression profiling of mammalian microRNAs. *OmicS: A Journal of Integrative Biology*, 11(4), 385-396.
- Wu, N., Gaur, U., Zhu, Q., Chen, B., Xu, Z., Zhao, X., Yang, M., & Li, D. (2017). Expressed micro RNA associated with high rate of egg production in chicken ovarian follicles. *Animal Genetics*, 48(2), 205-216.
- Xie, M., & Steitz, J. A. (2014). Versatile microRNA biogenesis in animals and their viruses. *RNA Biology*, 11(6), 673-681.
- Xu, Q., Zhang, Y., Chen, Y., Tong, Y.-Y., Rong, G.-H., Huang, Z.-Y., Zhao, R.-X., Zhao, W.-M., Wu, X.-s., & Chang, G.-B. (2014). Identification and differential expression of microRNAs in ovaries of laying and broody geese (*Anser cygnoides*) by solexa sequencing. *PloS One*, 9(2), e87920.
- Yáñez-Mó, M., Siljander, P. R.-M., Andreu, Z., Bedina Zavec, A., Borràs, F. E., Buzas, E. I., Buzas, K., Casal, E., Cappello, F., & Carvalho, J. (2015). Biological properties of extracellular vesicles and their physiological functions. *Journal of Extracellular Vesicles*, 4(1), 27066.
- Yang, J.-S., & Lai, E. C. (2010). Dicer-independent, Ago2-mediated microRNA biogenesis in vertebrates. *Cell Cycle*, 9(22), 4455-4460.
- Yang, J.-S., Maurin, T., Robine, N., Rasmussen, K. D., Jeffrey, K. L., Chandwani, R., Papapetrou, E. P., Sadelain, M., O'Carroll, D., & Lai, E. C. (2010). Conserved vertebrate mir-451 provides a platform for Dicer-independent, Ago2-mediated microRNA biogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(34), 15163-15168.

- Yaylak, B., & Akgül, B. (2022). Experimental microRNA detection methods. *miRNomics*, 33-55.
- Yuan, X., Liu, C., Yang, P., He, S., Liao, Q., Kang, S., & Zhao, Y. (2009). Clustered microRNAs' coordination in regulating protein-protein interaction network. *BMC Systems Biology*, 3(1), 1-10.
- Zhao, L., Yang, H., Zhang, R., Tian, H., Cheng, L., Cheng, W., & Zhao, Y. (2021). Screening and identification of microRNAs from plasma-derived extracellular vesicles (EVs) of Dazu black goat (*Capra hircus*) in early pregnant stages. *Gene*, 790, 145706.
- Zhao, Q., Kang, Y., Wang, H.-Y., Guan, W.-J., Li, X.-C., Jiang, L., He, X.-H., Pu, Y.-B., Han, J.-L., & Ma, Y.-H. (2016). Expression profiling and functional characterization of miR-192 throughout sheep skeletal muscle development. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12.
- Zhou, G., Wang, X., Yuan, C., Kang, D., Xu, X., Zhou, J., Geng, R., Yang, Y., Yang, Z., & Chen, Y. (2017). Integrating miRNA and mRNA expression profiling uncovers miRNAs underlying fat deposition in sheep. *BioMed Research International*, 2017.
- Zhu, K., Liu, M., Fu, Z., Zhou, Z., Kong, Y., Liang, H., Lin, Z., Luo, J., Zheng, H., & Wan, P. (2017). Plant microRNAs in larval food regulate honeybee caste development. *PLoS Genetics*, 13(8), e1006946.
- Zia, F., & Flynt, A. (2020). Implicating Ribonucleases In Mamalian Tailed Mirtron Biogenesis. *The FASEB Journal*, 34(S1), 1-1.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 06



Yenilebilir Sucul Böcekler
(Gani Erhan Taşar, Özden Canlı Taşar)

Yenilebilir Sucul Böcekler

Gani Erhan Taşar¹, Özden Canlı Taşar²

¹*Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu,*

E-mail: erhantasar@adiyaman.edu.tr

²*Erzurum Teknik Üniversitesi, Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, E-mail: ozden.tasar@erzurum.edu.tr*

1. Giriş

Entomofaji (Entomophagy) Latince “entoma: böcek” ve “phagein: yemek” kelimelerinin birleşiminden meydana gelmektedir (Williams ve Williams, 2017).

Böcekler çok eski tarihlerden günümüze kadar besin kaynağı olarak tüketilmektedir. Milattan önce 9500’lü yıllarda Amerikan yerlilerinin termitler ve avcı dalgıç böcekleriyle beslendiklerini ve yine milattan önce 5400’lü yıllarda Meksika’da karınca, gübre böceği larvaları ve tırtılların tüketildiğine dair kaynaklar yer almaktadır. Arkeologların tarih öncesi çağları anlamak için yaptığı antropolojik çalışmalarda, Kalahari Çölü’nde yaşayan Kun-San kabilelerinin termit, çekirge, tırtıl ve karıncalarla beslendiklerini, Avustralya Aborjinleri’nin de çeşitli termit, çekirge, güve, tırtıl, böcek larvaları, yaban arısı larvaları ve kuluçkadaki yavruları yedikleri bilgilerine rastlanmıştır (Itterbeeck ve Huis, 2012). 3000 yıl öncesine ait eski Çin yazıtlarında böceklerin besin kaynağı olarak tüketildiğinden bahsedilmektedir (Chou, 1980).

Yenilebilir böceklerle beslenme, dünya genelinde birçok bölgede görülmesine rağmen, özellikle Afrika, Asya, Latin Amerika ve Avustralya kıtalarında daha yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır (Ramos-Elorduy, 2009; Itterbeeck ve Huis, 2012; Feng et al., 2017; Raheem et al., 2018; Kim et al., 2019). Dünya genelinde 3000 civarı etnik grup tarafından yenilen böcekler, Kolombiya, Meksika, Çin, Tayland, Endonezya, Japonya ve Avustralya gibi ülkelerde, diğer ülkelere nispeten çok daha fazla tüketilmektedir (Ramos-Elorduy, 2009). Bu ülkelerden Meksika’daki Mazahua ve Nahuas (Ramos-Elorduy, 2009), Çin’deki Gelao (Feng et al., 2017) ve Papua Yeni Gine’deki Kiriwinians (Meyer-Rochow, 1973) gibi bazı etnik gruplarda entomofaji, böcek tüketiminin yerel bir uygulaması olmaktan ziyade, etnik bir kültür ve geleneksel ekolojik bir bilgiyi de içine almaktadır (Sere et al., 2018; Hlongwane et al., 2020). Suudi Arabistan’da İslam’ın ilk zamanlarında çekirgelerin yenildiğine dair kanıtlar bulunmaktadır (Boran, 2020).

Batı ülkelerinde yenilebilir böceklerle ilgili en yakın kaynaklara örnek olarak, Holt (1885)’e ait “Neden Böcek Yemiyoruz?” ve Bodenheimer

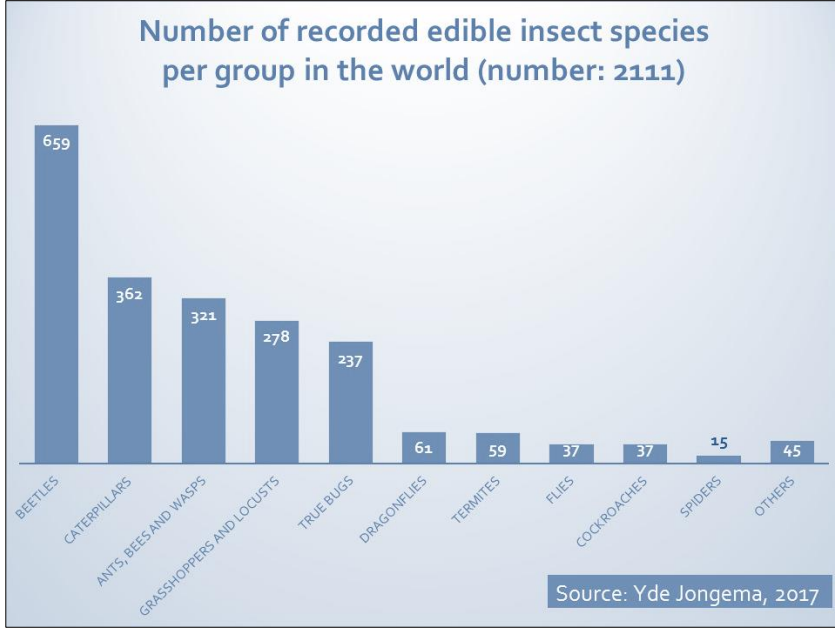
(1951)’e ait “İnsan Yiyeceği Olarak Böcek” başlıklı çalışmalar gösterilebilir. Tüketiciler, yenilebilir böceklerin tüketimiyle ilişkili beslenme ve çevresel faydaların farkına vardıkça, özellikle Avrupa ülkelerinde böcek tüketiminin kabulü artmıştır (Schouteten et al., 2016). Avrupa’da son yıllarda böcek bazlı gıdalara ilginin arttığı ve bu konuda firmaların yığın yetiştirme sistemlerine başladığı görülmektedir (Ojha et al., 2020). Diğer yandan, mikroorganizmalar tarafından sentezlenen ticari yönden değerli maddelerin üretim süreçlerinde yenilebilir böceklerin substrat olarak kullanımı üzerine yapılan çalışmalarda yüksek oranlarda üretim gerçekleştirilmiştir (Canlı et al., 2012; Taşkın et al., 2013). Bununla birlikte, gıda endüstrisinde, un haline getirilmiş böceklerin, buğday unu ile belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımlardan kek, buğday ekmeği, atıştırılmalıklar gibi unlu mamullerin üretimleri dikkat çeken konular arasındadır (Severini et al., 2018; Brogan et al., 2021; Çabuk, 2021). Un haline getirilen böcek içerikleri üzerine yapılan çalışmalar, histidin, lösin, izolösin, metiyonin gibi esansiyel amino asitlerin yetişkin bireylerin günlük ihtiyacını karşılayacak miktarda, hatta daha fazla miktarlarda olduğunu göstermiştir (Brogan et al., 2021).

Dünya genelinde birçok ülkeden yenilebilir böcek kayıtlarına rastlanmaktadır. Bu kapsamda ortaya konulmuş en geniş bilgi DeFoliart (2002), Mitsuhashi (2016) ve Jongema (2017)’de bulunmaktadır. Jongema’nın 2017 yılında hazırladığı “Çeşitli ülkelere kaydedilmiş yenilebilir böcek türleri” başlıklı çalışmada, dünya haritası üzerinde hangi ülkelere yenilebilir böcek kayıtlarının yer aldığına dair detaylı bir veriye ulaşılabilmektedir. Bu harita değiştirilerek aşağıda da sunulmuştur (Şekil 1.)



Şekil 1: Dünya üzerinde entomofaji görülen ülkeler (Jongema, 2017’den değiştirilerek).

Aşağıda verilen resim de yine Jongema (2017)'ye ait bir grafikdir (Şekil 2). Buna göre dünya genelinde yenilebilir böcek türünün 2111 olduğu ifade edilmektedir. Grafikte örümcekler ve diğerleri diye bahsedilen türlerin taksonomik anlamda böcek olmadıklarını düşünürsek, yenilebilir böcek sayısının dünya genelinde 2053 olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2: Dünya genelinde kaydedilmiş yenilebilir böcek grupları ve sayıları (Jongema, 2017'den değiştirilerek).

2. Dünya Genelinde Yenilebilen Sucul/Yarı Sucul Böcekler

Sucul böcekler tatlı sulardan havuzlara, birikinti sulardan hızlı akan nehirlerle, göllere ve hatta çok nadirde olsa okyanuslara kadar çok farklı habitatlara uyum sağlamış yaklaşık 76000 türe sahip büyük bir gruptur (Williams et al., 2021). Çok zengin bir tür çeşitliliğine sahiptir. Bilinen böcek türlerinin yaklaşık %10'unu sucul türler oluşturmaktadır. Günümüzde bilinen yaklaşık 30 böcek takımı içerisindeki yaklaşık 12 takım sucul/yarı sucul türlere sahiptir. Bu böcek takımları: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Orthoptera, Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera, Trichoptera ve Hymenoptera şeklindedir. Bunlardan 6 takıma bağlı türler entomofaji için uygun türleri kapsamaktadır. Bunlar kapsadıkları en çok tür sayısına göre sırasıyla: Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Hemiptera, Odonata ve Trichoptera takımlarıdır (Williams ve Williams, 2017; Williams et al., 2021). Ayrıca Megaloptera takımına bağlı bazı türler, güneybatı Çin ve Japonya'da yemek ve kocakarı ilacı olarak uzun zamandır

kullanılmakla beraber ciddi bir ekonomik değere de sahiptir (Tanaka ve Oda, 2009; Feng et al., 2020; Zhao et al., 2021).

Dünya genelinde yenilebilen sucul böceklerin ilk düzenli listesi, Macadam ve Stockan (2017) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada yer alan 8 takıma bağlı, 48 familya ve 141 cinse ait 253 sucul böceğin, dünyanın 48 farklı ülkesinde yenildiği listelenmiştir. Bu ülkeler içerisinde Türkiye’de yer almaktadır.

2021 yılında yapılan en son çalışmada ise, dünya genelinde yenilebilen böcek sayılarının arttığı görülmektedir. Buna göre 8 takıma bağlı, 51 familya ve 153 cinse ait 329 sucul böcek türünün, yaşamının herhangi bir veya birkaç evresinde (yumurta, nimf, larva, pupa ve/veya ergin) yenilebilir olarak tüketildiği bildirilmektedir (Zhao et al., 2021). Bu sayı Jongema (2017)’ye göre bilinen toplam 2053 (karasal+sucul) yenilebilir böcek türünün yaklaşık %16’sına tekabül etmektedir.

Dünya genelinde yenilebilen sucul böcekleri kapsayan 8 takım, sahip oldukları yenilebilen tür sayılarının çokluğu bakımından sırasıyla şu şekildedir:

2.1 Coleoptera

Kırankatlılar içerisinde en yaygın tüketilen türleri, Dytiscidae familyasına bağlı, boyları 3 cm’nin üzerine kadar çıkabilen *Cybister* spp. ve *Dytiscus* spp. cinsine ait türler oluşturmaktadır. Bunları Hydrophilidae familyasına bağlı boyları 3 cm’den daha büyük olan *Hydrophilus* spp. cinsine ait türler ve yine bu familyaya ait boyları 1 cm’den daha az olan *Tropisternus* spp. cinsine ait türler takip etmektedir. Bunlardan daha küçük olan Haliplidae, Gyrinidae, Elmidae ve Noteridae familyalarına bağlı yenilebilen türler de bulunmaktadır (Macadam ve Stockan, 2017).

Dünyada bu takımın 108 sucul türünün larva, pupa ve ergin evrelerinin birinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Dytiscidae familyasına bağlı: *Cybister* spp. cinsine ait 32, *Dytiscus* spp. cinsine ait 6, *Rhantus* spp. cinsine ait 6, *Laccophilus* spp. cinsine ait 5, Hydrophilidae familyasına bağlı: *Hydrophilus* spp. cinsine ait 14, *Tropisternus* spp. cinsine ait 5, Gyrinidae familyasına bağlı: *Gyrinus* spp. cinsine ait 4 türü yeniliyor. Meksika’da 35, Çin’de 26, Japonya’da 22, Tayland’da 21, Hindistan’da 11, Madagaskar’da 10, Laos’ta 9, Vietnam’da 7, Myanmar’da 6, Senegal’de 4, Kuzey Kore’de 3, Sri Lanka’da 3, Benin’de 3, Malezya’da 3, Togo’da 3, Şili’de 3, Kamboçya’da 2, Güney Kore’de 2, Amerika Birleşik Devletleri’nde 2, Endonezya’da 2, Kamerun’da 2, Türkiye’de 2, Peru’da 2, Avustralya’da 2, Sierra Leone’de 1, Demokratik Kongo Cumhuriyeti’nde 1, Gabon’da 1, Panama’da 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

Bazı *Cybister* sp. türleri yaz boyunca Benin Cumhuriyeti'ndeki göllerden toplanmaktadır. Bu dönemde su seviyesi düşük olduğu için toplanması kolay olmaktadır. *Cybister limbatus* ve *Hydrophilus cavistanum* türleri yerel halk tarafından fırında veya yağda kızartılarak hafif köri sosuyla yaygın olarak tüketilmektedir. Meksika'da sucul böcekler "tamales ve quesadillas" denilen yerel kaplarda tuzlu su içerisinde kavurma, buğulama veya haşlama şeklinde hazırlanmaktadır (Macadam ve Stockan, 2017).

2.2 Odonata

Dünyada bu takımın 72 sucul türünün nimf ve ergin evrelerinin birinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Libellulidae familyasına bağlı: *Sympetrum* spp. cinsine ait 8, *Orthetrum* spp. cinsine ait 7, *Neurothemis* spp. cinsine ait 3, *Trithemis* spp. cinsine ait 3, Aeschnidae familyasına bağlı: *Rhionaeschna* spp. cinsine ait 4, *Anax* spp. cinsine ait 3 türü yeniliyor. Hindistan'da 14, Çin'de 13, Tayland'da 13, Endonezya'da 12, Venezuela'da 10, Japonya'da 10, Ekvador'da 4, Meksika'da 3, Laos'ta 3, Madagaskar'da 2, Myanmar'da 2, Vietnam'da 2, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1, İtalya'da 1, Güney Kore'de 1, Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

Hindistan'da nimf ve/veya erginler haşlama, fırında kızartma ya da ham olarak tüketilmektedir. Filipinler'de larvalar kızartılarak ya da haşlanarak tüketilmektedir. Papua Yeni Gine'de yenilen larvalara yerel olarak "wodien" denilmektedir. Ve yerel halk tadının karidese benzediğini söylemektedir. Balililer erginleri odun kömüründe kavurarak ya da zencefil, sarımsak, arpacık soğan, şili biberi ve hindistan cevizi sütüyle haşlamasını yapıp yemektirler (Macadam ve Stockan, 2017).

2.3 Hemiptera

Dünyada bu takımın 68 sucul türünün yumurta, nimf ve ergin evrelerinin birinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Nepidae familyasına bağlı: *Laccotrephes* spp. cinsine ait 7, *Ranatra* spp. cinsine ait 5, Belostomatidae familyasına bağlı: *Lethocerus* spp. cinsine ait 6, *Abedus* spp. cinsine ait 3, *Diplonychus* spp. cinsine ait 3, *Sphaerodema* spp. cinsine ait 3, Corixidae familyasına bağlı: *Corisella* spp. cinsine ait 3, *Graptocorixa* spp. cinsine ait 3 türü yeniliyor. Meksika'da 17, Tayland'da 17, Çin'de 8, Japonya'da 8, Hindistan'da 7, Venezuela'da 4, Madagaskar'da 4, Laos'ta 4, Amerika Birleşik Devletleri'nde 3, Myanmar'da 3, Vietnam'da 2, Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde 1, Kamerun'da 1, Zambeziyan Bölgesi'nde 1, Malezya'da 1, Mali'de 1, Singapur'da 1, Sri Lanka'da 1, Kongo Cumhuriyeti'nde 1, Togo'da 1, Malavi'de 1, Güney Kore'de 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

Bu büyük su böcekleri tüm Asya’da yaygın olarak tüketilmektedir. Bu böceklerin erginleri sulardan mavi neon ışıklar yardımıyla toplanmaktadır. Alternatif olarak balık ağlarıyla da toplanmaktadır. Kanatları koparıldıktan sonra kavrularak tüketilmektedirler. Alternatif olarak acı biber, tuz, şeker ve çeşitli soslarla hazırlayarak ta tüketilmektedirler. Meksika’da bazı sucul böceklerin yumurtaları toplanarak yenmektedir. Corixidae ve Notonectidae familyalarına bağlı bazı ergin sucul böcekler güneşte kurutulmaktadır. Sonrasında misket limonlu suda pişirilerek yenilmektedir. Yerelde “Ahuahutle” denilen bu yemekler ticari olarak marketlerde satılmaktadır. Sucul böcek tüketimi Meksika’da çok büyük ekonomik değere sahiptir (Macadam ve Stockan, 2017).

2.4 Diptera

Dünyada bu takımın 27 türünün larva ve pupa evrelerinin birinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Chaoboridae familyasına bağlı: *Chaoborus* spp. cinsine ait 4, Tipulidae familyasına bağlı: *Tipula* spp. cinsine ait 4, Ephydriidae familyasına bağlı: *Ephydra* spp. cinsine ait 3, Simuliidae familyasına bağlı: *Simulium* spp. cinsine ait 3 türü yeniliyor. Amerika Birleşik Devletleri’nde 7, Uganda’da 6, Meksika’da 5, Venezuela’da 2, Japonya’da 2, Kenya’da 2, Tanzanya’da 2, Brezilya’da 1, Çin’de 1, Kolombiya’da 1, Malavi’de 1, Sri Lanka’da 1, Tayland’da 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

Uganda, Tanzanya ve Kenya’da kekleri yapılmaktadır. Malavi’liler adına “kungu” dedikleri dışında sivrisinekler olan pastalar yapmaktadırlar. Amerikan yerlileri tarafından larvaları yenilmektedirler (Macadam ve Stockan, 2017).

2.5 Trichoptera

Dünyada bu takımın 17 türünün larvalarının yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Stenopsychidae familyasına bağlı: *Stenopsyche* spp. cinsine ait 3 türü yeniliyor. Japonya’da 12, Venezuela’da 4, Meksika’da 2, Kolombiya’da 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

2.6 Megaloptera

Dünyada bu takımın 15 türünün larvalarının yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Corydalidae familyasına bağlı: *Acanthacorydalis* spp. cinsine ait 6, *Corydalis* spp. cinsine ait 4 türü yeniliyor. Çin’de 9, Japonya’da 2, Peru’da 2, Meksika’da 1, Kolombiya’da 1, Venezuela’da 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

2.7 Ephemeroptera

Dünyada bu takımın 11 türünün nimf ve ergin evrelerinin birinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Ephemeridae familyasına bağlı: *Ephemera* spp. cinsine ait 3, Baetidae familyasına bağlı: *Cloeon* spp. cinsine ait 2 türü yeniliyor. Hindistan'da 3, Meksika'da 2, Malavi'de 2, Japonya'da 2, Çin'de 1, Papua Yeni Gine'de 1, Kenya'da 1, Tanzania'da 1, Uganda'da 1 türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

Malavililer pasta ve keklerini yapmaktadırlar. Papua Yeni Gine'de pişirilerek yenilmektedir (Macadam ve Stockan, 2017).

2.8 Plecoptera

Dünyada bu takımın 11 türünün nimflerinin yenildiği kaydedilmiştir. En yaygın Pteronarcyidae familyasından *Pteronarcys* spp. cinsine bağlı 4 türü yeniliyor. Japonya'da 6, Amerika Birleşik Devletleri'nde 4, Hindistan'da 2 farklı türün yenildiği kaydedilmiştir (Zhao et al., 2021).

3. Yenilebilir Sucul Böceklerin Besin Değerleri

Günümüz dünya nüfusunun 7,6 milyar olduğu tahmin edilmekte ve bu sayının 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşması beklenmektedir. Hızlı nüfus artışına paralel olarak gıda üretiminin de yeterli oranda artması gerekmektedir. Diğer yandan, tarım yapılabilir arazilerin sınırlı oluşu, bu artışı karşılayabilecek kadar yeterli olmayabilir. Tarım arazileri tüm kara alanlarının %30'unu kaplamaktadır. Hali hazırda bunun da %70'i hayvan yemi üretiminde kullanılmaktadır (Galecki et al., 2021).

“Artan nüfusun ihtiyaç duyduğu ve duyacağı gıda miktarını yenilebilir böceklerle gidermek mümkün olabilir mi?” Son yıllarda bu konu ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığını görüyoruz.

Böcekler, türden türe değişmekle birlikte, yüksek oranda protein, yağ/yağ asitleri, vitamin ve/veya mineral değerlerine sahiptirler (Tablo1.) (Williams ve Williams, 2017). Sucul böceklerin kuru ağırlıklarının yaklaşık %59,55 kadarı protein olup, bu değer geleneksel hayvan etinden daha yüksektir (Shantibala et al., 2014; Ghosh et al., 2017). Bu nedenle böceklerin kırmızı ete oranla daha ucuz ve besleyici bir besin kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 1: İnsan günlük besin gereksinimleri ile yenilebilir böceklerin sahip olduğu değerlerin karşılaştırılması (Williams ve Williams, 2017).

Günlük alınması gereken ortalama beslenme içeriği	Yetişkinler için önerilen günlük miktar (g/gün)	100 gram kuru böcek ekstraktının sahip olduğu değerler
Protein	50 g	20-70 g/100 g
Karbohidrat	260 g	1-5 g/ 100 g
Yağ	70 g	10-60 g/100 g
Lif	30 g	12-137 mg/ kg
Enerji	2000 kcal/gün	293-762 kcal/100 g

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere, yenilebilir böcekler yüksek protein, yağ ve lif içeriğine sahip olup, düşük karbohidrat değerlerine sahiptirler. Yüksek protein ve düşük karbohidrat içeriğine sahip olmaları şeker hastalarının tüketimi için alternatif besin kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bu değerler aynı zamanda böceklerin yetişkin bir insanın bir günlük beslenme ihtiyacını gerekli düzeyde karşılayabileceği anlamına da gelmektedir.

Yenilebilir böceklerin besin içeriklerine yönelik çalışmalar daha çok karasal türler üzerine yoğunlaşmış olmasına rağmen, sucul türler üzerine de yapılan birçok çalışma mevcuttur (Williams ve Williams, 2017). Bu çalışmalar ışığında, yüksek protein içeriğine sahip sucul böcek takımlarının şu şekilde sıralandığı görülmektedir: Ephemeroptera'ların vücut ağırlıklarının %66,3'ü; Odonata'ların %40-65'i; Hemiptera'ların %42-73'ü; Coleoptera'ların %23-66'sı (Xiaoming et al., 2010; Shantibala et al., 2014). Bazı sucul böceklerin yüksek mineral, B vitamini ve esansiyel amino asit değerlerine sahip oldukları da belirlenmiştir. Sucul böcek proteinlerinin %46-61 oranında esansiyel amino asitlere sahip oldukları kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra, insan proteinlerinin sahip olduğu çok çeşitli amino asitleri de bulundurmaktadırlar (Bergeron et al., 1988; Okedi, 1992).

Böceklerin sahip oldukları yağ asitleri kendi büyüme ve gelişimlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Aguilar, 2021). Sucul böceklerin ihtiva ettikleri doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle, insanlar için önemli birer besin kaynağı olabilecekleri düşünülmektedir (Bell et al., 1994; Hixson et al., 2015).

Böcekler normal ete oranla daha fazla kalsiyum ve çinko içeriklerine sahiptir. Bu yüzden böcek katkılı yiyecekler mineral bakımından daha zengin yiyeceklerdir (Banjo ve Lawal, 2006; Cerritos, 2009; Kinyuru et al., 2015).

4. Sucul Böceklerin Gıda olarak Tüketimi Ne Kadar Güvenlidir?

Sucul böceklerin hemen hemen tamamı tatlı su ekosistemlerinde yaşamaktadır. Sucul böcekler vücutlarındaki elementleri yiyeceklerinden, toprak sedimentlerinden ya da suyun kendisinden alırlar. Bazı sucul böcekler vücutlarında diğerlerine göre daha fazla element biriktirebilirler (Pourang, 1996). Tatlı su habitatlarındaki ağır metal kirliliği öncelikle içinde yaşayan böceklerin gelişimini etkileyecek (Scheibener et al., 2017; Lidman et al., 2020), sonrasında bunlarla beslenen insanların sağlığını etkileyecektir (Chaves-Ulloa et al., 2016; Neff ve Dharmarajan, 2020). Bugüne kadar sucul böceklerin vücudunda civa, kurşun, kadmiyum ve krom gibi ağır metalleri de içeren 33 farklı metal element tespit edilmiştir (Hare, 1992). Dolayısı ile ağır metallerle kirlenmiş sucul böceklerin besin olarak tüketilmesi, bu ağır metallerin insanlara geçmesi demektir.

Sucul böcekler bazı patojenler için önemli vektörler olabilirler. İki sucul böcek türü olan *Hydrophilus piceus* ve *Dytiscus marginalis*'in iç ve dış yüzeylerinden yapılan örneklemelerle: *Penicillium*, *Alternaria*, *Beauveria*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Acremonium*, *Paecilomyces* cinslerine bağlı 19 farklı fungusun izole edildiği tespit edilmiştir (Özdal et al., 2012). Bazı tropikal bölgelerdeki sucul böceklerin cilt kanserine neden olan *Mycobacterium ulcerans* patojenine vektörlük yapabilecekleri tespit edilmiştir (Marsollier et al., 2002). Dolayısı ile sucul böceklerin steril edilmeden, pişirilmeden, çiğ olarak tüketilmesi bu patojenlerin insanlara geçebileceği anlamına gelmektedir.

Böcek öldürücü olarak kullanılan pestisitler insan sinir ve üreme sistemlerinde ciddi zararlara neden olabilmektedirler. Pestisitler sucul böceklerle değme ya da besin yoluyla girebilmektedirler (Bruus et al., 2019). Pestisite maruz kalmış sucul böceklerin besin olarak tüketilmesi ciddi hastalıklara sebep olabilecektir.

Bugüne kadar yapılan böcek alerjileri ile ilgili çalışmaların, ipek böceği, un kurdu, tırtıl, eşek arısı, çekirge, arı ve ağustos böceği gibi karasal böcekler üzerine olduğu görülmektedir (Gier ve Verhoeckx, 2018). Yenilebilen sucul böceklerin insanlar üzerine ne gibi alerjik reaksiyonlar yapabileceğine dair çalışmalar bulunmamaktadır.

5. Türkiye'den İnsan Besin Kaynağı Olarak Yenilebilen Böcek Türleri

Bugüne kadar yapılmış yenilebilir böcek listelerinin olduğu çalışmalarda, ülkemizden de bazı böceklerin insan besini olarak tüketildiğine dair verilerin yer aldığı görülmektedir. Bu yenilebilen böceklerin içerisinde hem karasal hem de sucul türlerin olduğu belirtilmektedir.

Karasal türler içerisinde, Coleoptera takımına bağlı Tenebrionidae familyasından *Blaps* sp., *Pimelia* sp. ve *Tenebrio* sp. cinslerine bağlı 3 türün erginlerinin 18. yüzyılda Türk ve Kuzey Afrikalı kadınlar tarafından kilo almak için yenildiği rapor edilmiştir. Ayrıca Hymenoptera takımına bağlı Cynipidae familyasına ait *Aulacidea levantina* türünden de bahsedilmiştir. Bu, bir tür gal arısıdır. Girit halkı tarafından bu arının adaçayı (*Salvia* spp.) bitkisinde neden olduğu gallerin yiyecek olarak toplandığı rapor edilmektedir. Doğu Akdeniz’de Levant denilen bir bölgede, özellikle bal ve şeker ile hazırlandığında, aromatik ve asitli tadı yüzünden bu gallere değer verildiğini ve Scio denilen yerden İstanbul’a kadar ticaretinin yapıldığı ve marketlerde düzenli olarak satıldığı da kaydedilmektedir (DeFoliart, 2002). Bu çalışmada yer alan verilerden, bu gal arısının doğrudan tüketilmediği anlaşılmaktadır. Dolayısı ile dünya genelinde yenilebilen böcek türleri listesinde, ülkemizden kaydedilen bu dört karasal böcek türünden Hymenoptera: *Aulacidea levantina*’nın çıkarılması gerektiği kanısına varılmaktadır.

Türkiye’den insan besini olarak yenilen sucul böceklerin, *Dytiscus marginalis* ve *Hydrophilus piceus* olduğu bildirilmektedir (Macadam ve Stockan 2017). Bu bilginin “*Dytiscus marginalis* ve *Hydrophilus piceus* türlerine ait ekstarktların insan kan hücre kültürlerine verilmek suretiyle genotoksik etkilerinin araştırıldığı” (İncekara ve Türkez 2009) bir çalışmadan alındığı kaydedilmektedir. Bu çalışmada bu iki sucul türün, Türkiye’de insan besini olarak yenildiğine dair herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Macadam ve Stockan (2017)’nin çalışmalarında yer alan “Dünya genelinde yenilebilen sucul böcekler listesi”, kendisinden sonra çıkan diğer birçok çalışmalara da temel oluşturmuştur. Bu yanlış anlaşılma maalesef son çıkan güncel yayınlarda da devam etmektedir. Bu iki sucul tür ülkemizde insan besini olarak tüketilmemekte ve bu bilginin güncellenmesi gerekmektedir.

6. Sonuç ve Tartışma

Ülkemizde herhangi bir böcek türünün doğrudan insan besini olarak tüketildiğine dair güncel bir veri bulunmamaktadır. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda, ülkemizden verilen kayıtların, çok eski çalışmalara dayandırıldıkları ve/veya gerçekçi veriler olmadıkları anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu verilerin gözden geçirilip, tekrardan düzenlenmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında ülkemizden insan besin kaynağı olarak tüketilen/tüketilmiş sadece üç karasal böcek türünün varlığının doğrulandığı ortaya konulmaktadır. Bunlar DeFoliart (2002)’nin ortaya koyduğu, Coleoptera takımına bağlı Tenebrionidae familyasından *Blaps* sp., *Pimelia* sp. ve *Tenebrio* sp. cinslerine bağlı üç türdür.

Artan dünya nüfusunun besin ihtiyacının geleneksel tarım ürünleri ile karşılanamaması durumunda, yenilebilir böceklerin insan besini olarak kullanılması mümkün görünmektedir. Böcek türlerinin doğrudan insan besin kaynağı olarak tüketilmesi, bazı insanlara, böceklerin sahip oldukları dış görünüş, yaşadıkları habitatlar ve/veya tükettikleri besin grupları nedeniyle tiksindirici olarak gelebilmektedir. Fakat yapılan çalışmalar, böceklerin, içerdikleri yüksek protein, yağ/yağ asitleri, vitamin ve/veya mineral değerleri nedeniyle besleyici, ucuz ve üretimi kolay bir besin kaynağı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca birçok yenilebilir karasal böcek türünün un haline getirilip, paketlenmiş halde çeşitli internet sitelerinde ve yabancı marketlerde satıldığı görülmektedir. Böcekler, çeşitli ülkelerde çoğunlukla yerel halklar tarafından besin amaçlı olarak yaygın bir şekilde tüketilmektedir. Bunun yanı sıra gerek insan besini olarak, gerek evcil hayvan besini olarak ve gerekse gıda endüstrisinde kullanımı bakımından bazı ülkelerde ticari anlamda yüksek ekonomik değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Böcekler, kırmızı ete oranla daha fazla protein içermektedirler (Shantibala et al., 2014; Ghosh et al., 2017). Kültürlerinin yapılması durumunda, daha az sera gazı üretimi (Oonincx ve de Boer, 2012), daha az besin ve su tüketimleriyle kümes hayvancılığı ile küçük ve büyükbaş hayvan yetiştiriciliğine alternatif olabilecekleri düşünülmektedir (Mosiej, 2011; Orlińska-Wozniak et al., 2013). Bu doğrultuda böcek proteinlerinin daha az masraflı, daha çevreci ve daha besleyici oldukları söylenebilir.

Sucul böceklerin tüketimi, karasal böceklere oranla, daha fazla protein içeriğine sahip olmaları nedeniyle tercih sebebi olabilir. Fakat sucul böcekler yaşadıkları habitatlar nedeniyle bünyelerinde ağır metal biriktirebilirler (Hare, 1992). Bazı patojenlere vektör olabilirler (Özdal et al., 2012; Marsollier et al., 2002). Pestisit (böcek ilaçlarına) maruz kalmış sucul böceklerin tüketilmesi insanlar üzerinde kanser başta olmak üzere birçok ciddi hastalıklara sebep olabilir.

Dinen böceklerin besin olarak tüketimi çekirgeler hariç uygun görülmemiştir. İslam dininde gıdaların helallik ve haramlık durumları belirlenmiştir. Hayvanlardan “haşarat” denilen böcek türleri habaisten sayılıp genel olarak helal görülmemiştir. İslam dininde helal ve haram kavramları iki terimle bağlantılıdır. Bunlardan birincisi iyi, güzel, hoş manalarına gelen, helali de ifade eden “tayyibat” kelimesidir. Diğer ise çirkin, kötü ve haramlığı ifade eden “habais” kelimesidir. Müslümanların yediği, içtiği şeylerin helalliyi yanında “tayyib” olarak ifade edilen hijyen, sağlık ve kalitesinin de önemi vardır. Çekirge bir böcek türü olmasına rağmen Hz. Muhammed (S.A.V)’in onu helal saydığı ve sahabenin de sepet sepet çekirge yediği bilgisine kaynaklardan ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, Medine müdafaasında aç kalan askerlerin çekirge yediklerini Fahrettin Paşa

hatıralarında anlatmaktadır (Boran, 2020). Hayvanlar aleminin $\frac{3}{4}$ 'ünü teşkil eden böcekler, muazzam bir tür sayısı ve çeşitliliğine sahiptirler. Böcekler içerisinde çekirgelerin insan besini olarak yenilmesi İslam dinine göre helal sayılmıştır.

7. Referanslar

- Aguilar, J.G.d.S. (2021). An overview of lipids from insects. Biocatal. Agric. Biotechnol., 33, 101967.
- Banjo, A.D., Lawal, O.A., ve Songonuga, E. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. Afr. J. Biotechnol., 5, 298–301.
- Bell, J., Ghioni, C., ve Sargent, J.R. (1994). Fatty acid compositions of 10 freshwater invertebrates which are natural food organisms of Atlantic salmon parr (*Salmo salar*): A comparison with commercial diets. Aquaculture, 128, 301–313.
- Bergeron, D., Bushway, R.J., Roberts, F.L., Kornfield, I., Okedi, J., ve Bushway, A.A. (1988). The nutrient composition of an insect flour sample from Lake Victoria, Uganda. J. Food Compos. Anal., 1, 371–377.
- Bodenheimer, F.S. (1951). Insects as Human Food; W. Junk: Hague, The Netherlands, p. 352.
- Boran, M. (2020). Fıkıhta çekirgenin hükmü. İhya Uluslararası İslam Araştırmaları Dergisi, 6 (1): 259-278.
- Brogan, E.N., Park, Y.L., Matak, K.E., ve Jaczynski, J. (2021). Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. Lwt 152, 112314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314>
- Bruus, M., Rasmussen, J.J., Strandberg, M., Strandberg, B., Sørensen, P.B., Larsen, S.E., Kjær, C., Lorenz, S., ve Wiberg-Larsen, P. (2019). Terrestrial adult stages of freshwater insects are sensitive to insecticides. Chemosphere, 239, 124799.
- Canlı, O., Taşar, G.E., ve Taşkin, M. (2013). Inulinase production by *Geotrichum candidum* OC-7 using migratory locusts as a new substrate and optimization process with Taguchi DOE. Toxicol. Ind. Health 29, 704–710. <https://doi.org/10.1177/0748233712442737>
- Cerritos, R. (2009). Insects as food: An ecological, social and economical approach. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour., 4, 1–10.

- Chaves-Ulloa, R., Taylor, B.W., Broadley, H., Cottingham, K.L., Baer, N.A., Weathers, K.C., Ewing, H.A., ve Chen, C.Y. (2016). Dissolved organic carbon modulates mercury concentrations in insect subsidies from streams to terrestrial consumers. *Ecol. Appl.*, 26, 1771–1784.
- Chou, Y. (1980). The history of entomology in China. *Entomotaxonomia*, 3, 50–51.
- Çabuk, B. (2021). Influence of grasshopper (*Locusta Migratoria*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: nutritional, physicochemical, textural and sensory aspects. *J. Food Meas. Charact.* 15, 3862–3872. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00967-x>
- DeFoliart, G.R. (2002) The human use of insects as a food resource: a bibliographic account in progress. Available at: <https://insectsasfood.russell.wisc.edu/the-human-use-of-insects-as-a-food-resource/>
- De Gier, S., ve Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Mol. Immunol.*, 100, 82–106.
- Feng, Y., Chen, X.M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C.Y., ve Ding, W.F. (2017). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Sci.*, 25, 184–198.
- Feng, Y., Zhao, M., Ding, W., ve Chen, X. (2020). Overview of edible insect resources and common species utilisation in China. *J. Insects Food Feed*, 6, 13–25.
- Galecki, R., Zielonka, L., Zasepa, M., Golebiowska, J., ve Bakula, T. (2021). Potential Utilization of Edible Insects as an Alternative Source of Protein in Animal Diets in Poland. *Front. Sustain. Food Syst.*, 5:675796.
- Ghosh, S., Lee, S.M., Jung, C., ve Meyer-Rochow, V.B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 20, 686–694.
- Hare, L. (1992). Aquatic Insects and Trace Metals: Bioavailability, Bioaccumulation, and Toxicity. *Crit. Rev. Toxicol.*, 22, 327–369.
- Hixson, S.M., Sharma, B., Kainz, M.J., Wacker, A., ve Arts, M. (2015). Production, distribution, and abundance of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids: A fundamental dichotomy between freshwater and terrestrial ecosystems. *Environ. Rev.*, 23, 414–424.

- Hlongwane, Z.T., Slotow, R., ve Munyai, T.C. (2020). Indigenous Knowledge about Consumption of Edible Insects in South Africa. *Insects*, 12, 22.
- Holt, V.M. (1885). *Why Not Eat Insects?* E.W. Classey, Ltd.: London, UK, p. 99.
- İncekara, Ü. ve Türkez, H. (2009). The genotoxic effects of some edible insects on human whole blood cultures. *Munis Entomology & Zoology*, 4 (2), 531-535.
- Jongema, Y. (2015). List of edible insect species of the world. Laboratory of Entomology, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Jongema, Y. (2017). Worldwide list of recorded edible insects. Available at: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
- Kim, T.K., Yong, H.I., Kim, Y.B., Kim, H.W., ve Choi, Y.S. (2019). Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception, Processing Technology, and Research Trends. *Food Sci. Anim. Resour.*, 39, 521–540.
- Kinyuru, J.N., Mogendi, J.B., Riwa, C.A., ve Ndung'u, N.W. (2015). Edible insects-A novel source of essential nutrients for human diet: Learning from traditional knowledge. *Anim. Front.*, 5, 14–19.
- Lidman, J., Jonsson, M., ve Berglund, M. (2020). The effect of lead (Pb) and zinc (Zn) contamination on aquatic insect community composition and metamorphosis. *Sci. Total Environ.*, 734, 139406.
- Macadam, C.R., ve Stockan, J.A. (2017). The diversity of aquatic insects used as human food. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3): 203-209.
- Marsollier, L., Robert, R., Aubry, J., André, J.P.S., Kouakou, H., Legras, P., Manceau, A.L., Mahaza, C., ve Carbonnelle, B. (2002). Aquatic Insects as a Vector for *Mycobacterium ulcerans*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68, 4623–4628.
- Meyer-Rochow, V.B. (1973). Edible insects in three different ethnic groups of Papua and New Guinea. *Am. J. Clin. Nutr.*, 26, 673–677.
- Mitsuhashi, J. (2016) *Edible insects of the world*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 286 pp.

- Mosiej, J. (2011). Rural water management as important factor of sustainable rural development in Poland-some aspects. *Rural Dev.* 5, 326–331.
- Neff, E., ve Dharmarajan, G. (2020). The direct and indirect effects of copper on vector-borne disease dynamics. *Environ. Pollut.*, 269, 116213.
- Ojha S., Bußler S., Psarianos M., Rossi G., ve Schlüter O.K. (2021). Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5): 877-900.
- Okedi, J. (1992). Chemical evaluation of the Lake Victoria lakefly as nutrient source in animal feeds. *Insect Sci. Appl.*, 13, 373–376.
- Onincox, D.G.A.B., ve de Boer, I.J.M. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. *PLoS ONE* 7:e51145. doi: 10.1371/journal.pone.0051145
- Orlińska-Wozniak, P., Wilk, P., ve Gebala, J. (2013). Water availability in reference to water needs in Poland. *Meteorol. Hydrol. Water Manage. Res. Oper. Appl.* 1, 45–50. doi: 10.26491/mhwm/20546
- Özdal, M., Incekara, Ü., Polat, A., Gür, Ö., Kurbanoglu, E., Taşar, G.E. (2012). Isolation of Filamentous Fungi Associated with Two Common Edible Aquatic insects, *Hydrophilus piceus* and *Dytiscus marginalis*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2(1): 95-105.
- Pourang, N. (1996). Heavy metal concentrations in surficial sediment and benthic macroinvertebrates from Anzali wetlands, Iran. *Hydrobiologia*, 331, 53-61.
- Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O.B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millán, R., ve Raposo, A. (2018). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 59, 2169–2188.
- Ramos-Elorduy, J. (2009). Anthro-po-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomol. Res.*, 39, 271–288.
- Scheibener, S., Conley, J.M., ve Buchwalter, D. (2017). Sulfate transport kinetics and toxicity are modulated by sodium in aquatic insects. *Aquat. Toxicol.*, 190, 62–69.

- Séré, A., Bougma, A., Oully, J.T., Traoré, M., Sangaré, H., Lykke, A.M., Ouédraogo, A., Gnankiné, O., ve Bassolé, I.H.N. (2018). Traditional knowledge regarding edible insects in Burkina Faso. *J. Ethnobiol. Ethnomed.*, 14, 59.
- Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., ve Derossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Res. Int.* 106, 666–676. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
- Shantibala, T., Lokeshwari, R.K., ve Debara, H. (2014). Nutritional and antinutritional composition of the five species of aquatic edible insects consumed in Manipur, India. *J. Insect Sci.*, 14, 14.
- Tanaka, R., ve Oda, M. (2009). Cyclic Dipeptide of D-ornithine obtained from the dobsonfly, *Prothermes grandis* Thunberg. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 73, 1669–1670.
- Taşkın, M., Taşar, G.E., ve Incekara, Ü. (2013). Citric acid production from *Aspergillus niger* MT-4 using hydrolysate extract of the insect *Locusta migratoria*. *Toxicology and Industrial Health*, 29, 5, 426-434.
- Xiaoming, C., Ying, F. ve Hong, Z. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. In *Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*; Durst, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.L., Shono, K., Eds.; FAO Regional Office for Asia and the Pacific: Bangkok, Thailand, pp. 85–92.
- Van Itterbeeck, J., ve van Huis, A. (2012). Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8:3.
- Williams, D.D., Williams, S.S., ve Huis A.V. (2021). Can we farm aquatic insects for human food or livestock feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2): 121-127.
- Williams, D.D., ve Williams, S.S. (2017). Aquatic Insects and their Potential to Contribute to the Diet of the Globally Expanding Human Population. *Insects*, 8, 72.
- Zhao, M., Wang, C.Y., Sun, L., He, Z., Yang, P.L., Liao, H.J., ve Feng, Y. (2021). Edible Aquatic Insects: Diversities, Nutrition, and Safety. *Foods*, 10, 3033.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 07



**Fibre-Preserving Conformal Vector Fields on Cotangent
Bundle
(Lokman Bilen)**

Fibre-Preserving Conformal Vector Fields on Cotangent Bundle

Lokman Bilen

*Department of Mathematics, Faculty of Science and Art, Iğdır University, 76000/
Iğdır, Turkey, E-mail: lokman.bilen@igdir.edu.tr*

1. Introduction

Let $T^*(M)$ be the cotangent bundle on M and Φ be a transformation of $T^*(M)$. If the transformation Φ preserves the fibres, it is named as a fibre-preserving transformation. Let's pay attention to a vector field $\tilde{X}$ on $T^*(M)$ and the local one-parameter group $\{\Phi_t\}$ of local transformations of $T^*(M)$ created by $\tilde{X}$. If each Φ_t is a local fibre-preserving transformation of $T^*(M)$, the vector field $\tilde{X}$ is named an infinitesimal fibre-preserving transformation. An infinitesimal fibre-preserving transformation $\tilde{X}$ on $T^*(M)$ is named an infinitesimal fibre-preserving conformal transformation if each Φ_t is a local fibre-preserving conformal transformation of $T^*(M)$.

Let $\tilde{g}$ be a Riemannian or a pseudo-Riemannian metric on $T^*(M)$. It is obvious that $\tilde{X}$ is an infinitesimal conformal transformation of $T^*(M)$ iff there exists a scalar function Ω on $T^*(M)$ such that $L_{\tilde{X}}\tilde{g} = 2\Omega\tilde{g}$, where $L_{\tilde{X}}$ indicates the Lie derivation according to $\tilde{X}$.

Infinitesimal conformal transformations on the tangent and cotangent bundles have been researched by some authors, (Gezer, A. (2011), Hasegawa, I., Yamauchi, K. (2003), Yamauchi, K. (1994), Yamauchi, K. (1996)). Also Riemannian extension studied by some authors (Afifi, Z. (1954), Dryuma, V. (2003), Ikawa, T., Honda, K. (1998), Kowalski, O., Sekizawa, M. (2011), Toomanian, M. (1975), Vanhecke, L., Willmore, T.J. (1982), Willmore, T.J. (1988)). In (Calvino-Louzao, E. et al. (2009)) and (Calvino-Louzao, E. et al. (2010)), the authors introduced a modification of the usual Riemannian extension which is called the modified Riemannian extension. Projective vector fields on the cotangent bundle with modified Riemannian extension studied by (Bilen, L. (2019)).

Our aim is to research infinitesimal conformal transformations on the cotangent bundle with the modified Riemannian extension on a Riemannian manifold.

2. Preliminaries

Let M be a smooth manifold with n -dimensional and denote by $\pi: T^*M \rightarrow M$ its cotangent bundle whose fibres are cotangent spaces to M . Then T^*M is a smooth manifold with $2n$ -dimensional and some local charts induced naturally from local charts on M can be used. So, a system of local coordinates (U, x^i) , $i = 1, \dots, n$ on M induces a system of local coordinates $(\pi^{-1}(U), x^i, x^{\bar{i}} = p_i)$, $\bar{i} = n + i = n + 1, \dots, 2n$ on T^*M , where $x^{\bar{i}} = p_i$ are the components of covectors p in each cotangent space T_x^*M and $x \in U$ according to the natural coframe $\{dx^i\}$.

Let $\tilde{X} = X^i \frac{\partial}{\partial x^i}$ and $w = w_i dx^i$ be the local expressions of a vector field $\tilde{X}$ and a covector (1-form) field w on M , respectively. According to the induced coordinates the vertical lift ${}^V w$ of w , the horizontal lift ${}^H \tilde{X}$ and the complete lift ${}^C \tilde{X}$ of $\tilde{X}$ are obtained as follows (Yano, K., Ishihara, S. (1973)),

$${}^V w = w_i \partial_{\bar{i}}, \quad (1)$$

$${}^H \tilde{X} = X^i \partial_i + p_h \Gamma_{ij}^h X^j \partial_{\bar{i}} \quad (2)$$

and

$${}^C \tilde{X} = X^j \partial_j - p_h \partial_i X^h \partial_{\bar{i}}, \quad (3)$$

where $\partial_i = \frac{\partial}{\partial x^i}$, $\partial_{\bar{i}} = \frac{\partial}{\partial x^{\bar{i}}}$ and Γ_{ij}^h are the coefficients of symmetric (torsion-free) affine connection ∇ on M . For arbitrary $\tilde{X}, \tilde{Y} \in \mathfrak{X}_0^1(M)$ and $\theta, w \in \mathfrak{X}_1^0(M)$, the Lie bracket operation of vertical and horizontal vector fields on T^*M is given as follows (Yano, K., Ishihara, S. (1973)),

$$\begin{cases} [{}^H \tilde{X}, {}^H \tilde{Y}] = {}^H [\tilde{X}, \tilde{Y}] + {}^V (p \circ R(\tilde{X}, \tilde{Y})), \\ [{}^H \tilde{X}, {}^V w] = {}^V (\nabla_{\tilde{X}} w), \\ [{}^V \theta, {}^V w] = 0, \end{cases} \quad (4)$$

where $R = R(\tilde{X}, \tilde{Y}) = [\nabla_{\tilde{X}}, \nabla_{\tilde{Y}}] - \nabla_{[\tilde{X}, \tilde{Y}]}$ is the curvature tensor of the symmetric connection ∇ .

The adapted frame $\{E_\alpha\} = \{E_j, E_{\bar{j}}\}$ on each induced coordinate neighbourhood $\pi^{-1}(U)$ of T^*M is given by (Yano, K., Ishihara, S. (1973))

$$\begin{aligned} E_j &= {}^H \tilde{X}_{(j)} = \partial_j + p_a \Gamma_{hj}^a \partial_{\bar{h}} \\ E_{\bar{j}} &= {}^V \theta^{(j)} = \partial_{\bar{j}} \end{aligned} \quad (5)$$

where

$$\tilde{X}_{(j)} = \frac{\partial}{\partial x^j}, \quad \theta^{(j)} = dx^j, \quad j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

The indices $\alpha, \beta, \gamma, \dots = 1, \dots, 2n$ denote the indices according to the adapted frame. It follows from (1), (2) and (5) that

$${}^v w = \begin{pmatrix} 0 \\ w_j \end{pmatrix} \text{ and } {}^H \tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{X}^j \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

according to the adapted frame $\{E_\alpha\}$.

Theorem 1 (Yano, K., Ishihara, S. (1973)) *The Lie bracket of the adapted frame of T^*M satisfies the following identities*

$$\begin{aligned} [E_i, E_j] &= p_s R_{ijl}^s E_{\bar{l}} \\ [E_i, E_j] &= -\Gamma_{il}^j E_{\bar{l}} \\ [E_i, E_j] &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

where $R_{ijl}^s = \partial_i \Gamma_{jl}^s - \partial_j \Gamma_{il}^s + \Gamma_{ik}^s \Gamma_{jl}^k - \Gamma_{jk}^s \Gamma_{il}^k$ indicates the Riemannian curvature tensor of (M, g) .

Take into account that T^*M equipped with the modified Riemannian extension $(\tilde{g}_{\nabla, c})$ for a given symmetric connection ∇ on M . In adapted frame $\{E_\beta\}$, the modified Riemannian extension $(\tilde{g}_{\nabla, c})_{\beta\gamma}$ and its inverse $(\tilde{g}_{\nabla, c})^{\beta\gamma}$ are the following forms (Gezer, A., Bilen, L., Çakmak, A. (2015)),

$$(\tilde{g}_{\nabla, c})_{\beta\gamma} = \begin{pmatrix} c_{ij} & \delta_i^j \\ \delta_j^i & 0 \end{pmatrix} \text{ and } (\tilde{g}_{\nabla, c})^{\beta\gamma} = \begin{pmatrix} 0 & \delta_j^i \\ \delta_i^j & -c_{ij} \end{pmatrix} \quad (9)$$

where the components of the symmetric (0,2) tensor field c on (M, ∇) are represented by c_{ij} . Then the quadratic differential form of this metric can be written as

$$(\tilde{g}_{\nabla, c}) = c_{ij} dx^i dx^j + 2\delta_i^j dx^i \delta p_j, \quad (10)$$

where $\delta p_j = dp_j - p_s \Gamma_{ij}^s dx^i$.

3. Results

Proposition 2 *Let $\tilde{X}$ be a fibre-preserving vector field of T^*M with the components $(v^h, v^{\bar{h}})$. Then, the Lie derivatives of the adapted frame and the dual basis are obtained as follows*

1. $L_{\tilde{X}} E_i = -(E_i v^k) E_k - (v^a p_s R_{iak}^s + E_i v^{\bar{k}} - v^{\bar{a}} \Gamma_{ik}^a) E_{\bar{k}},$
2. $L_{\tilde{X}} E_{\bar{l}} = -(v^a \Gamma_{ak}^i + E_{\bar{l}} v^{\bar{k}}) E_{\bar{k}},$

$$3. L_{\bar{X}}dx^h = (E_m v^h)dx^m,$$

$$4. L_{\bar{X}}\delta p_h = \left(v^a p_s R_{mah}{}^s - v^{\bar{a}} \Gamma_{mh}^a + (E_m v^{\bar{k}}) \delta_h{}^k \right) dx^m + \left(v^a \Gamma_{ah}^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{k}}) \delta_h{}^k \right) \delta p_m.$$

Proof. Let $\bar{X} = v^h E_h + v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}$ be a fibre-preserving vector field of T^*M and $(v^h, v^{\bar{h}})$ are its components. Firstly we calculate Lie derivatives of adapted frame

$$\begin{aligned} L_{\bar{X}}E_i &= [v^h E_h + v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}, E_i] \\ &= [v^h E_h, E_i] + [v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}, E_i] \\ &= -[E_i, v^h E_h] - [E_i, v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}] \\ &= -(E_i v^h) E_h - v^h [E_i, E_h] - (E_i v^{\bar{h}}) E_{\bar{h}} - v^{\bar{h}} [E_i, E_{\bar{h}}] \\ &= -(E_i v^k) E_k - \left(v^a p_s R_{iak}{}^s + E_i v^{\bar{k}} - v^{\bar{a}} \Gamma_{ik}^a \right) E_{\bar{k}} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} L_{\bar{X}}E_{\bar{i}} &= [v^h E_h + v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}, E_{\bar{i}}] \\ &= [v^h E_h, E_{\bar{i}}] + [v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}, E_{\bar{i}}] \\ &= -[E_{\bar{i}}, v^h E_h] - [E_{\bar{i}}, v^{\bar{h}} E_{\bar{h}}] \\ &= -(E_{\bar{i}} v^h) E_h - v^h [E_{\bar{i}}, E_h] - (E_{\bar{i}} v^{\bar{h}}) E_{\bar{h}} - v^{\bar{h}} [E_{\bar{i}}, E_{\bar{h}}] \\ &= -\left(v^a \Gamma_{ak}^i + E_{\bar{i}} v^{\bar{k}} \right) E_{\bar{k}}. \end{aligned}$$

Secondly, $\{E_i, E_j\}$ is the adapted frame and $\{dx^j, \delta p_j\}$ is the dual of $\{E_i, E_j\}$, we obtain

$$dx^j(E_i) = \delta_i^j, \quad dx^j(E_{\bar{i}}) = 0, \quad \delta p_j(E_i) = 0 \text{ and } \delta p_j(E_{\bar{i}}) = \delta_i^j.$$

We can write the Lie derivation as $L_{\bar{X}}dx^h = \alpha_j^h dx^j + \beta_{\bar{h}}^j \delta p_j$. In this case,

$$L_{\bar{X}}(dx^h(E_i)) = 0$$

from here, we can write

$$(L_{\bar{X}}dx^h)E_i + dx^h(L_{\bar{X}}E_i) = 0$$

If we use the expression $L_{\bar{X}}E_i$ and $L_{\bar{X}}dx^h = \alpha_j^h dx^j + \beta_h^j \delta p_j$ in above equation. We rewritten as follows

$$(\alpha_j^h dx^j + \beta_h^j \delta p_j)E_i + dx^h \left(-(E_i v^k)E_k - (v^a p_s R_{iak}{}^s + E_i v^{\bar{k}} - v^{\bar{a}} \Gamma_{ik}{}^a) E_{\bar{k}} \right) = 0$$

and

$$(\alpha_j^h \delta_i^j) - (E_i v^k) \delta_k^h = 0$$

and we get

$$\alpha_i^h = E_i v^h, \quad (11)$$

similarly

$$L_{\bar{X}}(dx^h(E_{\bar{i}})) = 0$$

from which we get

$$\beta_h^i = 0. \quad (12)$$

By using (11) and (12) we obtain that,

$$L_{\bar{X}}dx^h = (E_m v^h) dx^m.$$

We can write the Lie derivation as $L_{\bar{X}}\delta p_h = \eta_h^m dx^h + \xi_m^h \delta p_h$. In this case,

$$L_{\bar{X}}(\delta p_h(E_i)) = 0$$

from here

$$(L_{\bar{X}}\delta p_h)E_i + \delta p_h(L_{\bar{X}}E_i) = 0$$

and

$$(\eta_h^m dx^h + \xi_m^h \delta p_h)E_i - \delta p_h(E_i v^k)E_k - \delta p_h(v^a p_s R_{iak}{}^s + E_i v^{\bar{k}} - v^{\bar{a}} \Gamma_{ik}{}^a) E_{\bar{k}} = 0$$

we find

$$\eta_i^m = v^a p_s R_{iah}{}^s + (E_i v^{\bar{k}}) \delta_h^k - v^{\bar{a}} \Gamma_{ih}^a. \quad (13)$$

and similarly

$$L_{\bar{X}}(\delta p_h(E_{\bar{i}})) = 0$$

from which we obtain

$$\xi_m^i = (v^a \Gamma_{ah}^i + (E_{\bar{i}} v^{\bar{k}}) \delta_h^k). \quad (14)$$

By using (13) and (14), we get

$$L_{\bar{X}}\delta p_h = \left[v^a p_s R_{mah}{}^s - v^{\bar{a}} \Gamma_{mh}^a + (E_m v^{\bar{k}}) \delta_h{}^k \right] dx^m \\ + \left[v^a \Gamma_{ah}^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{k}}) \delta_h{}^k \right] \delta p_m.$$

Proposition 3 *The Lie derivative of $(\tilde{g}_{\nabla,c})$ according to the fibre-preserving vector field $\tilde{X}$ can be written as follow*

$$L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = \left[L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}{}^s - 2v^{\bar{a}} \Gamma_{ij}^a + 2(E_i v^{\bar{j}}) \right] dx^i dx^j \\ + 2 \left[E_i v^j + v^a \Gamma_{ai}{}^j + (E_{\bar{j}} v^{\bar{i}}) \right] dx^i \delta p_j,$$

where $L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c})$ and $L_{\tilde{X}}\eta_{ij}$ represent the components of the Lie derivative $(\tilde{g}_{\nabla,c})$ and η_{ij} , respectively.

Proof.

$$L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = L_{\tilde{X}}[\eta_{ij} dx^i dx^j + 2\delta_i^j dx^i \delta p_j] \\ = (L_{\tilde{X}}\eta_{ij}) dx^i dx^j + \eta_{ij} (L_{\tilde{X}} dx^i) dx^j + \eta_{ij} dx^i (L_{\tilde{X}} dx^j) \\ + 2\delta_i^j (L_{\tilde{X}} dx^i) \delta p_j + 2\delta_i^j dx^i (L_{\tilde{X}} \delta p_j) \\ = (v^a E_a \eta_{ij} + v^{\bar{a}} E_{\bar{a}} \eta_{ij}) dx^i dx^j + \eta_{ij} [(E_m v^i) dx^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{i}}) \delta p_m] dx^j \\ + \eta_{ij} [(E_m v^j) dx^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{j}}) \delta p_m] dx^i \\ + 2\delta_i^j \left[(v^a p_s R_{maj}{}^s - v^{\bar{a}} \Gamma_{mj}^a + (E_m v^{\bar{k}}) \delta_j{}^k) dx^m \right] dx^i \\ + 2\delta_i^j \left[v^a \Gamma_{aj}{}^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{k}}) \delta_j{}^k \right] \delta p_m dx^i \\ + 2\delta_i^j [(E_m v^i) dx^m + (E_{\bar{m}} v^{\bar{i}}) \delta p_m] \delta p_j \\ = v^a \partial_a \eta_{ij} + \eta_{mj} (E_i v^m) + \eta_{im} (E_j v^m) + 2v^a p_s R_{iaj}{}^s \\ - v^{\bar{a}} \Gamma_{ij}^a + (E_i v^{\bar{k}}) \delta_j{}^k dx^i dx^j \\ + [\eta_{mi} (E_{\bar{j}} v^m) + \eta_{im} (E_{\bar{j}} v^m) + 2(E_i v^j) + 2v^a \Gamma_{ai}{}^j] dx^i \delta p_j \\ + [2(E_{\bar{j}} v^i)] \delta p_i \delta p_j + (E_{\bar{j}} v^{\bar{k}}) \delta_i{}^k dx^i \delta p_j \\ = [L_{\nabla} \eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}{}^s - 2v^{\bar{a}} \Gamma_{ij}^a + 2(E_i v^{\bar{j}})] dx^i dx^j \\ + 2[E_i v^j + v^a \Gamma_{ai}{}^j + E_{\bar{j}} v^{\bar{i}}] dx^i \delta p_j.$$

Let T^*M be the cotangent bundle on M and $\tilde{X}$ be an infinitesimal fibre-preserving conformal transformation on T^*M such that $L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = 2\Omega(\tilde{g}_{\nabla,c})$.

Proposition 4 *The scalar function Ω on T^*M relies on the only variables (x^h) according to the induced coordinates (x^h, y^h) .*

Proof. We can write $L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c})$ as follow

$$\begin{aligned} L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) &= L_{\tilde{X}}[\eta_{ij}dx^i dx^j + 2\delta_i^j dx^i \delta p_j] \\ &= [L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}{}^s - 2v^{\bar{a}} \Gamma_{ij}{}^{\bar{a}} + 2(E_i v^{\bar{j}})] dx^i dx^j \\ &\quad + 2[E_i v^j + v^a \Gamma_{ai}{}^j + (E_{\bar{j}} v^{\bar{i}})] dx^i \delta p_j. \end{aligned}$$

So, the following

$$L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = 2\Omega(\tilde{g}_{\nabla,c})$$

is obtained. By using $L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c})$ and Proposition 3.2, we get

$$L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}{}^s - 2v^{\bar{a}} \Gamma_{ij}{}^{\bar{a}} + 2(E_i v^{\bar{j}}) = 2\Omega\eta_{ij}, \quad (15)$$

$$E_i v^j + v^a \Gamma_{ai}{}^j + E_{\bar{j}} v^{\bar{i}} = 2\Omega\delta_i^j. \quad (16)$$

If we apply $E_{\bar{h}}$ to both sides of equation (16), we get

$$E_{\bar{h}}(E_i v^j) + E_{\bar{h}}(v^a \Gamma_{ai}{}^j) + E_{\bar{h}}(E_{\bar{j}} v^{\bar{i}}) = 2E_{\bar{h}}(\Omega)\delta_i^j.$$

If h and j indices are replaced ($h \leftrightarrow j$), the followings

$$\left. \begin{aligned} E_{\bar{h}}(E_{\bar{j}} v^{\bar{i}}) &= 2E_{\bar{h}}(\Omega)\delta_i^{\bar{j}}, \\ E_{\bar{j}}(E_{\bar{h}} v^{\bar{i}}) &= 2E_{\bar{j}}(\Omega)\delta_i^{\bar{h}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

are obtained. So, we can write the following equation

$$E_{\bar{h}}(\Omega)\delta_i^j = E_{\bar{j}}(\Omega)\delta_i^h.$$

By contracting δ_h^i to both sides of last equation, it follows that

$$\begin{aligned} E_{\bar{j}}(\Omega) &= E_{\bar{j}}(\Omega).n, \\ (n-1)E_{\bar{j}}(\Omega) &= 0, \\ E_{\bar{j}}(\Omega) &= 0. \end{aligned} \quad (18)$$

This means that the scalar function $\Omega(x, y)$ on T^*M relies on the only variables (x^h) according to the induced coordinates (x^h, y^h) . Thus, we regard Ω as a function on M .

Proposition 5 *The component $v^{\bar{h}}$ of $\tilde{X}$ can be written as the following form*

$$v^{\bar{h}} = p_s A_h^s + B_h,$$

where A_a^h and B^h are the components of a certain (1,1) tensor field and a certain contravariant vector field on M , respectively.

Proof. If we write equation (18) in equation (17), we get

$$E_{\bar{h}}(E_{\bar{j}}v^{\bar{i}}) = 0$$

$$v^{\bar{i}} = p_s A_i^s + B_i.$$

Remark 1 A vector field $\tilde{X}$ on T^*M is an infinitesimal projective transformation iff there exists a covariant vector field Ω on M with the components Ω_i such that

$$L_{\tilde{X}}\Gamma_{ji}^h = \delta_j^h \Omega_i + \delta_i^h \Omega_j. \quad (19)$$

Proposition 6 The vector field $\tilde{X}$ with components (v^h) is an infinitesimal projective transformation on M .

Proof. If we write equation (19) in equation (15), it is obtained that

$$L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}^s - 2(p_s A_a^s + B_a)\Gamma_{ij}^a + 2E_i(p_s A_j^s + B_j) = 2\Omega\eta_{ij},$$

$$L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}^s - 2p_s A_a^s \Gamma_{ij}^a - 2B_a \Gamma_{ij}^a + 2p_s E_i A_j^s + 2E_i B_j = 2\Omega\eta_{ij}.$$

By using the following equations

$$\left. \begin{aligned} 2p_s(\nabla_i A_j^s) &= 2p_s E_i A_j^s - 2p_s A_a^s \Gamma_{ij}^a, \\ 2(\nabla_i B_j) &= 2E_i B_j - 2B_a \Gamma_{ij}^a \end{aligned} \right\}$$

we get

$$L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2\nabla_i B_j + 2p_s(v^a R_{iaj}^s + \nabla_i A_j^s) = 2\Omega\eta_{ij}.$$

Hence,

$$L_{\tilde{X}}\eta_{ij} + 2\nabla_i B_j = 2\Omega\eta_{ij} \quad (20)$$

and

$$v^a R_{iaj}^s + \nabla_i A_j^s = 0$$

are obtained. If we write the equation (19) in the equation (16), it is obtained that

$$E_i v^j + v^a \Gamma_{ai}^j + A_i^j = 2\Omega \delta_i^j, \quad (21)$$

$$\nabla_i v^j + A_i^j = 2\Omega \delta_i^j. \quad (22)$$

From equation (22), we obtain

$$A_i^j = 2\Omega\delta_i^j - \nabla_i v^j$$

$$A_j^s = 2\Omega\delta_j^s - \nabla_j v^s.$$

By using the last equation into (21), we have

$$v^a R_{iaj}^s + \nabla_i (2\Omega\delta_j^s - \nabla_j v^s) = 0$$

$$v^a R_{iaj}^s + 2(\nabla_i \Omega)\delta_j^s - \nabla_i \nabla_j v^s = 0$$

$$v^a R_{aij}^s + \nabla_i \nabla_j v^s = 2(\nabla_i \Omega)\delta_j^s$$

and by using the following equation

$$L_{\tilde{X}}\Gamma_{ij}^s = v^a R_{aij}^s + \nabla_i \nabla_j v^s,$$

it is clear that the following equation is obtained

$$L_{\tilde{X}}\Gamma_{ij}^s = 2(\nabla_i \Omega)\delta_j^s = (\nabla_i \Omega)\delta_j^s + (\nabla_j \Omega)\delta_i^s.$$

Since $\nabla_i \Omega = \Omega_i$,

$$L_{\tilde{X}}\Gamma_{ij}^s = \Omega_i \delta_j^s + \Omega_j \delta_i^s$$

is obtained. Therefore, it is obvious that the vector field $\tilde{X}$ on M is the infinitesimal projective transformation of M .

Proposition 7 The vector field $\tilde{X}$ on $T^*(M)$ given by

$$\tilde{X} = v^h E_h + (p_s A_h^s + B_h) E_{\bar{h}}$$

is an infinitesimal fibre-preserving conformal transformation on $T^*(M)$, where $A^h_i = g^{ha} A_{ai}$, $A_j^s = 2\Omega\delta_j^s - \nabla_j v^s$ and $g_{ji} B^j = B_i$, $2\nabla_i B_j = 2\Omega\eta_{ij} - L_{\tilde{X}}\eta_{ij}$.

Proof. By using preposition (12), it follows that

$$\begin{aligned} L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) &= [L_V \eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}^s - 2v^a \bar{a} \Gamma_{ij}^a + 2(E_i v^{\bar{k}}) \delta_j^{\bar{k}}] dx^i dx^j \\ &\quad + 2[(E_i v^j) + v^a \Gamma_{ai}^j + A_i^j] dx^i \delta p_j \\ &= [L_V \eta_{ij} + 2v^a p_s R_{iaj}^s - 2p_s A_a^s \Gamma_{ij}^a - 2B_a \Gamma_{ij}^a + 2p_s E_j A_i^s] dx^i dx^j \\ &\quad + 2[(E_i v^j) + v^a \Gamma_{ai}^j + A_i^j] dx^i \delta p_j + 2E_j B_i dx^i dx^j \\ &= [L_V \eta_{ij} + 2v^a p_s R_{jai}^s + 2p_s (\nabla_j A_i^s) + 2(\nabla_j B_i)] dx^i dx^j \\ &\quad + 2[(E_i v^j) + v^a \Gamma_{ai}^j + A_i^j] dx^i \delta p_j. \end{aligned}$$

Moreover, by using (20), (21) and (22),

$$L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = (2\Omega\eta_{ij}) dx^i dx^j + (4\Omega\delta_i^j) dx^i \delta p_j$$

$$= 2\Omega(\tilde{g}_{\nabla,c})$$

is obtained. So, we get

$$L_{\tilde{X}}(\tilde{g}_{\nabla,c}) = 2\Omega(\tilde{g}_{\nabla,c}).$$

It is clear that $\tilde{X}$ is the infinitesimal fibre-preserving conformal vector field on $T^*(M)$.

Theorem 8 *Let $T^*(M)$ be the cotangent bundle with modified Riemannian extension on Riemannian manifold M with n –dimensional. Every infinitesimal fibre-preserving conformal transformation $\tilde{X}$ on $T^*(M)$ induces an infinitesimal projective transformation V on M . So, $\tilde{X} \rightarrow V$ is a homomorphism from the Lie algebra of infinitesimal fibre-preserving conformal transformations on $T^*(M)$ to the Lie algebra of infinitesimal projective transformations on M .*

Proof of Theorem 8. Let $T^*(M)$ be the cotangent bundle with modified Riemannian extension on a Riemannian manifold M with n –dimensional. To summarize Propositions 2– 7, it is obvious that $\tilde{X} \rightarrow V$ is a homomorphism from the Lie algebra of infinitesimal fibre-preserving conformal transformations on $T^*(M)$ to the Lie algebra of infinitesimal projective transformations on M . Now, to finish the proof it is enough to take the squares of both sides of the above relations and use the chain relation (Hasegawa, I., Yamauchi, K. (2003)).

4. References

- Gezer, A. (2011). On infinitesimal holomorphically projective transformations on the tangent bundles with respect to the Sasaki metric. Proc. Est. Acad. Sci., 60, No 3, 149-157.
- Gezer, A., Bilen, L., Çakmak, A. (2015). Properties of modified Riemannian extensions. Zh.Mat. Fiz. Anal. Geom., 11, No 2, 159-173.
- Hasegawa, I., Yamauchi, K. (2003). Infinitesimal conformal transformations on tangent bundles with the lift metric I+II. Scientiae Mathematicae Japonicae, 57, No 1, 129-137, e7, 437-445.
- Yamauchi, K. (1994). On infinitesimal conformal transformations of the tangent bundles over Riemannian manifolds. Ann Rep. Asahikawa. Med. Coll. 15, 1-10.
- Yamauchi, K. (1996). On infinitesimal conformal transformations of the tangent bundles with the metric I+II over Riemannian manifolds. Ann Rep. Asahikawa. Med. Coll. 17. 1-7.

- Yano, K., Ishihara, S. (1973). *Tangent and Cotangent Bundles*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Bilen, L. (2019). Projective Vector Fields on the Cotangent Bundle with Modified Riemannian Extension. *Igdir University Journal of the Institute of Science and Technology*. 9, No 1, 389-396.
- Afifi, Z. (1954). Riemann Extensions of Affine Connected Spaces. *Quart. J. Math., Oxford Ser. 5* 312-320.
- Dryuma, V. (2003). The Riemann Extensions in Theory of Differential Equations and their Applications. *Mat. Fiz., Anal., Geom.* 10, 307-325.
- Ikawa, T., Honda, K. (1998). On Riemann Extension. *Tensor (N.S.)*. 60, No 2, 208-212.
- Kowalski, O., Sekizawa, M. (2011). On Natural Riemann Extensions. *Publ. Math. Debrecen*. 78, No 3-4, 709-721.
- Toomanian, M. (1975). Riemann Extensions and Complete Lifts of s-spaces. Ph. D. Thesis, The university Southampton.
- Vanhecke, L., Willmore, T.J. (1982). Riemann Extensions of D Atri Spaces. *Tensor (N.S.)*. 38, 154-158.
- Willmore, T.J. (1988). Riemann Extensions and Affine Differential Geometry. *Results Math.* 13, No 3-4, 403-408.
- Calvino-Louzao, E., Garcia-Rio, E., Gilkey, P., Vazquez-Lorenzo, A. (2009). The Geometry of Modified Riemannian Extensions. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Eng. Sci.* 465, No 2017, 2023-2040.
- Calvino-Louzao, E., Garcia-Rio, E., Vazquez-Lorenzo, A. (2010). Riemann Extensions of Torsion-Free Connections with Degenerate Ricci Tensor. *Can. J. Math.* 62, No 5, 1037-1057.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 08



**GPS Gözlemleri ile Türkiye'deki Uzun Süreli Yükseklik
Değişimlerinin İncelenmesi
(Gökhan Gürbüz)**

GPS Gözlemleri ile Türkiye’deki Uzun Süreli Yükseklik Değişimlerinin İncelenmesi

Gökhan Gürbüz

Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
E-posta: gokhan.gurbuz@beun.edu.tr

1. Giriş

Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), son otuz yılda yüksek zamansal çözünürlüğün yanı sıra ölçüm hassasiyeti ve doğruluğundaki başarısı ile yer ve atmosfer bilimlerinde geniş yelpazede kullanılmaktadır. Örneğin, jeofiziksel yüklenmeler, tektonik plaka hareketleri, buzul hareketleri, deprem, volkan, toprak kayması ve insan yapımı faaliyetler nedeniyle Dünya'nın yüzey deformasyonunu izlemek ve incelemek için GPS ölçümleri başarıyla kullanılmaktadır. Dünyayı ve gerçekleşen zamansal değişikliklerini anlamak için çeşitli jeofiziksel süreçlerin güvenilir ölçümü en büyük gerekliliktir. Küresel ölçekte su döngüsü, okyanuslar, karalar ve atmosfer arasındaki mevsimsel ve yıllık zaman ölçeklerinde kitlesel bir değiş tokuşla ilişkili en önemli süreçleri içermektedir. Ek olarak, basınç değişiklikleri ile karakterize edilen atmosferdeki hava kütesinin yeniden dağılımı önemli bir rol oynar.

Türkiye, mikro-plakalar, kıtasal bloklar oluşmaktadır (Moix ve diğerleri, 2008) ve çeşitli sıkıştırma ve genişleme bölgeleri ile karakterize edilir (Tan ve diğerleri, 2008). Türkiye'nin Afrika, Arap ve Avrasya levhaları arasındaki sıkışması, çeşitli tektonik deformasyonlar üreten karmaşık yamulma sistemlerine sebep olmaktadır (Şengör ve diğerleri, 2008). Atmosfer, hidrosfer, litosfer ve buzullar olmak üzere Dünya sistemindeki kütlelerin yeniden dağılımı ve taşınması, Dünya'nın şeklini etkilemektedir. Sürekli uydu tabanlı jeodezik gözlemler, özellikle Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), bu tür küçük değişiklikleri yüksek doğruluk ve uzamsal-zamansal çözünürlükle ölçme ve izleme yeteneğine sahiptir. 2009 yılında kurulan yaklaşık 150 istasyonlu Türkiye sürekli GPS gözlemi ağı, Türkiye'deki kabuk deformasyonunun sürekli olarak izlenmesi için büyük bir fırsat sunmaktadır. Ek olarak, sürekli GPS gözlemlerinden elde edilen sezonsal değişimler, GPS koordinat zaman serilerinin doğruluğunu da etkilemektedir.

GPS verilerini değerlendirme stratejileri ve modelleri de GPS koordinat tahminini etkilemektedir. Örneğin, Jin ve diğerleri (2005), kısa ve orta uzunluktaki bazıları değerlendirmek bir geliştirdikleri stokastik model ile GPS konumlandırma sonuçlarının doğruluğunun milimetre düzeyine kadar

geliştirilebileceğini göstermiştir. Zhang ve diğerleri (1997), Güney Kaliforniya'nın GPS koordinat zaman serilerini iki yıl boyunca incelemiş ve kısa zaman serilerinde, rastgele yürüyüş gürültüsünün etkisinin yüksek olduğunu belirtmiştir. Blewitt ve Lavallee (2002), yıllık sinyallerin noktaların hız bileşenleri üzerindeki etkisini detaylı olarak analiz etmiş ve jeodezik koordinat zaman serilerinin daha fazla gürültüye sahip olduğunu göstermiştir. Örnek olarak, ilk sayısal deneyler sonucunda, gerçekçi olmayan stokastik modellerin, yükseklik bileşenlerinde 10-15 milimetreye kadar hatalara sebep olabileceğini göstermiştir (Howind ve diğerleri, 1999; Wang ve diğerleri, 2002). Ek olarak, verilere büyük zamansal korelasyonlar getiren gürültülerin (beyaz gürültü ve renkli gürültü) jeodezik ölçümlerin doğruluğunu bozduğu bulunmuştur (Blewitt ve Lavallee, 2002). Ayrıca, Dünya'nın zaman içinde dinamik değişimi, büyük ölçekteki malzemenin (Dünya'nın iç hareketi, atmosferik hareket, buzdan sonra geri tepme, su geri dönüşümü vb. dahil olmak üzere) yeniden dağılması, Dünya'nın yerçekiminin farklı ölçeklerinde değişikliklere yol açacağı düşünülmektedir. Kararlı haldeki kütle dağılımı, genellikle Dünya'nın gravite alanı modeli temsili ile ortalama gravite alanı bilgisini belirlemektedir. Su, hava kalitesi ve toprak, temel olarak yerçekimi alanındaki mevsimsel değişikliklerden etkilenmektedir. Daha uzun bir zaman ölçeğinde, Dünya'nın kitlesel göç süreci, katı bir jeofizik ve jeodinamik sürecini içeren çok karmaşıktır bir düzendir. Atmosfer, okyanuslar ve karasal su döngüsü de dahil olmak üzere, yüzeyde eriyen buzullar, yükselen deniz seviyelerini, atmosferin kalitesini yansıtan, Dünya yüzeyinin uzun süreli mevsimsel döngüler ve iklim değişikliği ile yakından ilişkilidir.

Dong ve diğerleri (1996), su, kara, atmosfer ve okyanusların döngülerinin, GPS artık zaman serilerinin yıllık genliği % 66'sı ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, artık mevsimsel konum değişimlerinin sebepleri tam olarak bilinmemektedir. Ayrıca, bu çalışmalar, ölçülen veri eksikliğinden dolayı yarı deneysel model ve yarı jeofizik asimilasyon modellerine dayandırılmıştır. Özellikle hidrolojik modellerin, gözlem zorluğu nedeniyle ve birçok alanda gözlemsel veri eksikliği sebebiyle, yüksek hassasiyetli hidrolojik model elde edilememektedir. Örnek olarak, Türkiye'de nokta konumlarının mevsimsel varyasyonları hala bilinmemektedir. Vücutsal gelgitlerinden (Katı-Dünya gelgitleri) kaynaklanan birincil gelgit yer değiştirmelerine etkisi birkaç yüz milimetreye (mm) kadar ulaşabilir. İkincil ve dolaylı gelgit yer değiştirme sinyalleri, okyanus gelgitlerinin toplu yüklenmesinden veya okyanus gelgit yüklenmesinden (OTL) kaynaklanmaktadır. OTL tahminlerindeki belirsizlikler, okyanus gelgit modeli ve öncül Dünya modelinin yanı sıra kıyı coğrafyası ve gelgit hesabından kaynaklanmaktadır. Üçüncü olarak, küresel atmosferik basınçtaki değişimler nedeniyle yer kabuğunun yüklenmesi, jeodezik alanların konumlarını yıllık ila günlük zaman ölçeklerinde hem

dikey hem de yatay olarak 1 cm'den fazla değiştirebilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2012). Özellikle atmosferik basınçtaki değişiklikler, GPS ile elde edilen yükseklik bileşenindeki toplam varyansın %24'üne kadarını oluşturmaktadır (van Dam, et al., 1994).

2. Materyal ve Metot

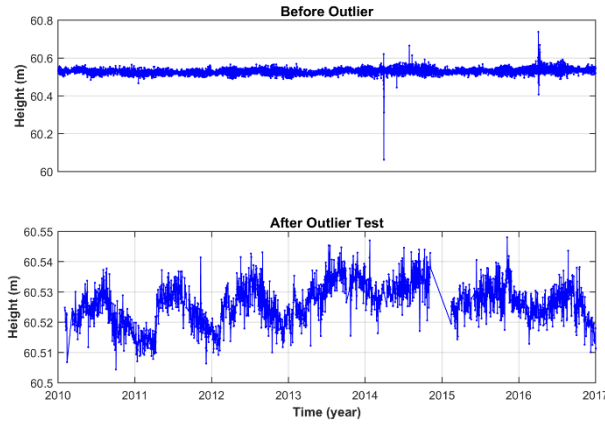
Çalışmada kullanılan GPS gözlemlerine ait veriler Harita Genel Müdürlüğü'nden (Türkiye Ulusal Harita Ajansı) temin edilmiş olup, 2010-2017 yılları dahil olmak üzere sekiz yıllık veri değerlendirilmiştir. Bu verilere, ek olarak, 20 Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonları ile birlikte GAMIT/GLOBK yazılımı ile analiz edilmiştir (Herring ve diğerleri, 2015). GAMIT/GLOBK, MIT, Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi (CfA), Scripps Oşinografi Enstitüsü (SIO) ve Avustralya Ulusal Üniversitesi bünyesinde, istasyon koordinatlarını ve hızlarını, sismik deformasyonlar, atmosferik gecikmelerin, stokastik veya fonksiyonel temsilleri hesaplamak için geliştirilmiş kapsamlı bir GPS değerlendirme paketidir.

Saat hatalarının giderilmesi ve faz başlangıç belirsizliği gibi etkilerin giderilmesinin ardından, eksik ve hatalı gözlemler tespit edilerek, veri değerlendirilmesine dahil edilmemiştir. Okyanus yüklenme etkilerinin giderilmesi amacıyla FES2004 modeli kullanılmış olup, Türkiye'deki okyanus gelgit yüklemesinden kaynaklanan etkilerin en başarılı FES2004 modeli ile giderildiği belirlenmiştir (Gülbüz ve Jin, 2016). GPS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: GAMIT/GLOBK yazılımında kullanılan değerlendirme parametreleri

Parametre	Değer
Çözüm türü	Baz uzunluğu
Zenit gecikmesi kestirimi	Saatlik
Yükseklik (eğim) açısı	10 derece
Kuru ve ıslak izdüşüm fonksiyonu	VMF1
Yörünge bilgisi	IGS-Final
Okyanus yüklenmesi modeli	FES2004
Atmosferik yüklenme modeli	Atmdisp (CM Çerçevesi)
Yeryüzü yüklenmesi modeli	IERS 2010

Uyuşumsuz değerler, diğer gözlemlerden belirgin şekilde sapan bir gözlemdir, bu değerlerin oluşmasının birçok sebebi olabilmektedir. Potansiyel uyuşumsuz değerlerin belirlenmesi aşağıdaki nedenlerden dolayı önemlidir. Öncelikle uyuşumsuz değer, hatalı verileri gösterebilir. Örneğin, veriler yanlış kodlanmış veya değerlendirme doğru şekilde yürütülmemiştir. Bir uyuşumsuz değer tespit edilebiliyorsa, analizden silinmeli (veya mümkünse düzeltilmelidir) (Şekil 1). Bazı durumlarda, bir noktanın hatalı veri olup olmadığını belirlemek mümkün olmayabilir. Aykırı değerler rastgele varyasyonlardan kaynaklanabilmekte veya bilimsel olarak anlamsız olabilmektedir.



Şekil 1: MATLAB yazılımında ADAN istasyonuna ait uyuşumsuz ölçülerin zaman serisinden çıkarılması

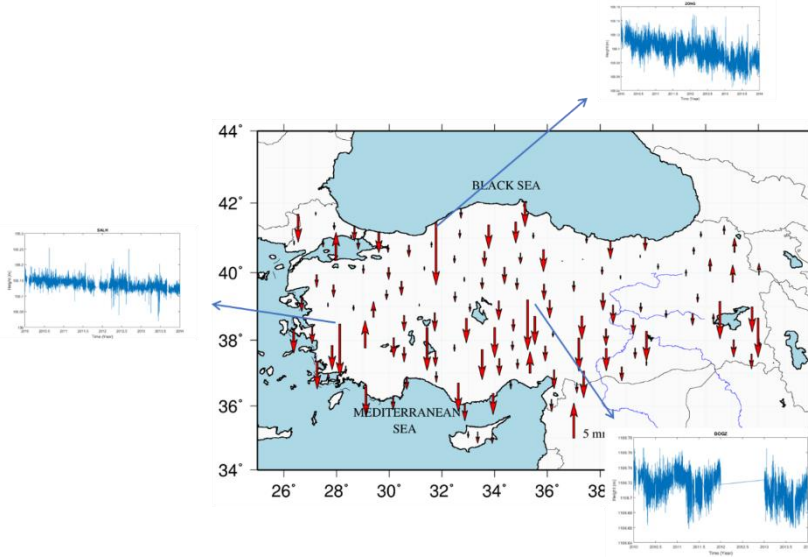
Uyuşumsuz ölçülerin düzeltilmesi ve/veya değerlendirmeden çıkartılması sonucunda, harmonik fonksiyonlardan yararlanılarak GPS ölçümlerinden elde edilen yükseklik zaman serilerinin faz, genlik ve trend değerleri belirlenmiştir (Jin ve diğerleri, 2005).

$$x_i = x_0 + vt_i + \sum_j a_j \sin(2\pi f_j t_i + \phi_j) + \dots + \varepsilon_x(t_i)$$

Formüldeki t zaman (gün), t_0 1 Ocak 2010, a sabit terim, b trend terimi, S_i , p_i , ϕ_i sırasıyla genlik, periyot ve fazdır ($i=1$ yıl ve 0,5 yıl), ve ε_i bilinmeyen hataları içermektedir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak GPS ile hesaplanan yüksekliklerin yıllık ve altı aylık genlikleri, fazları ve trendleri belirlenmiştir (Gürbüz ve Jin, 2017).

3. Bulgular

Değerlendirmede kullanılan CORS-TR istasyonları eş referans istasyonları kullanılarak 7 alt ağı bölünmüş ve değerlendirilmiştir. Sonuçların veri düzenlemesinden sonra sezonsal analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile yıllık ve altı aylık anlamlı sinyaller bulunmuştur (Tablo 2). Her bileşenin hızları hesaplanmış ve görselleştirilmiştir. Şekil 2’de tüm istasyonlara ait düşey hız bileşeni verilmiştir.



Şekil 2: Düşey bileşenlere ait (yükseklik) hız değerleri ve belirli istasyonların zaman serileri

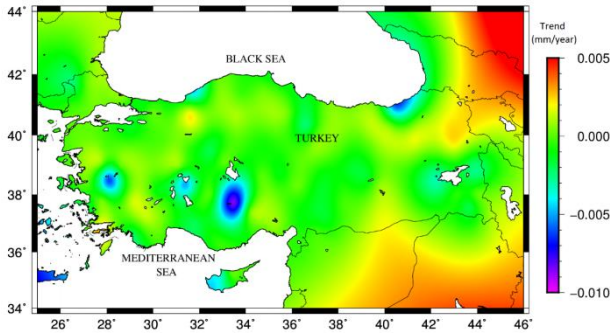
Ancak 6 saatlik koordinatların altı aylık sinyalinin günlük koordinat tahminlerine göre çok fazla gürültüye sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle değerlendirmelerin ikinci aşamasında günlük koordinatlar kullanılmıştır. Örnek olarak, Zonguldak ilinde madencilik faaliyetleri nedeniyle meydana gelen tasman ve Konya ilindeki yeraltı sularının hareketleri nedeniyle oluşan yükseklik parametresindeki azalmalar açıkça belirlenmiştir.

Ek olarak, veriler bir bütün olarak incelendiğinde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) olarak adlandırılan fay hatlarını takip eden bölgelerdeki hızlar arasındaki dalgalanmalar görülebilmektedir (Şekil 3). 6 saatlik koordinatlarda olduğu gibi, günlük koordinatların da her bileşeni (doğu, kuzey, yukarı) için mevsimsel analiz yapılmıştır. Günlük koordinatlarda da, sezonsal davranışlar araştırılmış ve güçlü sezonsal sinyaller görülmüştür (Tablo 2). Her istasyonun zaman serileri uygun şekilde denetlenmiş ve yükseklik bileşeni için sezonsal sinyallere ait zaman serileri

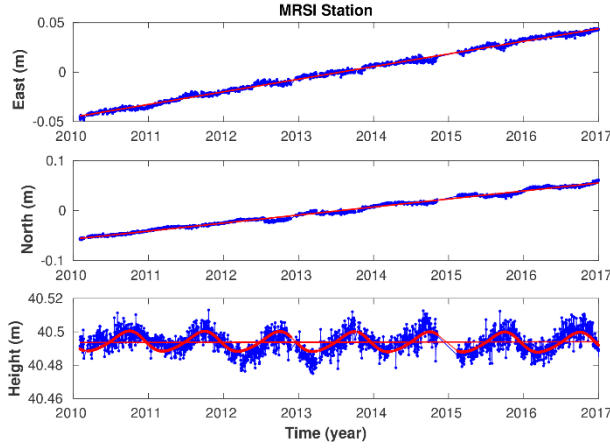
oluşturulmuştur. Örnek olarak MRSI istasyonunun zaman serisi Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 2: Günlük koordinat çözümlerine ait sezonsal analiz örnekleri

İstasyon	Trend (m/yıl)	Yıllık Faz (°)	6 Aylık Faz (°)	Yıllık Genlik (m)	6 Aylık Genlik (m)
ADAN	0.0008	202.432	157.013	0.0048	0.0003
ADİY	-0.0002	215.576	289.413	0.0050	0.0004
AFYN	0.0001	247.114	36.042	0.0030	0.0005
AGRD	0.0022	214.056	165.077	0.0042	0.0008
AKDG	-0.0004	228.837	126.151	0.0043	0.0006
AKHR	-0.0051	198.319	91.340	0.0030	0.0008
AKSI	-0.0020	206.345	93.760	0.0057	0.0007
AKSR	-0.0031	225.962	144.650	0.0028	0.0004
AMAS	0.0002	235.538	70.094	0.0032	0.0006
ANMU	-0.0012	184.629	241.051	0.0034	0.0003
ANRK	-0.0005	180.469	339.362	0.0033	0.0009
ANTE	-0.0014	217.617	282.021	0.0046	0.0006

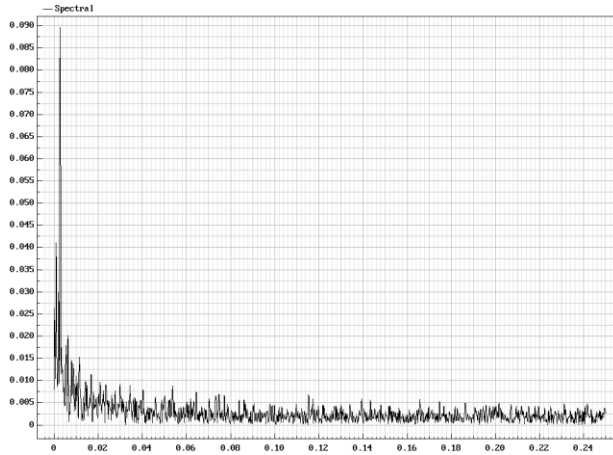


Şekil 3: Düşey bileşenlere ait (yükseklik) trend haritası



Şekil 4: MRSI istasyonundaki günlük koordinatlardan elde edilen koordinat bileşenlerine ait zaman serileri.

Spektral analizde CATS yazılımı kullanılmıştır (Williams, 2008). CATS, zaman serisi verilerinin kolay ve güçlü bir şekilde işlenmesini sağlayan, döngü analizi ve çok değişkenli matematiksel teknikleri içeren bir yazılım paketidir. Zaman serilerinde döngüleri bulmak ve kestirim yapmak için kullanılmıştır. Analiz sonucunda, Fourier analizinde frekans alanında dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Şekil 5'te dikey eksen genişliği, yatay eksen MRSI istasyonunun frekans döngüsünü göstermektedir.



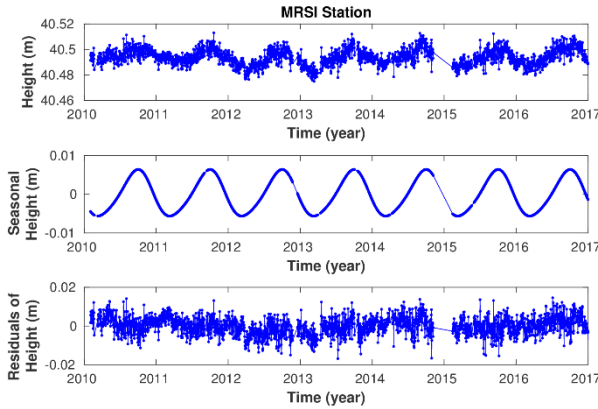
Şekil 5: MRSI istasyonunun yükseklik değerine ait spektral analiz.

Ayrıca Şekil 6'da CATS yazılım çıktılarından biri gösterilmiştir. Her satır, spektrumdan bir döngü periyodu zirvesi gösterir. İlk sütun, tüm veride mevcut olan döngülerin sayısını göstermektedir. İkinci sütun, kullanılan verideki zamansal döngüyü göstermektedir, bu durumda ayları ifade

etmektedir. Kalan sütunlar sırasıyla, sinüs ve kosinüs dalgaları ile korelasyonlardır ve bunların birleşik genlikleri gösterilmiştir. Daha büyük bir genlik, döngünün daha güçlü olduğu anlamına gelir, uzun döngüler genellikle büyük genliğe ve kısa döngüler daha küçük genliğe sahiptir. Son sütun, saf şaştan kaynaklanan döngünün olasılığı olan Bartel istatistiğidir (Bartel, 1932). İşaretlenmiş değerlerin, özellikle son ikisi olmak üzere gerçek döngüler olması muhtemeldir. Yıllık sinyal de Şekil 7'de görülmekte olup, bu yıllar arası sinyali kanıtlamak için, ana sinyalden sezonsal bileşen çıkarılmıştır.

0.490, 5218.36768, 738180.69700870034 , 0.028295, 0.00000000
0.950, 2691.57886, 734173.73286142771 , 0.024030, 0.00000000
2.480, 1031.04834, 734517.53253692074 , 0.041523, 0.15520857
4.480, 570.75891, 734398.36080000084 , 0.011271, 0.96086115
5.550, 460.72073, 734297.01563169702 , 0.030034, 0.58922672
7.100, 360.14084, 734379.95459189080 , 0.090825, 0.00294991
8.670, 294.92502, 734196.50178490183 , 0.017675, 0.69267964
9.740, 262.52567, 734176.68806095747 , 0.012709, 0.74046731
11.260, 227.08702, 734253.62338608620 , 0.008405, 0.90746671
12.370, 206.70978, 734139.57052183233 , 0.004637, 0.93920124
13.790, 185.42422, 734173.94597493089 , 0.018186, 0.38041037
16.200, 157.83951, 734238.20607906638 , 0.020184, 0.35382521
18.140, 140.95921, 734216.22431421292 , 0.002993, 0.95901746
20.300, 125.96059, 734207.35429066245 , 0.014781, 0.33016279
22.430, 113.99910, 734211.58213083504 , 0.013885, 0.36928883
24.500, 104.36735, 734222.56530711940 , 0.009180, 0.53170383
25.770, 99.22390, 734140.39462952863 , 0.011079, 0.42040828
26.950, 94.87941, 734232.06295937102 , 0.009504, 0.51020014
29.280, 87.32923, 734168.24143687671 , 0.015389, 0.05117093
32.760, 78.05251, 734205.02523674769 , 0.002482, 0.94993937
34.280, 74.59160, 734157.43582914746 , 0.006378, 0.51304948
36.550, 69.95896, 734142.89622610540 , 0.009792, 0.13478798

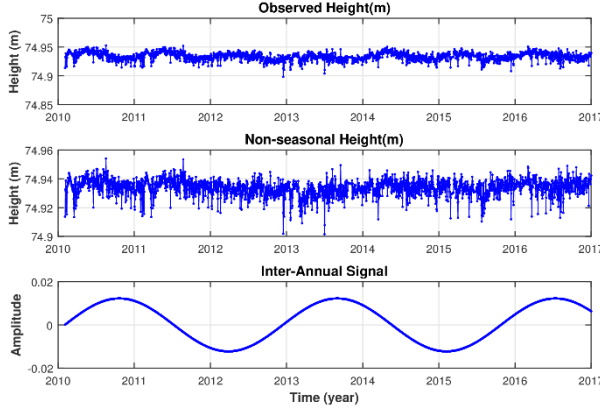
Şekil 6: CATS yazılımının spektral analiz sonuçları



Şekil 7: MRSI istasyonunun sezonsal bileşenleri

Yıllık sinyalin çıkarılmasının ardından verilere Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanmış ve yıllar arası sinyal kendini göstermiştir. Şekil 8'de, MRSI istasyonu için yıllık sinyalin tüm sinyalden çıkarılmış hali gösterilmiştir. Bu, yıllar arası sinyalin doğru olduğu ve ayrıca araştırılması gerektiği anlamına

gelmektedir (Şekil 8). Yıllık sinyal kaldırıldıktan sonra, istasyonlarda güçlü bir yıllar arası sinyal görülmüştür. Bu yıllar arası sinyal, tüm istasyonlarda 2,8-2,9 yıllık döngüden oluşmaktadır. Şekil 8’de ayrıca yükseklik bileşenindeki sezonsal olmayan yıllık sinyali göstermektedir.



Şekil 8: MRSI istasyonuna ait uzun süreli değişimi gösterir sinyal (MATLAB)

4. Sonuçlar

8 yıllık GPS gözlemlerinden 6 saatlik ve günlük koordinatlarla ilgili ön sonuçlar elde edilmiştir. Değerlendirmenin tamamlanmasının ardından veri düzenlemesi yapılmış ve uyuşumsuz ölçü testi uygulanmıştır. Uyuşumsuz ölçü testinin yanı sıra, uzun süreli gözlemlerin olmaması nedeniyle bazı istasyonlara ait veriler değerlendirme dışında tutulmuştur. Ek olarak kullanılan veri aralığında, yıkıcı deprem ve istasyonun antenindeki ve konumlarındaki değişikliklerden etkilenen istasyonlar da değerlendirme dışında tutulmuştur.

GPS sitelerinin mevsimsel davranışları incelenmiş, tüm istasyonlarda güçlü mevsimsel ve yıllar arası sinyaller bulunmuştur. Çoğu istasyon yükseklik bileşenleri için yakın faz değerlerine sahipken, genlikleri 3 - 8 mm arasında değişmektedir. 6 saatlik yükseklik bileşenlerinin dikkatli bir şekilde incelenmesinden sonra, altı aylık sinyallerin çok fazla gürültüye sahip olduğu açıkça görülmüştür. Bu nedenle, daha detaylı araştırmalar için günlük veriler kullanılmıştır. Doğrusal olmayan değişimleri elde etmek için zaman serilerinden sezonsal sinyaller (yıllık ve altı aylık) çıkarılmıştır. Yıllık ve altı aylık bileşenlerin çıkarılmasından sonra, test edilen tüm istasyonlarda güçlü bir yıllar arası sinyal görülmüştür. Gelecekte bu konuda yapılacak çalışmada, bulunan bu yıllar arası sinyalin, sıcaklık, yağış verileri ve iklim değişikliği arasındaki bağlantı araştırılacaktır.

5. Referanslar

- Bartels, J. (1932). Statistical methods for research on diurnal variations. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 37(3), 291-302.
- Blewitt, G., & Lavallée, D. (2002). Effect of annual signals on geodetic velocity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B7), ETG-9.
- Dong, D., Gross, R. S., & Dickey, J. O. (1996). Seasonal variations of the Earth's gravitational field: An analysis of atmospheric pressure, ocean tidal, and surface water excitation. *Geophysical research letters*, 23(7), 725-728.
- Gurbuz, G., Jin, S., & Mekik, C. (2015). Sensing Precipitable Water Vapor (PWV) using GPS in Turkey-Validation and Variations. In *Satellite Positioning-Methods, Models and Applications*. IntechOpen.
- Gokhan, G., & Jin, S. (2016). Evaluation of ocean tide loading effects on GPS-estimated precipitable water vapour in Turkey. *Geodesy and Geodynamics*, 7(1), 32-38.
- Gurbuz, G., & Jin, S. (2017). Long-time variations of precipitable water vapour estimated from GPS, MODIS and radiosonde observations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5170-5180.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., & McCluskey, S. C. (2015). Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.6 (p. 50). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Howind, J., Kutterer, H., & Heck, B. (1999). Impact of temporal correlations on GPS-derived relative point positions. *Journal of Geodesy*, 73(5), 246-258.
- Jin, S., Wang, J., & Park, P. H. (2005). An improvement of GPS height estimations: stochastic modeling. *Earth, planets and space*, 57(4), 253-259.
- Moix, P., Beccaletto, L., Kozur, H. W., Hochard, C., Rosselet, F., & Stampfli, G. M. (2008). A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. *Tectonophysics*, 451(1-4), 7-39.
- Şengör, A. C., Özeren, M. S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A. D., & Kayan, I. (2008). Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth-Science Reviews*, 90(1-2), 1-48.

- Vandam, T. M., Blewitt, G., & Heflin, M. B. (1994). Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System coordinate determinations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B12), 23939-23950.
- WANG, X. Y., ZHU, W. Y., Fu, Y., YOU, X. Z., WANG, Q., CHENG, Z. Y., & REN, J. W. (2002). Present-time crustal deformation in China and its surrounding regions by GPS. *Chinese Journal of Geophysics*, 45(2), 195-208.
- Williams, S. D. (2008). CATS: GPS coordinate time series analysis software. *GPS solutions*, 12(2), 147-153.
- Zhang, Y., Wallace, J. M., & Battisti, D. S. (1997). ENSO-like interdecadal variability: 1900–93. *Journal of climate*, 10(5), 1004-1020.
- Zhang, L. J., Jin, S. G., & Zhang, T. Y. (2012). Seasonal variations of Earth's surface loading deformation estimated from GPS and satellite gravimetry. *J. Geod. Geodyn*, 32(2), 32-38.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 09



**Effects of Ultrasound Technology on Milk Fermentation
(Melike Ciniviz, Gokce Keser, Lutfiye Yilmaz-Ersan, Tulay
Ozcan)**

Effects of Ultrasound Technology on Milk Fermentation

Melike Ciniviz^{1*}, Gokce Keser¹, Lutfiye Yilmaz-Ersan¹, Tulay Ozcan¹

¹*Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Turkey*

**melikeciniviz@uludag.edu.tr*

1. Introduction

With the increase in environmental awareness in the world, the conversion of existing resources to renewable energy sources will increase the maximum efficiency in food safety and also increase the shelf life of foods. For this purpose, the application of new technologies is increasing. By the way today with the change in the dietary habits of consumers, the tendency towards natural and minimally processed foods is extension. Microfiltration (MF), pulsed electric field (PEF), ultrasound (US), ultra high pressure (UHP), high hydrostatic pressure (HHP), high-pressure homogenization (HPH), cross-linking with transglutaminase (TG) enzyme and low-pressure CO₂ injection (Carbonation) have been used as alternative methods (Dhakal et al. 2016; Chávez-Martínez et al. 2020; Munekata et al. 2020).

1.1. Ultrasound Application

Ultrasound (US) expresses cyclic sound waves above 20 kHz frequency that cannot be perceived by the human ear and are divided into two groups according to frequency and intensity; *i*: low-frequency US is used microbial inactivation, freezing, drying, thawing, etc. in food processing (Ciron et al. 2010; Kumar et al. 2014; Charoux et al. 2017) and *ii*: the high-frequency US is used to characterize the composition, structure and particle size of food, among other features (Awad et al. 2012; Martini 2013; Chemat et al. 2017).

US application causes significant physical and chemical changes with cavitation (Figure 1 and 2) (Delalande et al. 2011; Fan et al. 2014). Sonoporation/cellular sonication, the application of US, causes cell membrane openings by microbubble cavitation (Lentacker et al. 2014; Maciulevičius et al. 2016). These microbubbles create a shearing force in the cell membrane, breaking chemical bonds and cell surfaces (permeabilization) with the formation of microfluxes, causing pore formation (Tabatabaie and Mortazavi, 2008; Maciulevičius et al. 2016). It has been suggested that the physical effect of microbubbles for this interaction may increased membrane permeability and cell penetration. It has been reported that low-intensity

sonoporation application can contribute to the development of microorganisms by better transporting the resources that cells can use into the cell and helping the products of metabolism to be removed from the cell more easily (Ojha et al. 2017). This bubble formation increases the shear forces due to the different effects of ultrasound on any matrix in the environment. When these cavitation bubbles burst on the surface of a material, they cause effects such as peeling, abrasion and particle fragmentation (Chemat et al. 2017).

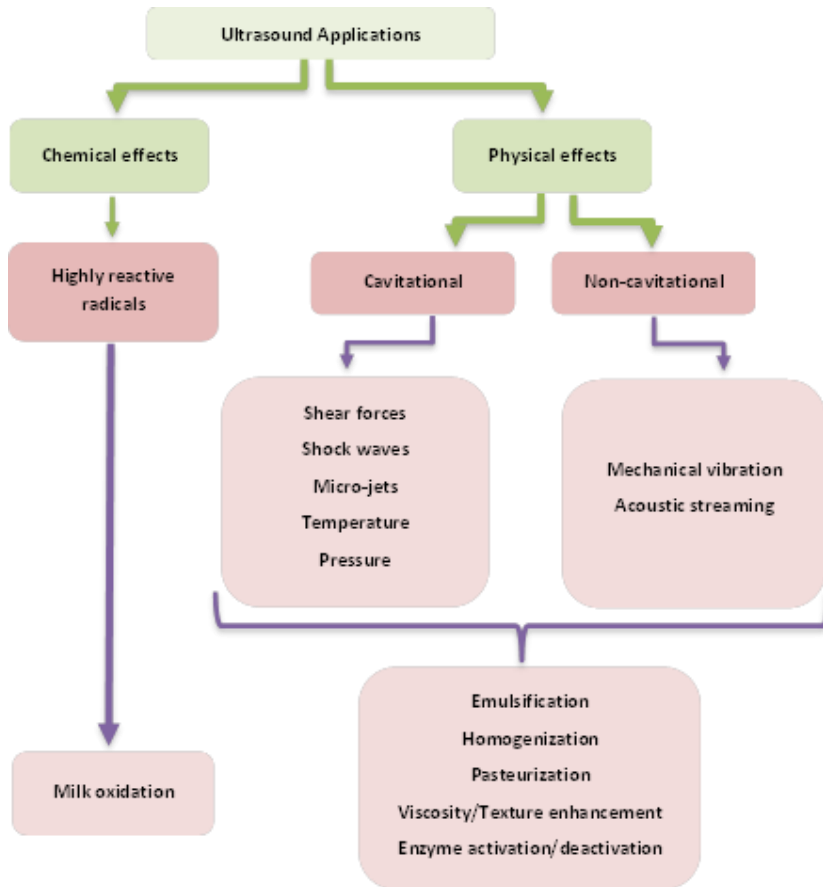


Figure 1: Effects of US application

The US generation system consists of an electrical generator, transducer and emitter sections. The US converts the electrical oscillations it receives from the electric generator into mechanical movements at the same frequency and distributes it to the environment via the emitter (Bermúdez-Aguirre et al. 2011). Ultrasonication devices can be used in different types as US probe and bath. In the US probe type, acoustic energy is transmitted to the sample with

a higher density than the energy density in the US bath. In this type of US, vibrations are transmitted to the sample by attaching a probe to the transducer to amplify the signal and transmit to the sample (Marcela et al. 2018). In laboratory scale applications, probe sonicators are preferred over bath sonicators to achieve higher cavitation density in a small volume. In the use of bath type US, it is transmitted to the sample through the transducers in the container.

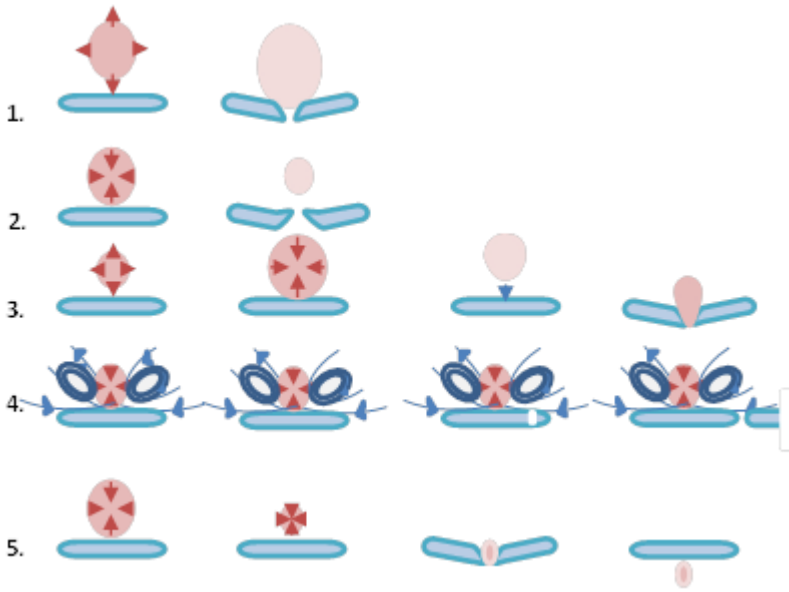


Figure 2: Mechanisms for sonoporation

1. *Push;*

2. *Pull;*

3. *Jetting induced by inertial cavitation;*

4. *Microstreaming;*

5. *Radiation force*

The US energy is transmitted to the sample via transducers and usually used water as a connecting medium (Sancheti and Gogate, 2017). While US waves pass through the medium as a mechanical wave, ultrasound initiates a continuous wave type motion, creating compression (positive pressure) and expansion (negative pressure) motions. With the absorption of acoustic energy, the cavities continue to grow in size until they reach their critical size, then burst inward, releasing the absorbed energy and heating the surrounding space to high temperatures. Besides high temperature and

pressure, shear stress, turbulence and agitation are its distinguishing features throughout the ultrasonic process (Yu et al. 2017). The pressure fluctuations caused by the US energy source in the environment and the formation of micro-bubbles cause cavitation with their growth and collapse. Microscopic collisions of molecules results in high temperature and pressure (Ashokkumar, 2011; Abbas et al. 2013; Huang et al. 2017). Depending on this mechanism, it can induce various mechanisms such as the increase in temperature, surface instability, disruption of cell structure and formation of free radicals (Salazar et al. 2009; Ashokkumar, 2011; Martini, 2013).

HIU (high intensity ultrasound) modify the physical and chemical properties of foods; hence, they might be useful when processing dairy products such as yogurt, cheese, milk, prebiotic beverages, whipped cream, whey protein, butter, ice cream and fermented dairy beverages. It has been stated that the use of US can also increase the fermentation rate in acid gel products by reducing syneresis, improving textural properties and changing the metabolism of lactic acid bacteria (LAB) (Table 1) (Riener et al. 2010; Sfakianakis et al. 2015; Shershenkov and Suchkova, 2015; Chávez-Martínez et al. 2020).

Table 1: US applications in food technology

Application	Mechanism/ Frequencies	Effects
Microorganism inactivation	Cavitation, 20 kHz, high power	Minor changes in physicochemical and nutritional properties Extended shelf life Low energy consumption (Law et al. 2003; Bermúdez-Aguirre and Barbosa-Cánovas, 2008; Cameron et al. 2008; Arroyo et al. 2011; Sengul et al. 2011)
Homogenization	Cavitation, 20 kHz-100 kHz, high power	Decreasing process temperature and time (Wu et al. 2000; Riener et al. 2009)
Creaming	20-100 kHz	Enhancing quality and security (Juliano et al. 2012)
Cutting	Conversion of the mechanical vibration energy into thermal energy, 40 kHz	Rapid process Reducing the pressure of process Independent with temperature (Arnold et al. 2009; Schneider et al. 2009)
Dissolution	Power ultrasound	Reducing the time of process (Yebra et al. 2004)
Viscosity decreasing	Cavitation, 20 kHz, high power	Controlling dairy viscosity Preventing the age thickening (Zisu et al. 2010; 2013)
Fermentation	Low frequencies, high intensity ultrasound	Accelerate the process Better quality products Less undesirable flavour (Nguyen et al. 2009; 2012)
Filtration/fouling prevention	Cavitation, 20 kHz, low power	Higher permeate flux Needing to lower pressures More money saving (Muthukumaran et al. 2005; 2008; Mirzaie and Mohammadi, 2012)
Extraction	Collapsing bubbles micro-	Higher enrichment Better quality (Ashokkumar et al. 2008; Yan et al. 2011)
Monitoring	Analysing of signals, high frequencies and low power	Non-invasive and non-destructive diagnosis Fast and inline tests Non-contact and without manipulation (Elvira et al. 2006; Leemans and Destain, 2009; Lopez et al. 2009; Pallav et al. 2009; Gulseren et al. 2010; Yucel and Coupland, 2010; Richard et al. 2012)

2. Ultrasound Technology in Fermented Dairy Products

Ultrasound in milk and dairy products has been used as a preservation method for microbial and enzymatic inactivation (Villamiel and Jong, 2000), products safety and extended shelf life (Knorr et al. 2004; Patist and Bates, 2008; Balthazar et al. 2019). It is also used for various applications such as homogenization, defoaming, emulsification and improving the functional and technological properties of milk (Ashokkumar et al. 2010). It has been found that shortening the fermentation time reduces rearrangements that cause dissolution of calcium phosphate cross-links in the gel mesh and reduces serum separation by causing smaller pore formation compared to a long fermentation time (Peng et al. 2009). The use of US technology to shorten the fermentation time in the production of fermented dairy products is an important part of the studies (Wu et al. 2001; Shimada et al. 2004; Nguyen et al. 2009; Riener et al. 2010; Barukčić et al. 2015; Sfakianakis et al. 2015). It is one of the alternative methods to improve the structure in milk gelling. Sfakianakis et al. (2014) reported that the use of US showed lower pH decrease rate and lag phase time in yoghurt milk compared to yoghurts produced with homogenized yoghurt milk in the standard method.

It was stated that the fermentation time of the set type yoghurts produced after US application to a mixture of Jersey and Holstein milk (20 kHz, 180 W, 270 W and 450 W, 8 min) decreased by 30 minutes (Wu et al. 2001). Dolatowski et al. (2007) reported that the production time of set yoghurt decreased by approximately 40% with the use of US.

In addition, it was determined that the fermentation time decreased by 11-26% as a result of incubation of skimmed milk (15%, w/v) with *Bifidobacterium* spp. at 37°C sonicated at 20 kHz and for 15 minutes at 100 W (Nguyen et al. 2009). Similarly, it was reported that sweet whey (6%) treated with US (150 s 84 W) reduced the fermentation time by 30 min after the addition of *Lactobacillus acidophilus* (Barukčić et al. 2015). Dahroud et al. (2016) showed in MRS broth that the log phase duration of *Lactobacillus casei* subsp. *casei* increased with 15 seconds and 60% amplitude US application. The application of US at a rate that encourages the development of the cell is an important step. Failure to apply the US at the appropriate intensity may lead to death and disruption of the structure of the cell membrane (Ojha et al. 2017). Lanchun et al. (2003) reported that *Saccharomyces cerevisiae* increased cell growth during the adaptation and logarithmic growth phase with US application.

It is known that the US is also used to increase the efficiency of ultrafiltration in the separation of whey, homogenizing milk and crystallizing lactose (Ashokkumar et al. 2010). The application of sonication to stirred-

type yoghurts during fermentation has been reported to cause agglomeration ($d > 0.9 \text{ mm}$) (Nöbel et al. 2016a; Nöbel et al. 2016b; Körzendörfer et al. 2017). Two mechanisms are considered; *i*: In low pH conditions (<5.4) low zeta potential can increase the formation of new bonds *ii*: Disruption of the casein-serum protein complex, which reveals thiol groups in serum proteins may increase the formation of aggregation (Nöbel et al. 2016b; Körzendörfer et al. 2017). In addition, it has been reported that; the US with low-frequency (20-100 kHz) and high-intensity ($10\text{-}1000 \text{ W/cm}^2$) results in lower investment costs and ease of cleaning compared to conventional homogenization (Erkaya et al. 2015). Wu et al (2001) worked the yoghurts obtained from cow's milk treated with US (20 kHz, 225-450 W for 6-8 min at 15°C) compared to the yoghurts produced by conventional homogenization. They reported a significant increase in water holding capacity. US is used due to the rearrange the molecular structure of food proteins (Shanmugam et al. 2012).

Abadia-Garcia et al. (2016) reported that US-treated milk with plant proteases reduced the hydrolysis time by 95%. In this respect, US facilitates enzymatic hydrolysis which can be used to release bioactive peptides from serum proteins. Uluko et al. (2014) reported that US application to improve the hydrolysis of concentrated milk protein caused an increase in the number of peptides. Generally high incubation temperature, whey protein/casein ratio, low dry matter content and physical intervention in fermented milk products cause syneresis. Sonication has been reported to reduce syneresis by increasing the water holding capacity of yoghurt and fermented beverages. Erkaya et al. (2015) compared thermosonication application ($60\text{-}80^\circ\text{C}$, 35 kHz, 1-5 min) and heat-treated (1 min at 90°C) ayran production and it was stated that thermosonication application reduced syneresis by 31%. Wu et al. (2018) reported an increase in the inhibitory and immunomodulatory activities of serum protein hydrolysates with the use of US as a pretreatment.

It has been found that US application improves decomposition in serum proteins for the production of new bioactive peptides that can be used as a functional component. Ahmadi et al. (2017) found that the application of ultrasonication to serum protein concentrate before transglutaminase treatment partially changed the heat denaturation. Increased hydrophobicity of proteins and degradation of protein aggregates accelerate gelation through hydrophobicity and enhanced protein-protein interactions, resulting in tighter clot formation (Chandrapala et al. 2012; Liu et al. 2014; Leong et al. 2018). Gursoy et al. (2016) used thermosonication application (24 kHz, 100-150 W, 70°C) to cross-link the serum proteins in milk with casein to increase yield and reduce serum separation in yoghurt drinks and thermosonicization

processes can also increase yield of soft cheese (Bermúdez-Aguirre and Barbosa-Cánovas, 2010) and cream cheese (Almanza-Rubio et al. 2016).

Similarly, probiotic whey beverages pasteurized with 19 kHz, 600W US showed a stable structure in whey separation (Guimarães et al. 2019). However, it has been reported that extensive denaturation of proteins and lipolysis during sonication can cause flavour deterioration in milk (Chouliara et al. 2010) and affect textural properties such as spreadability in cream cheeses (Almanza-Rubio et al. 2016).

Temperature is an important parameter in US application. Nguyen and Anema (2017) reported that the application of ultrasonication temperature lower than the denaturation temperature of serum proteins ($<60^{\circ}\text{C}$) results in the formation of the high-hardness gel. In the study of Shen et al. (2017), it was reported that HIU changes the structure of serum proteins and improves their gelling properties. It has been reported that the water holding capacity of the gel is related to the free sulfhydryl (-SH) content in protein isolate (WPI) solutions. It has been reported that the increase in conductivity with US treatment is related to the hydroxyl radicals formed. Researchers in the temperature-US relationship; reported that the temperature of the sample at 23°C increased to $43\text{--}45^{\circ}\text{C}$ after 20 kHz and to $27\text{--}30^{\circ}\text{C}$ after 40-500 kHz. They stated that when the frequency is 20 kHz, it causes more temperature rise than the other two-frequency processes, both because it has high energy and for the probe is in direct contact with the sample during application. Nguyen et al (2010) compared the effect of US application on acid gel formation with high-temperature heat treatment (80°C for 30 min). For this purpose, US was applied to skimmed milk at different times (5-30 min). When the temperature value at which the US application is performed is lower than the temperature value required for serum protein denaturation ($20\text{--}40^{\circ}\text{C}$), the G' (elastic modulus) value of the acid gel is low. It has been reported that the G' value when the temperature during the US application reaches the temperature at which the serum proteins are denatured is similar to the G' value of the acid gel with the heat treatment application.

Jambrak et al. (2008; 2010) investigated the effect of US treatment on pH, conductivity and solubility properties of serum proteins with 3 different frequency values, 20 kHz (probe), 40 kHz (bath) and 500 kHz (bath). It was stated that the US procedure had no effect on the pH of the milk. It was determined that the conductivity increased after the application of the probe system, while it decreased in the bath applications. Jambrak et al. (2008) stated that when the effect of bath and probe systems on the solubility of serum protein suspensions was investigated, the bath system did not change the solubility. In the probe system has increased the resolution. It has been reported that the chemical effects of cavitation in high-intensity US

application do not change the structure of serum proteins and that the physical forces occurring in low-frequency probe systems improve the functional properties of serum proteins.

3. Conclusion

In this article, studies on dairy products produced with US technology have been reviewed. As a result of the studies, it has been proven by the studies that the US technology can be used in many stages from the raw milk material to the final product and that the changes in the product are a desired and significant level. Fermentation is one of the most important stages of dairy products. It has been stated that at this stage, US can be used to stimulate the growth of microorganisms, to improve the texture and sensory properties of the final product, and to prevent serum separation, which is an important quality criterion in fermented products.

4. References

- Abadía-García, L., Castaño-Tostado, E., Ozimek, L., Romero-Gómez, S., Ozuna, C., Amaya-Llano, S. L. (2016). Impact of ultrasound pretreatment on whey protein hydrolysis by vegetable proteases, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 37, 84-90.
- Abbas, S., Hayat, K., Karangwa, E., Bashari, M., Zhang, X. (2013). An overview of ultrasound-assisted food-grade nanoemulsions. *Food Engineering Reviews*, 5, 139-157.
- Ahmadi, Z. Razavi, S. M. A. Varidi, M. (2017). Sequential ultrasound and transglutaminase treatments improve functional, rheological, and textural properties of whey protein concentrate. *Innovative Food Science Emerging Technologies*. 43, 207-215.
- Almanza-Rubio, J. L., Gutiérrez-Méndez, N., Leal-Ramos, M. Y., Sepulveda, D., Salmeron, I. (2016). Modification of the textural and rheological properties of cream cheese using thermosonicated milk. *Journal of Food Engineering*, 168, 223-230.
- Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S., Rohm, H. (2009). Ultrasonic cutting of cheese: composition affects cutting work reduction and energy demand. *International Dairy Journal*, 19, 314-320.
- Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., Condón, S. (2011). Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 446-454.

- Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L., Vilkh, K., Versteeg, C. K. (2008). Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: a preliminary study on a model system. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 9, 155-160.
- Ashokkumar, M., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., Lee, J., Palmer, M., Zisu, B. (2010). The ultrasonic processing of dairy products-An overview. *Dairy Science Technology*, 90, 147-168.
- Ashokkumar, M. (2011). The characterization of acoustic cavitation bubbles - An overview. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 864-872.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410-427.
- Balthazar, C. F., Santillo, A., Guimarães, J. T., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Caroprese, M., Marino, R., Esmerino, E. A. Silva, M. C. Raices, R. S. L. Freitas, M. Q. Cruz, A. G. Albenzio, M. (2019). Ultrasound processing of fresh and frozen semi-skimmed sheep milk and its effects on microbiological and physical-chemical quality. *Ultrasonic Sonochemistry*, 51, 241-248.
- Barukčić, I., Jakopović, K. L., Herceg, Z., Karlović, S., Božanić, R. (2015). Influence of high intensity ultrasound on microbial reduction, physico-chemical characteristics and fermentation of sweet whey. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 94-101.
- Bermúdez-Aguirre, D., Barbosa- Cánovas, G. V. (2010). Processing of Soft Hispanic Cheese (“Queso Fresco”) Using thermo-sonicated milk: A study of physicochemical characteristics and storage life. *Journal of Food Science*, 75, 548-558.
- Bermúdez-Aguirre, D., Barbosa-Cánovas, G. V. (2008). Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermo-sonication. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 9, 176-185.
- Bermúdez-Aguirre, D., Mobbs, T., Barbosa-Cánovas, G. V. (2011). Ultrasound applications in food processing. In H. Feng, G. Barbosa-Canovas and J. Weiss (Eds.), *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, New York, USA: Springer, pp. 65-105.
- Cameron, M., McMaster, L. D., Britz, T. J. (2008). Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonic Sonochemistry*, 15, 960-964.

- Chandrapala, J., Zisu, B., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2012). The effects of high-intensity ultrasound on the structural and functional properties of α -Lactalbumin, β -Lactoglobulin and their mixtures. *Food Research International*, 48, 940-943.
- Charoux, C. M., Ojha, K. S., O'Donnell, C. P., Cardoni, A., Tiwari, B. K. (2017). Applications of airborne ultrasonic technology in the food industry. *Journal of Food Engineering*, 208, 28-36.
- Chávez-Martínez, A., Reyes-Villagrana, R. A., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., Tirado-Gallegos, J. M., Bolívar-Jacobo, N. A. (2020). Low and high-intensity ultrasound in dairy products: Applications and effects on physicochemical and microbiological quality. *Foods*, 9, 1688.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.
- Chouliara, E., Georgogianni, K. G., Kanellopoulou, N., Kontominas, M. G. (2010). Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk. *International Dairy Journal*, 20, 307-313.
- Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., Auty, M. A. E. (2010). Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 20, 314-320.
- Dahroud, B. D., Mokarram, R. R., Khiabani, M. S., Hamishehkar, H., Bialvaei, A. Z., Yousefi, M., Kafil, H. S., (2016). Low intensity ultrasound increases the fermentation efficiency of *Lactobacillus casei* subsp. *casei* ATTC 39392. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 462-467.
- Delalande, A., Kotopoulis, S., Rovers, T., Pichon, C., Postema, M. (2011). Sonoporation at a low mechanical index. *Bubble Science Engineering and Technology*, 3, 3-11.
- Dhakal, S., Giusti, M. M., Balasubramaniam, V. M. (2016). Effect of high pressure processing on dispersive and aggregative properties of almond milk. *Journal of Science and Food Agriculture*, 96, 3821-3830.

- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6, 88-99.
- Elvira, L., Sampedro, L., Montero de Espinosa, F., Matesanz, J., Gómez-Ullate, Y., Resa, P., Echevarría, F., Iglesias, J. (2006). Eight-channel ultrasonic device for non-invasive quality evaluation in packed milk. *Ultrasonics*, 45, 92-99.
- Erkaya, T., Baslar, M., Sengül, M., Ertugay, M. F. (2015). Effect of thermosonication on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of ayran during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 406-412.
- Fan, Z., Kumon, R. E., Deng, C. X., (2014). Mechanisms of microbubble-facilitated sonoporation for drug and gene delivery. *Therapeutic Delivery*, 5, 467-486.
- Guimarães, J. T., Silva, E. K., Ranadheera, C. S., Moraes, J., Raices, R. S. L., Silva, M. C., Ferreira, M. S., Freitas, M. Q., Meireles, M. A. A., Cruz, A. G. (2019). Effect of high-intensity ultrasound on the nutritional profile and volatile compounds of a prebiotic soursoy whey beverage, *Ultrason Sonochemistry*, 55, 157-164.
- Gursoy O., Yilmaz Y., Gokce, O., Ertan, K. (2016). Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28, 235.
- Gulseren, I., M., Alexander, Corredig, M. (2010). Probing the colloidal properties of skim milk using acoustic and electroacoustic spectroscopy. Effect of concentration, heating and acidification, *Journal Colloid Interface Science*, 351, 493-500.
- Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., Xiong, F., He, R., Ma, H., (2017). Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 144-149.
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., Herceg, I. L. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, 86, 281-287.
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Krešić, G. (2010). Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of α -lactalbumin. *Food Science and Technology*, 43, 254-262.

- Juliano, P., Temmel, S., Rout, M., Swiergon, P., Mawson, R., Knoerzer, K. (2012). Creaming enhancement in a liter scale ultrasonic reactor at selected transducer configurations and frequencies, *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 52-62.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D. U. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 261-266.
- Körzendörfer, A., Nöbel, S., Hinrichs, J. (2017). Particle formation induced by sonication during yogurt fermentation-Impact of exopolysaccharide-producing starter cultures on physical properties. *Food Research International*, 97, 170-177.
- Kumar, C., Karim, M. A., Joardder, M. U. (2014). Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, 121, 48-57.
- Lanchun, S., Bochu, W., Zhiming, L., Chuanren, D., Chuanyun, D., Sakanishi, A. (2003). The research into the influence of low-intensity ultrasonic on the growth of *S. cerevisiae*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 30, 43-49.
- Law, K. A., Derrick J. P., Higson, S. P. (2003). Initial investigations into the ultrasonic lysis of microbial cells for the release of adenosine triphosphate. *Analitical Biochemistry*, 317, 266-267.
- Leemans, V., Destain, M. F. (2009). Ultrasonic internal defect detection in cheese. *Journal of Food Engineering*, 90, 333-340.
- Lentacker, I., De Cock, I., Deckers, R., De Smedt, S., Moonen, C. (2014). Understanding ultrasound induced sonoporation: Definitions and underlying mechanisms. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 72, 49-64.
- Leong, T. S. H., Martin, G. J. O., Ashokkumar, M. (2018). Ultrasonic food processing. In A. Proctor (Ed.), *Alternatives to conventional food processing*, Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, pp. 316-354.
- Liu, Z., Juliano, P., Williams, R. P. W., Niere, J., Augustin, M. A. (2014). Ultrasound effects on the assembly of casein micelles in reconstituted skim milk. *Journal of Dairy Research*, 81, 146-155.
- Lopez, A. A., Corredig, M., Alexander, M. (2009). Diffusing wave and ultrasonic spectroscopy of rennet-induced gelation of milk in the presence of high-methoxyl pectin. *Food Biophysics*, 4, 249-259.

- Maciulevičius, M., Tamošiūnas, M., Jakštys, B., Jurkonis, R., Venslauskas, M. S., Šatkauskas, S. (2016). Investigation of microbubble cavitation-induced calcein release from cells in vitro. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 42, 2990-3000.
- Marcela, B. S., Silvana, S., Fabiana, W. R., Renata, S., Lisiane, D. M. T. (2018). Effects of pretreatment ultrasound bath and ultrasonic probe, in osmotic dehydration, in the kinetics of oven drying and the physicochemical properties of beet snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, 13393.
- Martini, S. (2013). An overview of ultrasound. In *sonocrystallization of fats* NewYork, USA: Springer, pp. 7-16.
- Mirzaie, A., Mohammadi, T. (2012). Effect of ultrasonic waves on flux enhancement in microfiltration of milk. *Journal Food Process Engineering*, 108, 77-86.
- Munekata E. P., Domínguez R., Budaraju S., Roselló-Soto E., Barba J. F., Mallikarjunan K., Roohinejad S. and Lorenzo J. M. (2020). Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 4, 288.
- Muthukumaran, S., Kentish, S., Ashokkumar, M., Stevens, G. (2008). Potential uses of ultrasound in the dairy ultrafiltration processes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 3046.
- Muthukumaran, S., Kentish, S., Lalchandani, S., Ashokkumar, M., Mawson, R., Stevens, G. W., Grieser, F. (2005). The optimisation of ultrasonic cleaning procedures for dairy fouled ultrafiltration membranes. *Ultrasonic Sonochemistry*, 12, 29-35.
- Nguyen, T. M. P., Lee, Y. K., Zhou, W. (2009). Stimulating fermentative activities of bifidobacteria in milk by high intensity ultrasound. *International Dairy Journal*, 19, 410-416.
- Nguyen, N. H. A., Anema, S. G. (2010). Effect of ultrasonication on the properties of skim milk used in the formation of acid gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 616-622.
- Nguyen, T.M.P., Lee, Y.K., Zhou, W., (2012). Effect of high intensity ultrasound on carbohydrate metabolism of *Bifidobacteria* in milk fermentation. *Food Chemistry*, 130, 866-874.
- Nguyen, N. H. A., Anema, S. G. (2017). Ultrasonication of reconstituted whole milk and its effect on acid gelation. *Food Chemistry*, 217, 593-601.

- Nöbel, S., Protte, K., Körzendörfer, A., Hitzmann, B., Hinrichs, J. (2016a). Sonication induced particle formation in yogurt: Influence of the dry matter content on the physical properties. *Journal of Food Engineering*, 191, 77-87.
- Nöbel, S., Ross, N.-L., Protte, K., Körzendörfer, A., Hitzmann, B., Hinrichs, J. (2016b). Microgel particle formation in yogurt as influenced by sonication during fermentation. *Journal of Food Engineering*, 180, 29-38.
- Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410-417.
- Pallav, P., Hutchins, D. A., Gan, T. (2009). Air-coupled ultrasonic evaluation of food materials. *Ultrasonics*, 49, 244-253.
- Patist, A., Bates, D. (2008). Ultrasonics innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 9, 147-154.
- Peng, Y., Horne, D. S., Lucey J. A. (2009). Impact of preacidification of milk and fermentation time on the properties of yogurts. *Journal of Dairy Science*, 92, 2977-2990.
- Richard, B., Toubal, M., Le Page, J. F., Nassar, G., Radziszewski, E., Nongaillard, B., Debreyne P., Schuck, P., Jeantet, R., Delaplace, G. (2012). Ultrasound tests in a stirred vessel to evaluate the reconstitution ability of dairy powders, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 16, 233-242.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., Lyng, J. G. (2009). Characterisation of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound. *International Dairy Journal*, 19, 269-272.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., Lyng, J. G. (2010). A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chemistry*, 119, 1108-1113.
- Salazar, J., Chávez, J. A., Turó, A., García-Hernández, M. J. (2009). Effect of ultrasound on food processing. In J. Ahmed, H. S. Ramaswamy, S. Kasapis (Eds.), *Novel Food Processing* Boca Raton, USA: CRC, pp. 65-84.
- Sancheti, S. V., Gogate, P. R. (2017). A review of engineering aspects of intensification of chemical synthesis using ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 527-543.

- Schneider, Y., Zahn, S., Schindler, C., Rohm, H. (2009). Ultrasonic excitation affects friction interactions between food materials and cutting tools. *Ultrasonics*, 49, 588-593.
- Sengul, M., Erkaya, T., Bas, M., Ertugay, M. F. (2011). Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control*, 22, 1803-1806.
- Sfakianakis, P., Topakas, E., Tzia, C. (2014). Comparative study on high-intensity ultrasound and pressure milk homogenization: Effect on the kinetics of yogurt fermentation process. *Food Bioprocess Technology*, 8, 548-557.
- Sfakianakis, P., Topakas, E., Tzia, C. (2015). Comparative study on high-intensity ultrasound and pressure milk homogenization: Effect on the kinetics of yogurt fermentation process. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 548-557.
- Shanmugam, A., Chandrapala, J., Ashokkumar, M. (2012). The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 16, 251-258.
- Shen, X., Zhao, C., Guo, M. (2017). Effects of high intensity ultrasound on acid-induced gelation properties of whey protein gel. *Ultrason Sonochemistry*, 39, 810-815.
- Shershenkov, B., Suchkova, E. (2015). Upgrading the technology of functional dairy products by means of fermentation process ultrasonic intensification. *Agronomy Research*, 13, 1074-1085.
- Shimada, T., Ohdaira, E., Masuzawa, N. (2004). Effect of ultrasonic frequency on lactic acid fermentation promotion by ultrasonic irradiation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 43, 2831.
- Tabatabaie, F., Mortazavi, A. (2008). Studying the effects of ultrasound shock on cell wall permeability and survival of some LAB in milk. *World Applied Sciences Journal*, 3, 119-121.
- Uluko, H., Liu, L., Li, H., Cui, W., Zhang, S., Zhao, L., Xue, H., Lv, J. (2014). Effect of power ultrasound pretreatment on peptidic profiles and angiotensin converting enzyme inhibition of milk protein concentrate hydrolysates: Improving milk protein concentrate hydrolysates functionality using ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2420-2428.

- Villamiel, M., de Jong, P. (2000). Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins, and native enzymes of milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 472-478.
- Wu H., Hulbert, G. J., Mount, J. R. (2000). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 1, 211-218.
- Wu, H., Hulbert, G. J., Mount, J. R. (2001). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1, 211-218.
- Wu, Q., Zhang, X., Jia, J., Kuang, C., Yang, H. (2018). Effect of ultrasonic pretreatment on whey protein hydrolysis by alcalase: Thermodynamic parameters, physicochemical properties and bioactivities. *Process Biochemistry*, 67, 46-54.
- Yan, H., Cheng, X., Liu, B. (2011). Simultaneous determination of six phthalate esters in bottled milks using ultrasound-assisted dispersive liquid-liquid microextraction coupled with gas chromatography. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1, 2507-2512.
- Yebra, M., Moreno-Cid, A., Cespón, R., Cancela, S. (2004). Preparation of a soluble solid sample by a continuous ultrasound assisted dissolution system for the flow-injection atomic absorption spectrometric determination of iron in milk powder and infant formula. *Talanta*, 62, 403-406.
- Yu, H., Seow, Y. X., Ong, P. K., Zhou, W. (2017). Effects of high-intensity ultrasound on Maillard reaction in a model system of d-xylose and l-lysine. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 154-163.
- Yucel, U., Coupland, J. N. (2010). Ultrasonic characterization of lactose dissolution. *Journal of Food Engineering*, 98, 28-33.
- Zisu, B., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2010). Ultrasonic processing of dairy systems in large-scale reactors. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 1075-1081.
- Zisu, B., Schleyer, M., Chandrapala, J. (2013). Application of ultrasound to reduce viscosity and control the rate of age thickening of concentrated skim milk. *International Dairy Journal*, 31, 41-43.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 10



**Ergonomik Risk Analizi: REBA Yöntemi ile Bir Uygulama
(Müfide Narlı, Büşra Harnupdalı)**

Ergonomik Risk Analizi: REBA Yöntemi ile Bir Uygulama

Dr Müfide Narlı¹, Büşra Harnupdalı²

¹ Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Öğretim Görevlisi, E-mail: znarli2000@yahoo.com

² Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Öğrencisi, E-mail: busraharnupdali@gmail.com

Özet

Ergonomik risk analizi çalışan sağlığını korumak, performansını geliştirmek amacıyla çalışanın iş başındaki çalışma duruşlarının değerlendirilmesidir. Çalışan duruşu analizinde mesleki kas ve iskelet rahatsızlıklarına neden olabilecek duruşlar belirlenir ve gerekli önlemlerin alınması amaçlanır. Bu amaçla farklı ergonomik risk analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Uygulanacak yönteme işin özelliklerine göre karar verilmektedir. Bu çalışmada ergonomik analiz yöntemlerinden REBA (Rapid Entire Body Assessment - Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme) yöntemi uygulanmıştır. REBA yöntemi, iş faaliyeti sırasında; dinamik ve sabit hareketler, vücudun tüm kısımları değerlendirilebildiğinden bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu çalışmada vida üretimi yapılan bir fabrikada çalışma duruşlarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Fabrikada son çekim departman faaliyetleri REBA yöntemi ile değerlendirilmiştir. Belirlenen iş sürecindeki her duruş için REBA skor değeri bulunarak REBA skor değeri yüksek olan çalışma duruşlarının iyileştirilmesi amacıyla öneriler sunulmuştur.

1. Giriş

Ergonomi, organizasyon içerisindeki birimler ile bireylerin uyumunu amaçlayan, tüm organizasyonunun verimliliğini ve bireylerin motivasyonunu en üst düzeye çıkarmak ve bunun sürekliliğini sağlamak amacıyla geliştirilen kuram, kural, veri ve metotları benimseyen sistematik bir yöntem ve iş kolu olarak tanımlanmaktadır (Babalık, 2011).

Dolayısı ile ergonomi, iş şartlarının daha iyi hale getirilmesi, verimliliğin artırılması ve güvenliğin en etkin biçimde sağlanmasını amaçlar. Böylece iş yapma zamanının kısaltılması, iş kazaları ve hastalıklarının azaltılması, işgücü kayıplarının azaltılması, çalışma koşullarının uygun hale getirilerek çalışan stresini azalması, motivasyonun yükselmesi sağlanarak verimlilik ve kalitenin artırılması beklenir.

Ergonomik incelemelerde en önemli dinamiklerden bir tanesi duruştur. Duruş, vücut, baş, gövde, kol ve bacakların boşluktaki konfigürasyonu,

hizalanması olarak da tanımlanmaktadır. Duruş, iş faaliyeti sırasında mevcut olan vücut pozisyonudur. Bu pozisyonun nötral olması sağlıklı kabul edilir. Nötral pozisyon eklemlerin, vücudun çalışması sırasında zorlanmadan ve az enerji harcadığı pozisyonudur. Omurga ve eklemlerin sağlığı için bu nötral pozisyonun sağlanması ve korunması gereklidir. Nötral pozisyonun sapmaları kötü duruş olarak adlandırılır ve bu sapmanın büyüklüğüne bağlı olarak yaralanma riski oluşabilir. Çalışma duruşu ise bu tanıma bağlı olarak, vücut, baş, gövde, kol ve bacakların yapılan işe ve işin özelliklerine göre hizalanması şeklinde tanımlanır (Haslegrave, 1994).

Ergonomik faktörler çalışanların performansını ve sağlığını etkileyen önemli risk faktörleridir. Bunlardan biri fiziksel risk faktörlerinden ergonomik risk faktörü olan çalışma duruşudur. Çalışma sırasında duruş, mevcut vücut pozisyonu olup, ergonomik risk analizleri ile incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Çalışma duruşları statik duruş, uygunsuz duruş, tekrarlama, aşırı güç ve sıkışma olarak sınıflandırılabilir (Babalık, 2011).

Çalışma hayatında hatalı çalışma duruşları meslek hastalıklarından kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olabilmektedir. Sabit duruşlar, işin süresi ve sıklığı, vücudun bazı bölgelerinde uygun olmayan duruşlar nedeniyle meydana gelen zorlanmalardan, uygun harekete olanak vermeyen işler ve titreşim gibi uygun olmayan çalışma duruşları iskelet ve kas sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır (Akay, 2003). Kas iskelet sisteminde en fazla tutulan bölgeler bel, boyun, eller, el bilekleri, dirsekler ve omuzlardır. Bunların sebep olduğu başlıca rahatsızlıklar kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) olarak adlandırılır.

KİSR, bel, boyun ve üst ekstremité (el bileği, el, dirsek ve omuz) hastalıkları olarak sınıflandırılmaktadır. KİSR, kaslarda, sinirlerde, tendonlarda, kıkırdakta, bağlarda, birleşme noktalarında ve disklerde (omurga) meydana gelen rahatsızlıklar olarak bilinmektedir. Bu rahatsızlıklara eğilme, doğrulma, tutma, kavrama, bükme ve uzanma gibi vücut hareketleri sebep olabilmektedir. Bu hareketler günlük yaşamda sıradan hareketler bile olsa iş yaşamındaki sürekli tekrarlar, güç gerektiren davranışlar ve hızlı hareketler bu hastalığa sebep olabilmektedirler. İskelet ve kas sistemi sendromları anında gelişen hastalıktan çok, yavaş yavaş gelişen travmalara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Cohen, 1997).

Ergonomik risk analizi ile ilgili literatür incelendiğinde farklı birçok yöntemin geliştirildiği görülmüştür. OWAS (1970) yılında Ovako Çalışma Duruşların Analiz Sistemi (Ovako Working Posture Analyzing System), Snook Tabloları (1991) yılında (Snook Tables), RULA (1993) yılında Hızlı Üst Uzun Değerlendirmesi (Rapid Upper Limb Assessment), SI (1995) yılında Zorlanma İndeksi (The Strain Index), OCRA (1998) yılında Mesleki

Tekrarlamalı Hareketler İndeksi (Occupational Repetitive Actions Index), TD RAM (1999) yılında Kümülatif Travma Rahatsızlığı İndeksi (The Cumulative Trauma Disorder Risk Index), LUBA (2001) yılında Üst Vücut Yüklmesi Analizi (Postural Loading on the Upper Body), REBA rev. (2000) yılında Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (Rapid Entire Body Assessment), QEC rev.(2003) yılında Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi (Quick Exposure Check), MAC (2003) yılında El İle Taşıma Değerlendirme Tabloları (Manual Handling Assessment Charts), ACGIH HAL (2001) yılında El Aktivitesi Düzeyi (Hand Activity Level), ManTRA (2004) yılında (ver. 2.0) El Görevleri için Risk Değerlendirme Aracı (Manual Tasks Risk Assessment Too) yöntemleri ve birçok yöntem geliştirilmiştir (David, 2005)

Bütün ergonomik risk analiz yöntemlerinin temel amacı uygun olmayan çalışma duruşlarının tespit edilerek, bu duruşların çalışanlar için neden olacağı ergonomik risk düzeyini belirleyerek ve riskleri ortadan kaldırmak veya risk seviyelerini kabul edilebilir düzeye çekebilmek için alternatif çözüm önerileri geliştirmektir. Bu amaçla Hignett ve McAtamney (2000) çalışma duruşlarını incelemek üzere bir oluşturdıkları takımla 600 çalışma duruşunu değerlendirdikleri çalışmada REBA yöntemini geliştirmişlerdir. Bu çalışmadan günümüze REBA yöntemi kullanılarak farklı birçok sektörde çalışmalar yapılmıştır. Sağlık sektöründe Kahya (2018) yılında nöroloji yoğun bakım ünitesinde çalışan hemşire ve diğer sağlık personelin hasta bakımı ve taşınması sırasında maruz kaldıkları zorlanmaların REBA yöntemiyle ele almıştır. 15 hemşire gözlemlenerek yapılan 11 işlem tespit edilerek bu işlemlerin REBA skorları bulunmuş ve yüksek risk içeren işlemler için risk seviyelerini kabul edilebilir düzeye çekebilmek için gerekli önlem önerileri geliştirmiştir (Kahya, 2018). Dwyer (2020) çalışmasında robotik cerrahide da Vinci modelini kullanan dört cerrahın çalışma duruşları REBA ve RULA yöntemi ile değerlendirilerek analiz edilmiştir (Dwyer, 2020).

İmalat sektöründe Sağiroğlu (2015) yaptıkları çalışmada, üretim hattındaki 10 adet iş istasyonunu REBA yöntemi ile değerlendirilmiştir (Sağiroğlu, 2015). Atıcı (2015) otomotiv sektöründe kablo üretilen bir işletmede REBA metodu ile değerlendirmeler yapmıştır (Atıcı, 2015). Erginel (2018) mobilya üreten bir işletmede çalışma duruşlarını değerlendirmek amacıyla REBA yöntemi uygulamışlardır (Erginel, 2018). Serratos-Perez (2011) eksantrik millerinin imalatında çalışan duruşlarının ergonomik olarak değerlendirilmesinde REBA yöntemi ile REBA skor değeri yüksek olan duruşlar tespit edilerek bu duruşların iyileştirilmesi için önlemler sunulmuştur (Serratos-Perez, 2015).

Chiasson (2012) ise, farklı sektörlerde 567 görev için 244 iş istasyonu çalışanlarının kas iskelet sistem rahatsızlıklarına neden olan risk faktörlerini analiz etmişlerdir (Chiasson, 2012).

Son yıllarda birçok farklı sektörde REBA metodu hem tek başına hem de diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığı belirlenmiştir. Joshi ve Deshpande (2019) yılında yaptıkları derleme çalışmasında farklı endüstriyel sektörlerde OWAS, RULA ve REBA yöntemlerinin genel özelliklerini özetleyerek bu üç yöntemin göreceli güçleri ve sınırlamalarını önceki çalışmalara bağlı olarak sunmuştur (Joshi ve Deshpande, 2019). Tıp doktorları tarafından teşhis edilen 209 üst vücut kas-iskelet sistemi bozukluğu vakasına dayanarak OWAS, RULA ve REBA yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapmışlardır (Kee, 2021). Sa ve ark. (2006) Odontoloji öğrencilerinde belirlenen 39 çalışma duruşu RULA ve REBA yöntemleriyle değerlendirilerek iki yöntem sonuçları da karşılaştırılarak Rula yönteminin üst ekstremitte faaliyetlerinin değerlendirilmesinde daha etkin bir değerlendirme sağladığı belirtilmiştir (Sa, 2006).

Çalışma duruşunun değerlendirildiği birçok ergonomik risk değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden hangi iş için hangi analiz yönteminin daha doğru sonuç vereceği işin özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. REBA yöntemi, çalışma duruşunun ergonomik risk açısından nümerik olarak tanımlanması ve değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen sistematik bir yaklaşım olması nedeniyle bu çalışmada iş faaliyeti sırasında duruşları analiz etmek amacıyla REBA yöntemi tercih edilmiştir. REBA yöntemi vida üretimi yapan bir fabrikada son çekim faaliyetleri için uygulanmıştır. Bu faaliyetler tellerin haddeden geçişleri, haddeden geçişinin sağlanması, tellerin haddeden geçiş hızının kontrolü ve haddeden çıkan tellerin kontrolü ve sepete indirimi işlemidir. Burada amaç ergonomik risk düzeyi yüksek çalışma duruşlarını tespit ederek, riskleri ortadan kaldırmak veya risk seviyelerini kabul edilebilir düzeye indirebilmek için önlemlerin geliştirilmesidir.

2. Materyal ve Metod

Çalışanların maruz kaldıkları fiziksel zorlanma düzeyleri, gözleme dayalı ergonomik risk analiz yöntemleri kullanılarak belirlenebilir. Bu çalışma müşteri isteklerine özel olarak çeşitli vidaların üretimi hammadde halinden ambalajlı ürüne dönüştürüldüğü bir işletmede tüm iş süreci incelenerek ve son çekim sürecinde çalışanların ergonomik risk analizi yapılmıştır. Öncelikle bu süreçte çalışanların çalışma periyodu boyunca faaliyetlerini belirleyebilmek ve bu faaliyetler sırasında yapılan çalışma duruşlarını tespit edebilmek için departman çalışanları ile görüşmeler yapılarak çalışanların öznel değerlendirmeleri alınmıştır. Ayrıca çalışma süreci video kaydına

alınarak bu kayıtlardan analiz edilecek duruş çeşitleri belirlenirken faydalanılmıştır. Bu duruşların ergonomik olarak risk düzeyinin hesaplanmasında gerekli açı ölçümlerinin yapılabilmesi fotoğraf çekimi yapılarak uygun perspektife sahip olan fotoğraflar seçilerek açıölçer ile gerekli açı ölçümleri yapılmıştır.

Ergonomik risk analizinde kullanılacak yöntem, analizi yapılacak işin özelliğine göre tercih edilmektedir. REBA çalışma esnasında çalışma duruşlarını incelemek amacıyla geliştirilen bir yöntem olup, tüm vücut yükünün değerlendirildiği ergonomik risk analizlerinde tercih edilmektedir (Hignett, 2000). REBA yöntemi, özellikle manuel olarak yapılan işlerde (yükleme, aktarma gibi) oluşabilecek olan tehlikeleri ölçme ve değerlendirme açısından elverişli bir yöntemdir. Ayrıca REBA yöntemi hem durağan hareketler hem de durağan olmayan hareketlerin değerlendirildiği ergonomik risk analizlerinde de kullanılmaktadır. REBA yöntemi beş adımdan oluşmaktadır:

1. Görevin İzlenmesi: REBA yöntemini gerçekleştirebilmek için ilk adımda, çalışanın yaptığı işler incelenir, iş ile ilgili akış belirlenir ve her bir duruş için değerlendirme yapmak için çalışanın vücut hareketlerini gösterecek şekilde farklı açılardan fotoğraflar çekilir. Çalışanın yapmış olduğu faaliyet ve çalışma ortamı ile ilgili veri toplanır.

2. Değerlendirme Yapılacak Duruşun Tercihi: Görevler incelendikten sonra hangi göreve ait duruşun gözden geçirileceğine karar verilir. Bu kararda, en fazla kas gücü gerektiren, en sık ve uzunca süre tekrarı olan, kas iskelet sisteminde maksimum düzeyde yük meydana getirilen vücut pozisyonu (duruş) seçilebilir.

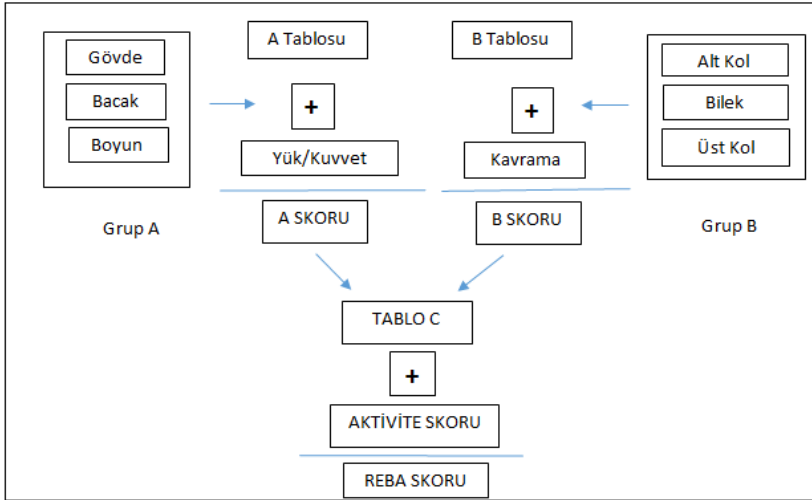
3. Duruşların Puanlanması: Grup A puanlanması, gövde, boyun ve bacak duruşlarının gözden geçirilmesi için yapılır. Grup B puanlaması ise üst kol, ön kol ve bileklerin puanlanmasıdır. Bu işlem, REBA yöntemine özel olarak hazırlanan tablolar kullanılarak yapılır ve sonucunda skor puanı elde edilir.

4. Puanların İşlenmesi: Çalışanın çalışma duruşu şekil 1'deki akışa göre sayısal olarak ifade edilir ve bu işlemlerin sonucunda nihai REBA skor puanı bulunur.

5. Eylem Seviyelerinin Belirlenmesi: Nihai REBA skor puanına göre risk düzeyi belirlenerek risk düzeyine göre önlemlerin geliştirilmesi aşamasıdır.

Görevin izlenmesi ve değerlendirme yapılacak duruş veya duruşlar belirlendikten sonra REBA skor puanının hesaplanması için gerekli işlemler Şekil 1. 'deki akış şemasına göre yapılmaktadır. REBA yöntemi, çalışanın

faaliyet anındayken gövde, boyun, bacak, üst kol, alt kol ve bileklerde oluşan esneme ve gerilme hareketleri ile çalışma anındaki işçinin maruz kaldığı yüke göre değişmekle beraber 1-15 aralığında farklılık gösteren bir skor belirlenmektedir.

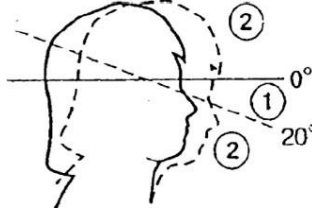


Şekil 1. REBA skoru hesaplama akış şeması (Hignett ve McAtamney, 2000)

A skorunun hesaplanmasında öncelikle çalışanın faaliyet anındaki boyun, gövde ve bacak duruşu incelenir, harekete ve yaptığı açığa göre puan verilmektedir. Belirlenen boyun, gövde ve bacak puanlarının A tablosunda kesişimi alınarak A puanı belirlenmektedir. A tablosundan belirlenen A puanı ile çalışanın faaliyet anında taşıdığı yük ve maruz kaldığı kuvvete göre verilen puanlar toplanarak nihai A skoru elde edilmektedir.

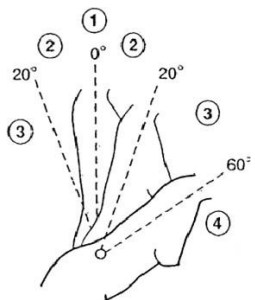
Tablo 1.'de belirtildiği üzere boyun için değerlendirme yapılırken fleksiyon (eğilme) hareketi 0°-20° aralığında ise yapılmışsa 1 puan, fleksiyon ve ekstansiyon (gerilme) hareketlerinin 20° ve fazlası olması halinde 2 puan, boyun sağa ya da sola doğru fleksiyon ve ekstansiyon hareketi yapılmışsa ek olarak 1 puan daha, boyunda dönme hareketi yapılmışsa 1 puan verilmektedir.

Tablo1. REBA yöntemi grup A Boyun duruş puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0° - 20° Fleksiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
>20° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		

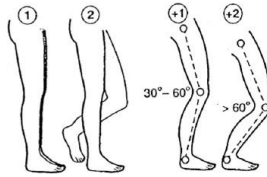
Tablo 2’de belirtildiği üzere gövde için değerlendirme yapılırken 0° yani dik duruş hareketi söz konusuysa 1 puan, 0°-20° aralığındaki eğilme hareketi ve 0°-20° aralığındaki gerilme hareketi için 2 puan, 20°-60° fleksiyon hareketi ve gerilme hareketinin en az 20° olduğu duruşlar için 3 puan, fleksiyon hareketinin en az 60° olduğu duruşlar için 4 puan verilmelidir. Çalışanın sağa veya sola dönüş hareketi yapması durumunda ek olarak 1 puan, gövdede yana esneme veya dönme varsa 1 puan daha eklenmelidir.

Tablo 2. REBA yöntemi grup A gövde duruş puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Dik	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
0° - 20° Fleksiyon 0° - 20° Ekstansiyon	2		
20° - 60° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	3		
>60° Fleksiyon	4		

Tablo 3.’de belirtildiği üzere bacaklar için değerlendirme yapılırken ağırlıkların nasıl taşındığına dikkat edilmektedir. Çalışan, ağırlıkları bilateral yani iki bacak üzerinde ve yürüme ya da oturma pozisyonunda çalışıyorsa 1 puan verilir. Çalışan, ağırlıkları unilateral yani tek bacak üzerinde taşıyorsa ve çalışan için güven açısından risk oluşturuyorsa 2 puan verilmelidir. Dizlerde 30°-60° aralığında ekstansiyon olması durumunda 1 puan, çalışan ayakta iken dizlerde en az 60° ekstansiyon olması durumunda 2 puan eklenmelidir.

Tablo 3. REBA yöntemi grup A bacak duruş puanlaması(Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Bilateral (iki taraflı) ağırlık taşıma, yürüme veya oturma	1	Diz(ler)de 30° - 60° arası fleksiyon +1	
Unilateral (tek taraflı) ağırlık taşıma veya sabit olmayan duruş	2	Diz(ler)de >60° fleksiyon (oturma hariç) +2	

Boyun, gövde ve bacaklar için puanlama yapıldıktan sonra tablo 4'te grup A vücut bölümleri (A tablosu) puanlanması yapılmaktadır.

Tablo 4. REBA yöntemi grup A vücut bölümleri puanlanması (Hignett ve McAtamney, 2000)

		Boyun											
		1				2				3			
		Bacaklar				Bacaklar				Bacaklar			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gövde	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Elde edilen A tablosu skoruna tablo 5'te belirtilen kuvvet/yük puanları ve ek olarak açıklanan özel durumlara ek olarak eklenmesi gereken puanlar eklenir. Böylece nihai A skor puanı belirlenmektedir.

Tablo 5. REBA yöntemi yük/kuvvet puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Yük / Kuvvet	Skor
< 5 kg	0
5 – 10 kg	1
> 10 kg	2
Ani veya hızlı kuvvet artışı (Titreşim, şok etkisi varsa veya seri bir şekilde güç kullanımı yapılmışsa +1 eklenir.)	+1

A skorunun belirlenmesinde uygulanan adımların benzeri B skorunu belirlemek için de uygulanır B puanının hesaplanmasında öncelikle çalışanın faaliyet anındaki üst kol, alt kol ve bilek duruşu incelenir, harekete ve yaptığı açığa göre puan verilmektedir. Daha sonra belirlenen üst kol, alt kol ve bilek puanlarının B tablosunda kesişimi alınarak B tablo puanı belirlenir. Son olarak da B tablosundan belirlenen B tablo puanı ile çalışanın faaliyet anında parçayı kavrama-tutma hareketine göre verilen puanlar toplanarak nihai B skoru elde edilmektedir.

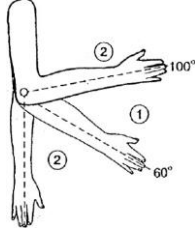
Tablo 6’da belirtildiği üzere üst kol değerlendirme yapılırken fleksiyon ve gerilme hareketlerine göre incelemeler yapılır. 0°-20°, 20°-45°, 45°-90° sınırları için belli puanlar atanmaktadır. 0°-20° aralığında üst kolda oluşan fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri için 1 puan, 20°-45° aralığında üst kolda oluşan fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri için ve üst kolda yapılan gerilme hareketi 20°’den büyük ise 2 puan, 45°-90° aralığında üst kolda oluşan fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri 3 puan, 90° ve üstü için 4 puan verilmektedir. Kolda, dönme ya da sağa veya sola doğru gövdeden uzaklaşma hareketi yapılmışsa ek olarak 1 puan verilir. Omuz yukarı doğru hareket etmişse 1 puan daha verilir, faaliyet yerçekimi yardımıyla yapılmışsa 1 puan azaltılmalıdır.

Tablo 6. REBA yöntemi grup B puanlaması üst kol duruş puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
20° Fleksiyon - 20° Ekstansiyon	1	Kolda abdüksiyon veya rotasyon varsa +1 Omuz yükselmişse +1 Kolun duruşunda yerçekimi desteği varsa -1	
20° - 45° Fleksiyon	2		
>20° Ekstansiyon			
45° - 90° Fleksiyon	3		
>90° Fleksiyon	4		

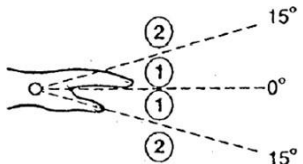
Tablo 7’de belirtildiği üzere alt kol değerlendirme yapılırken sınırlar alt kolda 60°-100° aralığında ekstansiyon olması durumunda 1 puan, alt kolda yapılan gerilme hareketinin 100°’den fazla olması durumunda ve alt kolda yapılan fleksiyon hareketinin 60°’den küçük olması durumunda 2 puan verilmektedir.

Tablo 7. REBA yöntemi grup B puanlaması alt kol duruş puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	
60° - 100° Fleksiyon	1	
<60° Fleksiyon veya >100° Ekstansiyon	2	

Tablo 8’de belirtildiği üzere bilekte yapılan gerilme ve esneme hareketlerinin 15°’den daha küçük olması halinde 1 puan, bilekte yapılan gerilme ve esneme hareketlerinin 15°’den daha büyük olması halinde 2 puan verilmektedir. Bilekte dönme hareketi yapılması durumunda ve bilekte sağa veya sola doğru ekstansiyon hareketi yapılması durumunda ek olarak 1 puan verilmektedir.

Tablo 8. REBA yöntemi grup B puanlaması bilek duruş puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0° - 15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	1	Yana dönme veya esneme varsa +1	
>15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		

Üst kol, alt kol ve bilekler için puanlama yapıldıktan sonra tablo 9’da gösterilen B tablosu ile yapılan puanlamaların sayısal karşılıkları belirtilmektedir.

Tablo 9. REBA yöntemi grup B vücut bölümleri puanlanması (B tablosu)
(Hignett ve McAtamney, 2000)

		Alt Kol					
		1			2		
		Bilek			Bilek		
		1	2	3	1	2	3
Üst Kol	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Elde edilen B tablo puanına tablo 10’da belirtilen tutma/kavrama puanları ve ek olarak açıklanan durumlara özel olarak eklenmesi gereken puanlar eklenir. Böylece nihai B skor puanı belirlenmektedir.

Tablo 10. REBA yöntemi tutma/kavrama puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Derece	Açıklama	Skor
İyi	İyi bir tutuş ve orta şiddette kavrama gücü	0
Uygun	Tutuş iyi ama olması gerektiği gibi değil, bedenin diğer bölgelerinden yardım alınıyor.	1
Kötü	Tutuşu iyi değil ancak tolerans gösterilebilir	2
Uygun değil	Tutuş zor ve ideal biçimde değil, elle tutmak veya bedenin diğer bölgelerinden yardım alınmıyor.	3

Nihai A skor puanı ile B skor puanı, tablo 11’de verilen değerlerle eşleştirilerek C puanı belirlenmektedir.

Tablo 11. REBA yöntemi C skoru puanlaması (Hignett ve McAtamney, 2000)

		B SKORU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A SKORU	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tablo 11’de yapılan eşleştirme sonucu elde edilen C puanına tablo 12’de belirtilen faaliyet (aktivite) skoru eklenir nihai REBA skoru elde edilmektedir.

Tablo12. REBA yöntemi faaliyet (aktivite) puanlarının gösterilmesi (Hignett ve McAtamney, 2000)

Faaliyet (Aktivite)	Skor
Bir veya daha fazla vücut bölgesi sabit (1 dakikadan uzun süre tutma)	+1
Kısa aralıklarla tekrar eden işler (1 dakikada 4 kereden fazla tekrar eden iş – yürüme hariç)	+1
Yapılan iş duruşta hızlı ve büyük değişikliğe neden oluyorsa veya sabit olmayan zeminde çalışılıyorsa	+1

REBA skor değeri Tablo 13’de ergonomik risk düzeyi bakımından derecelendirilerek eylem durumu belirlenmektedir.

Tablo 13. REBA yöntemi risk eylem düzeyleri (Hignett ve McAtamney, 2000)

	REBA Skoru	Risk Düzeyi	Eylem Durumu
0	1	İhmal Edilebilir	İhmal edilebilir
1	2-3	Düşük	Değişim gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Orta düzeyde risk. nedeni araştırmaya başlamalısın.
3	8-10	Yüksek	Yüksek düzeyde risk. Farklılıkları uygulamalısın.
4	11-15	Çok Yüksek	Çok yüksek düzeyde risk. Hemen değişiklik yapmalısın.

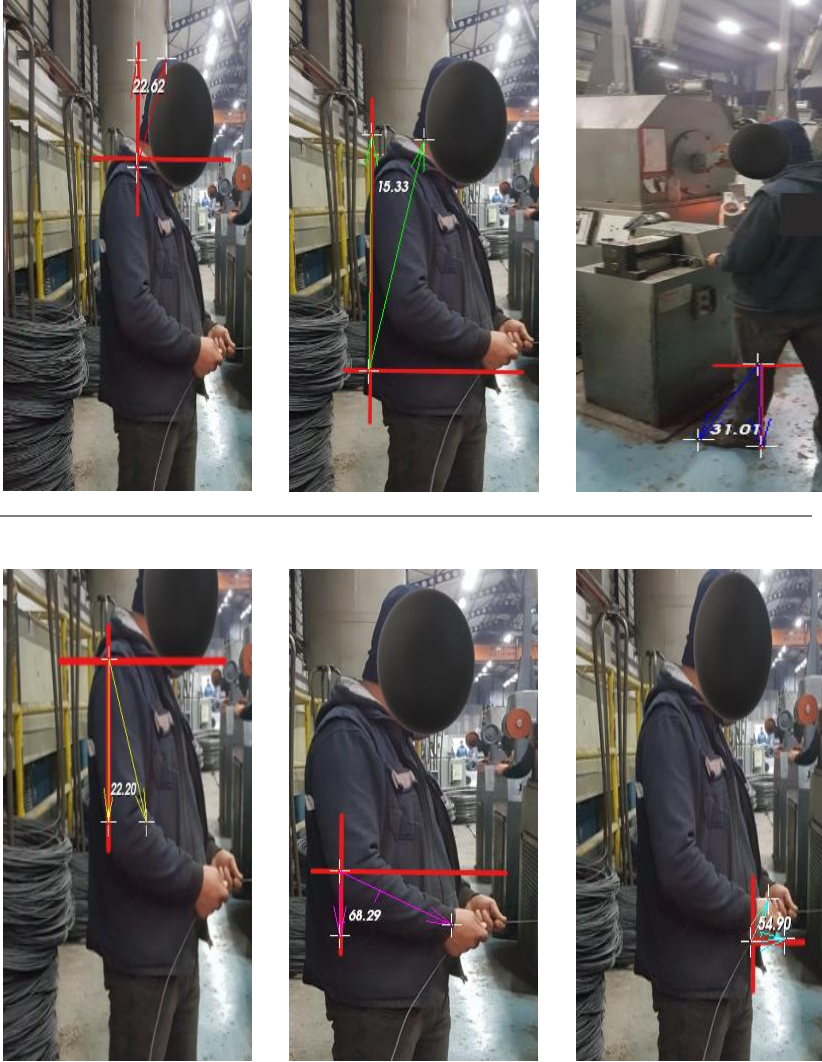
3. Uygulama

İncelenen firma 20.000 m^2 üretim alanına sahip yıllık 25.000 ton üretim kapasitesi ile vida çeşitleri ve ISO standartlarına uygun ve müşteri isteklerine özel olarak üretilen vida çeşitlerinin üretimini yapan ISO 9001 kalite yönetim sistemi ISO 14001 çevre yönetim sistemi entegrasyonu ile çalışmaktadır. Bütün ürünler ilk madde halinden ambalajlı ürün haline kadar gerçekleşen bütün işlemler firma bünyesinde yapılmaktadır. 35 kişilik mühendis ekibi 325 çalışanı ile 1.500 çeşit ürün kapasitesine sahip olan firmada ar-ge ve ür-ge üretim süreçleri kaliteli hizmet anlayışı benimsenmiştir.

Bu işletmede son çekim faaliyetinde çalışanların ergonomik risk analizi için öncelikle günlük faaliyetler gözlemlenerek için her bir faaliyet için çalışma duruşları belirlenmiştir. Son çekim sürecinde çalışanın üç farklı çalışma duruşu belirlenerek bu üç duruş için ayrı REBA skorları bulunarak risk düzeyleri belirlenmiştir.

- a) Birinci çalışma duruşu, tellerin haddeden geçişinin sağlanması
- b) İkinci çalışma duruşu, tellerin haddeden geçiş hızının kontrolü
- c) Üçüncü çalışma duruş ise, çıkan tellerin kontrolü sağlanması faaliyetinde gerçekleştirilmektedir.

a) Tellerin haddeden geçişinin sağlanması faaliyeti tellerin istenilen boyutta olması amacıyla yapılan bir işlemdir. Bu faaliyette çalışan istenilen ölçüye göre haddeyi ayarlayarak tellerin bu haddeden geçmesini sağlar. Bu faaliyet sırasında çalışanın şekil 2’de grup A (boyun, gövde ve bacak) ve grup B (üst kol, alt kol ve bilek) duruşları ve açı ölçümleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Birinci duruş için grup A vücut bölümleri (boyun, gövde ve bacak) ve grup B vücut bölümleri (üst kol, alt kol ve bilek) duruş ve açı ölçüm gösterimi

Birinci duruş için REBA skor değeri 7 bulunmuştur. Bu skor değerinin risk düzeyi 2 puan yani orta düzeyde risk olduğu belirlenmiş ve bu sonuçla ilgili hesaplamalar tablo 14'te verilmiştir. Birinci duruşun ergonomik anlamda iyileştirilmesi için işin yapıldığı yerde telin haddeden geçişi sırasında kullanılan makine yüksekliğinin çalışana göre kısa olduğu tespit edilmiştir. Bu durum çalışanın, telin haddeden geçişi işlemini yaparken boyun ve gövdesini öne doğru eğmesine neden olmakta bu durumda skor değerinin artmasına neden olmaktadır. Bu duruşun iyileştirilmesi için

öncelikle makine yüksekliği değişmediğinden çalışan baoyunun uygun yükseklikte olması için basamak veya platform kullanılması önerilmektedir.

Telin hassas oluşundan dolayı makine ile çalışan arasında belli bir mesafe olması gerekmektedir. Bu nedenle tellerin makineden kusursuz bir şekilde geçebilmesi için çalışan, bir bacağını geride tutarak diğer bacağının açısını arttırmaktadır. Bu işlemi telleri makine boyuna eşit olacak şekilde düz silindirik bir boruya düzgünce yerleştirdiğimizde çalışanın boyun ve gövde duruşunda iyileşme sağlanacaktır.

b) İkinci faaliyette haddeden geçirilen tellerin hızı aynı ve sabit olmayıp amaç tellerin istenilen ölçüde ve bozulmadan işin tamamlanmasıdır. Bu faaliyet sırasında çalışanın şekil 3'te grup A (boyun, gövde ve bacak) duruşları ve grup B (üst kol, alt kol ve bilek) duruşları ve açı ölçümleri gösterilmiştir.

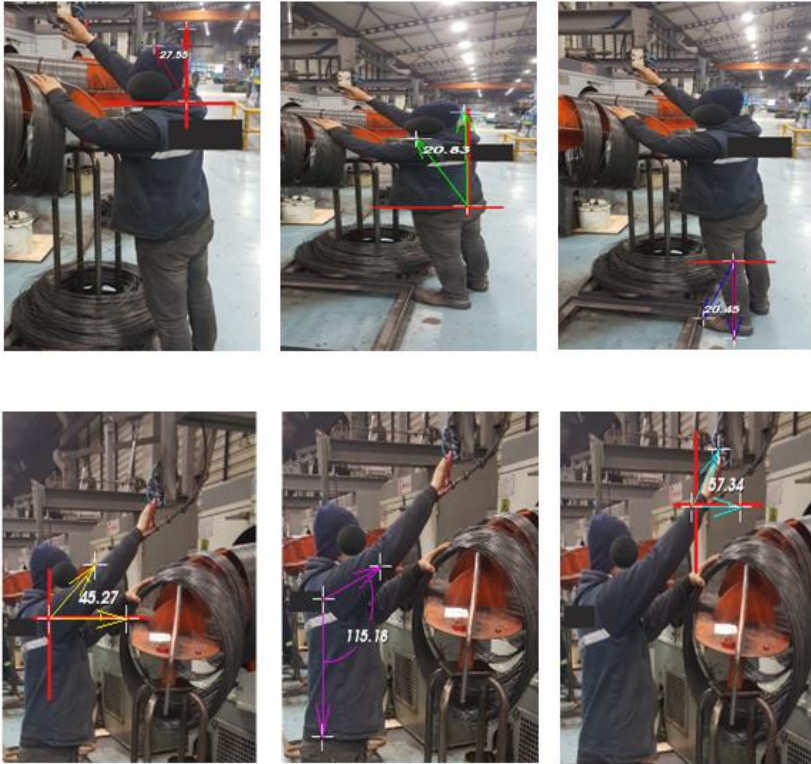


Şekil 3. İkinci duruş için grup A vücut bölümleri (boyun, gövde ve bacak) ve grup B vücut bölümleri (üst kol, alt kol ve bilek) duruş ve açı ölçüm gösterimi

İkinci duruş için yapılan işlemler tablo 14'te verildiği gibi REBA skoru 7 puan olarak bulunmuş buna karşılık gelen risk düzeyi orta düzey risk olarak

tanımlanmıştır. Orta düzey risk büyük zarara neden olmasa bile iyileştirme yapılmadığı sürece zaman içerisinde riskin artacağı daha büyük zararlar neden olabileceği bilinmektedir (Babalık, 2011). İkinci durumda faaliyet sırasında çalışan ile makine boyu arasında orantısızlık olması nedeniyle çalışan öne doğru eğilmektedir. Bu durumun zaman içerisinde çalışanın kas iskelet sisteminde rahatsızlıklara sebep olabilecektir. Bu durumun iyileştirilmesi amacıyla çalışanın makine boyuna eşit olmasını sağlayacak bir basamak yerleştirilmesi önlem olarak önerilerek gerekli düzenlemelerin yapılması ve sonuçlarının tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir.

d) Üçüncü duruş haddeden çıkan tellerin kontrolü ve sepete indirimi faaliyetindeki duruştur. Bu faaliyette çalışan ürünün deformasyona uğrayıp uğramadığına, hadde kayması olup olmadığına bakarak haddeden çıkan telleri tutamak yardımıyla sepete indirilmesini sağlamaktır. Üçüncü duruş için Şekil 4’de grup A (boyun, gövde ve bacak) ve grup B (üst kol, alt kol ve bilek) duruş ve açı ölçümleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Üçüncü duruş için grup A vücut bölümleri (boyun, gövde ve bacak) ve grup B vücut bölümleri (üst kol, alt kol ve bilek) duruş ve açı gösterimi verilmiştir.

REBA skoru 11 olarak belirlenerek risk düzeyi 4 olup, çok yüksek düzeyde risk olarak bulunmuş ve tüm sonuçlar tablo 14’ te verilmiştir. İşin yapılması sırasında değerlendirilen tellerin haddeden çıkışı ve sepete indirimi işlemi çok yüksek düzeyde risk çıkması fabrikanın bu risk değeri ile ilgili derhal iyileştirme yapmasını gerektirir. Bu işlem sırasında çalışma duruşu REBA skor değerini arttıran durum çalışanın yukarı doğru uzanması nedeni ile gövdesini öne doğru hareket ettirmesinden kaynaklanmaktadır. Bu işlem sırasında çalışanın sürekli olarak yukarıya doğru uzanmasının önlenmesi risk skor değerini azaltacaktır. Bu amaçla alınacak önlemler çalışma duruş ergonomisinin iyileşmesine katkı sağlayacaktır. Çalışan bu işlemi yaparken makine boyuna eşit olacak şekilde bir basamak yerleştirilmesi önerilebilir. Aşağıda tablo 14’te faaliyet sürecindeki üç çalışma duruşunun REBA puanlama değerleri verilmiştir.

Tablo 14. Üç çalışma duruşunun REBA yöntemi ile değerlendirilmesi

	Birinci Duruş	İkinci Duruş	Üçüncü Duruş
Boyun	2	2	3
Gövde	2	3	4
Bacak	2	1	1
TabloA	4	4	6
Yük/ Kuvvet	1	1	1
Askoru	5	5	7
Üst Kol	2	3	3
Alt Kol	1	1	2
Bilek	3	2	2
Tablo B	3	4	5
Kavrama	1	0	1
B Skoru	4	4	6
C Skoru	5	5	9
Faaliyet Skoru	2	2	2
REBA Skoru	7	7	11
REBA Risk Düzeyi	2 (Orta Risk Düzeyi)	2 (Orta Risk Düzeyi)	4 (Çok Yüksek Risk Düzeyi)

4. Sonuçlar

Çalışma alanlarında çalışanların sağlığı ve güvenliği ne kadar iyi olursa verimlilik o derece iyi olmaktadır. Bu nedenle işverenlerin, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kapsamında yapılması gereken bütün faaliyetleri yapması, çalışma alanında risk taşıyan durumlar için tedbirler geliştirip uygulanması beklenmektedir. Çalışma ortamının vücut ergonomisini destekleyecek şekilde düzenlenmesi çalışan sağlığı ve motivasyonu ile yakından ilişkilidir. REBA yöntemi, çalışanların duruşlarını, malzemelere uyguladıkları kuvvet/yük derecelendirmesini, çalışanların malzemeyi kavrama-tutma yeteneklerine belli tablolar yardımıyla sayısal değerler atayan

ve bu değer sonucunda risk düzeyini belirleyip alınması gereken tedbirleri açıklayan bir yöntemdir.

Bu çalışma vida üretimi yapan bir fabrikada belirlenen faaliyet için REBA yöntemi ile çalışma duruşları ergonomik risk açısından değerlendirilmiştir. Öncelikle belirlenen iş faaliyetinde süreç incelenerek analizi yapılacak çalışma duruşları belirlenmiştir. Belirlenen üç çalışma duruşunun REBA analizi yapılmıştır. Elde edilen REBA skor değerine göre risk düzeyleri bulunarak iyileştirme yapılması gereken duruşlar yorumlanarak önlemler önerilmiştir.

5. Kaynakça

- [1] Babalık, F.C., (2011). Mühendisler için Ergonomi İşbilim, Dora Basım-Yayın- Dağıtım
- [2] Haslegrave, C.M, “What do we mean by a working posture?”, *Ergonomics*, 37(4), 781-799, 1994.
- [3] Akay, D., Dağdeviren, M., Kurt, M., 2003. Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Gazi Üni. Müh.- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84.
- [4] Cohen, A.L., Gjessing, C.C., Fine, L.J., Bernard, B.P., McGlothlin, J.D., *Elements of Ergonomics (A Primer Based on Workplace Evaluations of Musculoskeletal Disorders)*, NIOSH, March 1997, USA
- [5] David, C.G., 2005, “Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders”, *Occupational Medicine*, 55: 190-199, (2005)
- [6] Kahya, E., Gülbandılar, S., & Gürleyen, E. (2018). Nöroloji Yoğun Bakım Ünitesinde Çalışan Hemşirelerin Maruz Kaldığı Fiziksel Zorlanmaların Analizi.
- [7] Dwyer A., Huckleby J., Kabbani M., Delano A., De Sutter M., Crawford D., Ergonomic assessment of robotic general surgeons: a pilot study, *Journal of Robotic Surgery*, 14, 387-392, 2020.
- [8] Sağiroğlu H., Coşkun M.B., Erginel N., REBA ile Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 339- 345, 2015.
- [9] Atıcı H., Gönen D., Oral A., Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 239-244, 2015.

- [10] Erginel N., Toptancı Ş., Acar İ., Bulanık REBA ile Bir Mobilya İmalat Firmasında Ergonomik Risk Değerlendirmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(0), 92-101, (2018).
- [11] Serratos-Perez J.N., Hernandez-Arellano J.L., Negrete-Garcia M.C., Task Analysis and Ergonomic Evaluation in Camshaft Production Operations, Procedia Manuf., 3, 4244-4251, 2015.
- [12] Chiasson, M. E., Imbeau, D., Aubry, K. ve Delisle, A., 2012, Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. International Journal of Industrial Ergonomics, 42 (5), 478-488.
- [13] Joshi M. ve Deshpande V, A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques, Int. J. Ind. Ergon., 74, 2019.
- [14] Kee, D. Comparison of OWAS, RULA and REBA for assessing potential work-related musculoskeletal disorders. Int. J. Ind. Ergon. 2021, 83, 103140.
- [15] Sa F., Nascimento M.A., Melo A.C., Santos J.C., Adissi P.J., Comparison Of Methods Rula and Reba for Evaluation of Postural Stress in Odontological Services, 3rd International Conference on Production ResearchAmericas' Region, 2006.
- [16] Hignett, S., Mcatamney, L., 2000. Rapidentire Body Assessment (Reba). Applied Ergonomics, 31 (2), 201-205.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 11



**Görüntülerin Değişken Boyutlu Temel Tanım ve Yapı Blok
Bankaları ile Modellenmesi
(Murat Gezer)**

Görüntülerin Değişken Boyutlu Temel Tanım ve Yapı Blok Bankaları ile Modellenmesi

Murat Gezer

*İstanbul Üniversitesi Enformatik Bölümü,
E-mail: murat.gezer@gmail.com*

1. Giriş

Her geçen gün artan görüntü miktarını depolamak ve aktarım sağlamak için yeni metotlar geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Görüntü sıkıştırması bize bu gereksinimleri azaltmak için kullandığımız bir veri sıkıştırma uygulamasıdır. Buradaki amaç bir görüntü verisinin orijinal veriden daha az yer kaplamasını sağlayan matematiksel bağıntıların bulunmasıdır. Günümüzde en yaygın kullanılan sıkıştırma algoritmaları olan JPEG ve JPEG 2000 bir dönüşüm kodlaması tekniği (Goyal, 2001) (Aksan ve Doğan, 2004) olarak iyi sıkıştırma oranları vermektedir. Görüntü sıkıştırma algoritmaları kayıplı veya kayıpsız olabilmektedir.

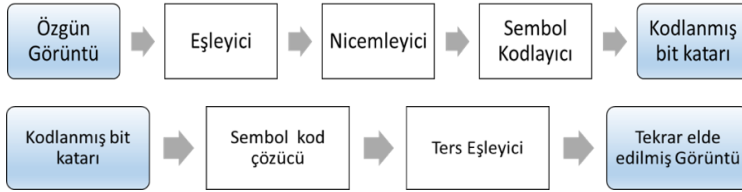
Kayıpsız sıkıştırma resim kalitesinin hiçbir bozunuma uğramadan aynı şekilde kalması ve orijinal görüntüye geri dönüşüm yapılabileceği anlamına gelmektedir. Kayıpsız sıkıştırma, görsellere ait bilgilerin istatistiksel özellikleri veya özel sözlükler oluşturularak ve kullanılan yöntemlerdir. İstatistiksel yöntemlere örnek olarak Huffman (Huffman, 1952), Aritmetik Kodlama, sözlük tabanlı yöntemlere örnek olarak LZ77, LZW örnek verilebilir (Salamon, 2007)(Thyagarajan, 2011)(Gonzales, 2004).

Kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri görüntü verisi içerisinde belirli bir oran ile veri çıkarılmasının insan görsel algısının hissetmeyeceği durumlarda ya da çok fazla öneminin olmadığı durumlarda tercih edilmektedir. İnsan görsel algılayıcısı olan gözün yüksek frekans bölgesine duyarlılığı azdır. Bu bakımdan görüntüden verinin çıkartılması bu yüksek frekans değerlerine sahip bölgeden yapılmaktadır. Böylelikle görüntü orijinal görüntüden farklı olacak ve geri dönüşüm sağlamayacaktır. Kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemlerine örnek olarak vektör niceleme, Dönüşüm yöntemleri, altband kodlaması ve fraktal kodlama şeklinde verilebilir (Saha,2000) (Salamon, 2007)(Thyagarajan, 2011)(Gonzales, 2004).

2. Standart Görüntü Sıkıştırma Sistemi

Standart bir görüntü sıkıştırma sistemi Şekil 1’de gösterildiği gibi kodlayıcı ve kod çözücü iki fonksiyondan oluşmaktadır. Görüntü kodlamasının ilk adımı olarak özgün görüntü $f(x, y)$, sıkıştırılmış görüntüyü

oluşturacak olan kodlayıcı sisteminin girişine gönderilmektedir ve sırasıyla eşleyici, nicemleyici ve sembol kodlayıcı adımlarından geçerek kodlanmış bir bit katarı elde edilir. Elde edilmiş bit katarı haberleşme sistemi içerisinde iletmek ve yeniden kullanılmak üzere kayır altına alınır. Görüntünün kodlanması ve sıkıştırma işleminde ilk adımda bulunan eşleyici fonksiyonu artıklığı azaltmak için gerekli bir biçime dönüştürmek için uygun bir ve tercihen tersinir yöntem seçilmesi ile başlar. Eşleyici adımından sonra gelen nicemleyici adımı, bir önceki işlemin sonucu elde edilen bilgide bulunan ilişkisiz kısımları atmaktadır. Genellikle bu işlem tersinir bir işlem olmamaktadır ve böylelikle kayıplı sıkıştırma yapıldığında kullanılmaktadır. Eğer kayıpsız bir sıkıştırma istenirse bu adım atlanabilir. Kodlama işleminin son aşamasında elde edilen kod tersinebilir bir işlem olan sembol kodlayıcı adımından geçirilerek kodlama artıklığı minimize edilir ve görüntümüz saklama ya da iletmek üzere hazır hale gelmiş olan kodlanmış bilgi katarı haline dönüşür.



Şekil 1: Genel bir sıkıştırma sisteminde kodlayıcı (üste) ve kod çözücü (alta) Blok Diyagramı

Görüntünün tekrar elde edilmesi aşaması olan kod çözücü adımında kodlanmış bit katarı sembol kod çözücüyü gönderilmektedir. Burada kodlayıcıda tersinebilir bir yöntem ile kodlanmış olan bilgimiz çözülür ardından ters işleyici adımlarından geçerek tekrar oluşturulan görüntümüz olan $g(x,y)$ elde edilir. Kod çözücü içerisinde kodlama yapılırken tersinir bir işlem olmayan nicemleyici adımını barındırmaz. Görüntü Sıkıştırmada eğer tekrar elde edilmiş görüntü $g(x,y)$, özgün görüntünün $f(x,y)$ nin aynısı ise kullanılan yöntem kayıpsız yöntem eğer aynısı değil kusurlu bir kopyası ise kayıplı sıkıştırma yöntemi olarak adlandırılır (Salamon, 2007)(Thyagarajan, 2011)(Gonzales, 2004).

3. Yöntem

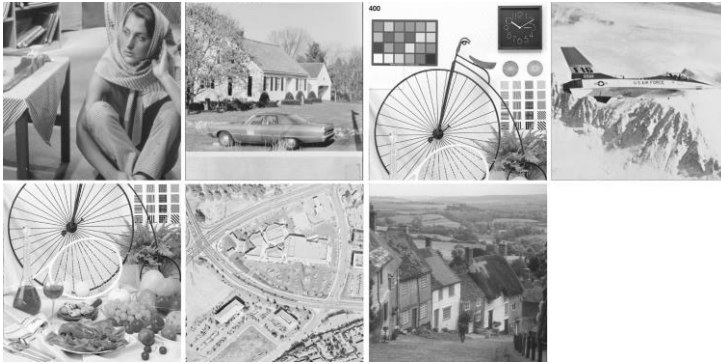
3.1. Çalışma için Kullanılan Görüntüler

Gerçekleştirilmiş olan çalışmada Southern California Üniversitesi Sinyal ve Görüntü İşleme Enstitüsü veri tabanında bulunan 512x512 boyutunda 8bit derinliğe sahip gri renk uzayına sahip doku, hava, karışık ve sıralı görüntü veri tabanı kullanılmıştır. Görüntüler blok bankaları oluşturmak için rastgele

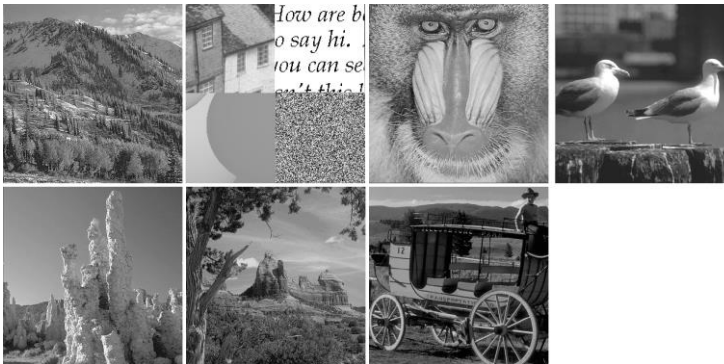
olarak 3 ayrı veri tabanına bölünmüş olup ve test veri kümesinde bankalarda olmayan görüntüler kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler Tablo 1 de verilmiştir. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’te görüntüler verilmiştir.

Tablo 1: Veri Tabanı ve test veri kümeleri

	Kullanılan Görüntülerin Adları
Vt1	F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7
Vt2	F8,F11,F12,F13,F16,F38,F40
Vt3	F22,F47,F64,F69
Test Kümesi	Lenna, F14, F15, F24, F28, F39, F41, F48, F60, F61, F65,F73



Şekil 2: Vt1 veri tabanında kullanılan görüntüler



Şekil 3: Vt2 veri tabanında kullanılan görüntüler



Şekil 4: Vt3 veri tabanında kullanılan görüntüler

3.2. Kullanılan Matematiksel Yöntem

Orijinal Sinyalin özgünlüğü bozulmadan 1 ilâ 30 arası sıkıştırma oranı sağlanmak için geliştirilmiş olan SYMPES yöntemi ses, elektrokardiyogram gibi bir boyutlu (1B) sinyaller için kullanılmıştır (Güz, 2002)(Gürkan, 2004) (Yarman, Güz ve Gürkan, 2006)(Gürkan, Güz ve Yarman, 2009). İki boyutlu bir sinyal olan görüntü, x , y uzay koordinatlarında birbirinden bağımsız olan x ve y değişkenlerine bağlı bir ışık yoğunluk fonksiyonudur. Güz (2011) 2B sinyaller olan görüntüler için SYMPES algoritmasını geliştirmiştir. 2B-Sympes ile herhangi bir sürekli $f(x, y)$ sinyalini belirli bir $x_1 \leq x \leq y_2, y_1 \leq y \leq y_2$ aralığı içerisinde,

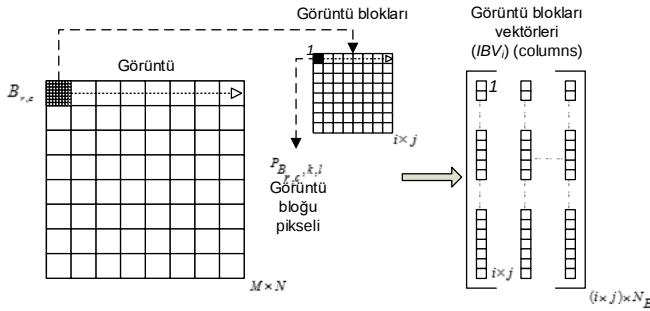
$$f(x, y) = Ce(x, y)s(x, y)$$

eşitliği olarak ifade edilir. Bu eşitlikte C ölçekleme katsayısı olarak kullanılan gerçel bir sabit sayıdır, $s(x, y)$ özgün işaretin temel karakteristiğini göstermektedir ve görüntünün enerjisini içeren taşıyıcı fonksiyonudur ve $e(x, y)$ özgün işaretin içerisinde bulunan bilgidir görüntünün yapısını içermektedir.

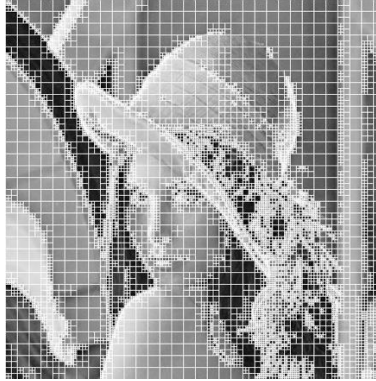
3.3. Değişken Bloklı Sympes (DBS) Algoritması

SYMPES'in görüntüler için kullanıldığı çalışmalarda görüntüler sabit olarak belirlenen boyutlara bölünmekteydi (Güz, 2011). Bu çalışmada görüntülerin detaylarının önemli olduğu varsayımına dayanılarak Dördül Ağaç (Quad tree) algoritması kullanılmaktadır. Bu konuda geçmişte yapılan çalışmalar başarılı sonuçlar elde etmiş olmasına rağmen kodlamanın hızından dolayı yaygın olarak kullanılmamıştır (Markas,1992)(Keissarian, 2009). Sympes algoritmasında kodlama ve çözme adımlarından oluşmaktadır. Görüntünün Yapı bilgisi ve Enerji fonksiyonlarının oluşturulması kodlama (coding) adımı bu bilgilerden tekrar görüntünün elde edilmesi adımı çözme (encoding) olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada görüntüler $(Im(m, n))$ 0-255 arasında tam sayılardan oluşan bir $M \times N$ boyutunda matristir. Görüntüler birbiri ile örtüşmeyen görüntü bloklarına bölündükten sonra birbiri ile soldan sağa doğru eklenerek IBV görüntü blok vektörü elde edilmektedir. Bu işleme adımlar Şekil 5'te gösterilmiştir. DBS algoritmasında öncelikle özgün görüntü kullanıcı tarafından blok boyutu önceden belirlenen maksimum boyutlu bloklara $(LIBV_{maks} \times LIBV_{maks})$ bölünmektedir. Dördül Ağaç

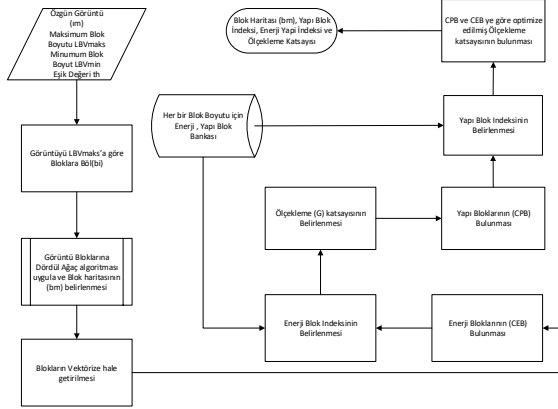
algoritması için verilen bir eşik değeri ile detaylara her bir blok içerisinde ($LIBV \times LIBV = LIBV_{maks}/2 \times LIBV_{maks}/2$) boyutunda yeni 4 blok oluşturulmaktadır. Algoritma kullanıcı tarafından belirlenen bir minimum boyutlu blok ($LIBV_{min} \times LIBV_{min}$) oluşuncaya kadar tekrarlanır. Bu işlemlerin sonucunda Şekil 6'da görüldüğü üzere detayları içeren ayrıntılar küçük bloklar ile daha az ayrıntıya sahip bölgeler daha büyük bloklar ile temsil edilir. Önerilen yöntemle ait Şekil 7 ve Şekil 8'de Kodlama algoritmasını ve Şekil 9'da Kod Çözücü algoritmasının akış diyagramı görülmektedir. Şekil 10 önerilen yöntemlerin özgün yöntem ile Lenna görüntüsünün karşısındaki başarımı görülmektedir. Burada görüldüğü üzere DBS ile kodlanmış görüntülerde göz detayları daha belirgin olmaktadır



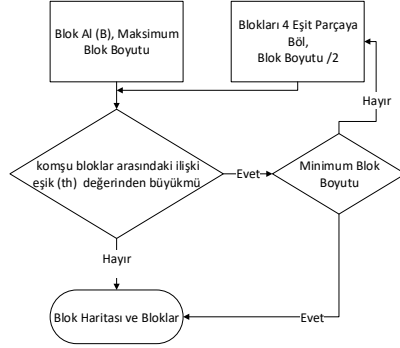
Şekil 5: Görüntü blok vektörü haline getirilmesi adımları



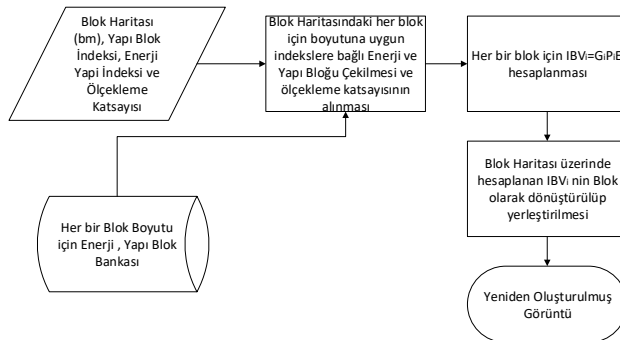
Şekil 6: Lenna Görüntüsünün $LBV_{min}=2$ $LBV_{max}=16$ olacak şekilde eşik değerinin 25 olması halinde dördül ağaç algoritması uygulandığında oluşan blok görüntüleri



Şekil 7: DBS için Kodlama Algoritması Akış Diyagramı



Şekil 8: Görüntü Blokları üzerinde dördül ağaç algoritmasının uygulanmasına ait Akış Diyagramı



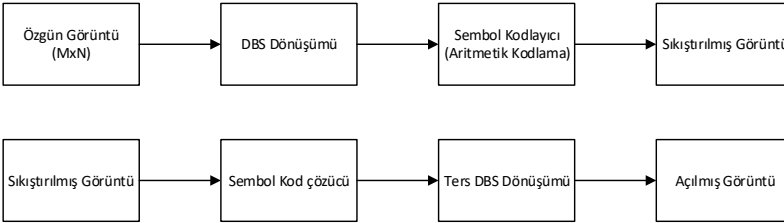
Şekil 2: DBS için Kod çözücü Algoritması Akış Diyagramı.



Şekil 10: Önerilen Yöntemler ile oluşturulmuş görüntülerin özgün Lenna görüntüsü ile karşılaştırılması. (üst soldan sırasıyla özgün, Sabit Blokluk Sympes için 1. yöntem (Güz,2011), Sabit Blokluk Sympes için 2. Yöntem , alt soldan sırasıyla önerilen yöntemin 4-8 blokluk , 2-8 blokluk ve 2-16 blokluk hali)

4. Deney

Değişken Blokluk Sympes ile kodlanan görüntüler Intel Core I7-3630QM 2.4 GHz işlemci içeren bir bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Yöntemin başarımı için yöntemin sağlamış olduğu sıkıştırma oranları ve bu sıkıştırma oranlarına karşılık sinyal gürültü oranları (PSNR) ve yapısal benzerlik indeksi (SSIM) açısından incelenerek diğer kayıplı sıkıştırma yöntemleri olan jpg ve jpeg2000 ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılmanın jpg ve jpeg2000 ile yapılabilmesi için tüm DBS ile elde edilen dönüşüm sonuçları Sembol kodlayıcısı olarak aritmetik kodlama ile tekrar kayıpsız şekilde sıkıştırılmıştır. Karşılaştırma için gerçekleştirilen DBS tabanlı sistemin blok diyagramı Şekil 11 de verilmiştir (Gezer,2014).

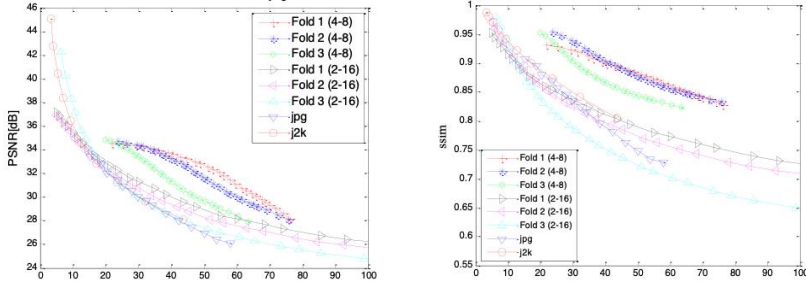


Şekil 11: Karşılaştırma için kullanılan DBS için kodlama ve kod çözücü sistemin blok diyagramı

4.1. Lenna Görüntüsü için Benzetim Sonuçları

Şekil 12’de Lenna görüntüsü için elde edilen PSNR ve SSIM sonuçları verilmiştir. Bu görüntüde önerilen DBS yöntemi hem jpg hem de jpeg2000’den daha iyi başarımlar oranları sahip olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada görülen jpg, jpeg2000 ve 2-16 DBS yöntemi ile elde edilen sonuçların üssel bir oranda değişim gösterdiği görülmekte olup önerilen modelde ise bu değişimin 4-8 DBS yönteminde doğrusal olduğu görülmektedir. Önerilen model içerisinde maksimum ve minimum blok boyutlarının farklarının büyüdüğü durumlarda örneğin 2-16 aralığında sıkıştırma oranların daha geniş alana kapladığı görülmektedir°. Şekil 13’de görüleceği üzere 60:1 sıkıştırma oranında jpg yöntemi ile yapılan

sıkıştırma blokla çok net belli olmaktadır, jpg2000 yöntemi ile yapılan sıkıştırma bu sefer sorun dalgacık dönüşümünden kaynaklanan bulanıklaşma ortaya çıkmaktadır. DBS ile yapılan sıkıştırmalarda bloklaşma sorunu jpg'e oranla daha az olmaktadır gözlemlenmektedir.



Şekil 12: vt1,vt2 ve vt3 kullanarak kodlanan Lenna görüntüsünün 2-16 DBS ve 4-8 DBS , jpg ve jpg2000 göre solda sıkıştırma oranı-sinyal gürültü oranı diyagramları ve sağda orani-yapısal benzerlik ölçütü diyagramları



Şekil 13: Lenna Görüntüsü için sırasıyla Özgün Görüntü, jpg ile sıkıştırılmış görüntü (sıkıştırma oranı: 58.00, PSNR: 26.11 dB) , jpg2k ile sıkıştırılmış görüntü (Sıkıştırma oranı: 60.40, PSNR: 26.45 dB) . Aşağıdan soldan sağa 4-8 DBS ve vt1 kullanılmış görüntü (sıkıştırma oranı: 59.59, PSNR: 31.13dB), 4-8 DBS vt2 kullanılmış hali (sıkıştırma oranı: 60.04, PSNR: 30.04 dB) ve 4-8 DBS vt3 kullanılmış hali (sıkıştırma oranı: 60.55, PSNR: 28.32dB).

5. Sonuç

DBS yönteminin temeli, görüntülerin kendi içerisinde oluşan fiziksel benzerliklerin karşılaştırılmasına ve buradan Enerji ve Yapı blok fonksiyonları veri bankasının oluşturulmasına dayanmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere yüksek sıkıştırma oranlarında, görüntülerin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Geliştirilen yöntemde blok aralıkları ve dördüncü ağaç

için eşik değerleri, sıkıştırmanın kalitesini etkilediği göstermiştir. Geliştirilen yöntemin kodlama ve kod çözüm sürelerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen yöntemin ileride Astronomiden, Tıbbi görüntüler gibi birçok alanda kullanılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 2014 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim dalında Prof. Dr. Bekir Sıddık Binboğa Yarman danışmanlığında yapılmış olan “Modern Haberleşme Sistemlerinde Görüntü Kodlaması ve Sıkıştırmasında Özgün Matematik” yöntemler adlı doktora tezinden çıkarılmıştır.

6. Referanslar

- Aksan, E., Doğan, S., 2004, Dalgacık Tabanlı Görüntü Sıkıştırma Tekniği, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz 2004 Cilt 1 Sayı 4 (47-53)
- Gezer, M. (2014). Modern Haberleşme Sistemlerinde Görüntü Kodlaması ve Sıkıştırmasında Özgün Matematik Yöntemler. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Gonzales,R.C., Woods,R.E., ve Eddins,S.L., (2004), Digital Image Processing using MATLAB, Pearson, New Jersey,ISBN:0-13-008519-7.
- Goyal, V.K. (2001). Theoretical foundations of transform coding. IEEE Signal Processing Magazine, 18(5):9–21.
- Gürkan, H. (2004). Biyolojik İşaretlerin Temel Tanım ve Zarf Vektörleri ile Modellenmesi. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gürkan H., Güz, Ü., ve Yarman, B.S. (2009). EEG Signal Compression Based on Classified Signature and Envelope Vector Sets. International Journal of Circuit Theory and Applications, 37, 2, 351–363.
- Güz, Ü. (2002). Türkçe Konuşma İçin Optimum Temel Tanım Fonksiyonlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Güz, Ü. (2011). A Novel Image Compression Method Based on Classified Energy and Pattern Building Blocks, Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, doi:10.1155/2011/730694.

- Huffman , D.A., 1952, A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes, Proceedings of the I.R.E., September 1952, pp 1098–1102.
- Keissarian, F. (2009). A New Quadtree-based Image Compression Technique using Pattern Matching Algorithm. In International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences (ICCES) (Vol. 12, No. 4, pp. 137-143).
- Markas, T. (1992). Quad Tree Structures For Image Compression Applications, Information Processing & Management Vol. 28 No 6, pp. 707-721.
- Thyagarajan T.H., (2011), Still Image and Video Compression with MATLAB, Wiley, ISBN 978-0-470-48416-6.
- Saha, S. (2000), Image compression—from DCT to wavelets: a review. Crossroads 6.3 (2000): 12-21.
- Salomon,D., 2007, Data Compression The Complete Reference, Springer, London, ISBN:978-84628-602-5.
- Yarman, B.S., Güz, Ü., ve Gürkan H. (2006). On the comparative results of SYMPES: a new method of speech modeling. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 60,6,421-427.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 12



**Investigation of Adsorption Kinetics and Equilibrium for
Removal of Anionic Dye Direct Blue 71 from Aqueous
Media Using Magnetic Halloysite Nanotubes-Alginate Beads
(Görkem Polat, Ezgi Türkeş, Yeşim Sağ Açık)**

Investigation of Adsorption Kinetics and Equilibrium for Removal of Anionic Dye Direct Blue 71 from Aqueous Media Using Magnetic Halloysite Nanotubes-Alginate Beads

Görkem Polat¹, Ezgi Türkes², Yeşim Sağ Açık³

¹Hacettepe University, Institute of Science, Bioengineering Division,
E-mail:gorkem.polat@hacettepe.edu.tr

²Hacettepe University, Institute of Science, Bioengineering Division,
E-mail:ezgi.turkes@hacettepe.edu.tr

³Hacettepe University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department,
E-mail:yesims@hacettepe.edu.tr

Abstract

In this study, alginate (ALG) hybrid beads supported with magnetic halloysite nanotubes (MHNTs) were prepared, and the removal of Direct Blue 71 (DB 71) dye from aqueous media by the adsorption method was investigated. The "coprecipitation" method was employed to ensure that halloysite nanotubes (HNTs) acquire magnetic properties, and the "extrusion dripping" technique was used to synthesize magnetic halloysite nanotubes-alginate (MHNTs-ALG) hybrid beads. Adsorption studies were conducted under various parameters such as medium pH, the amount of MHNTs-ALG hybrid beads, and mass ratio of the components forming MHNTs-ALG hybrid beads and different concentrations of DB 71. The optimum adsorption conditions for DB 71 were specified as the MHNTs-ALG hybrid beads amount to be 6.25 mg, pH=3, and the mass ratio of the magnetic halloysite nanotube (MHNT) to ALG forming the composite to be 3:2. The experimental data mostly fit the linearized Langmuir Type-2 ($R^2=0.9983$) model and nonlinear pseudo-second-order kinetic model. It was revealed that the prepared MHNTs-ALG hybrid beads could adsorb DB 71 sufficiently and effectively in aqueous media.

1. Introduction

Industrial wastewater containing organic and inorganic pollutants poses a significant threat to the environment and ecosystem. Heavy metals and dyestuff are among the most important chemical pollutants. The purification of dyestuff is of great importance due to the complexity of their composition and the toxicity they cause. There are about 100,000 types of commercial dyes that are extensively used in the cosmetics, pharmaceutical, textile, and food industries. It is known that around 700,000 tons of dyes are produced every year worldwide (Bo et al., 2021; Elmorsi et al., 2019). On the other hand, pollution caused by heavy metals, which are non-biodegradable and bioaccumulate due to their persistency in nature, has also become an

important global problem in addition to dyestuff pollution (Kushwaha, Rani, & Patra, 2020). Dyestuffs and heavy metal ions are mostly available together in industrial areas such as the textile sector and petrochemistry, and simultaneous elimination of these compounds is extremely important (Ebadollahzadeh & Zabihi, 2020). For the elimination of these pollutants, various physical and chemical treatment technologies such as photodegradation, precipitation, membrane, ion exchange, reverse osmosis, electro-coagulation, and flocculation have been developed (Kushwaha et al., 2020). However, some problems such as high cost, toxic sludge formation, and pollutant selection are faced in these methods. Adsorption is a method which is easy to apply, inexpensive, and does not produce harmful products (Nkutha, Shooto, & Naidoo, 2020; Zhang et al., 2020).

The sorbents to be used in the adsorption method should be chosen from biodegradable, environmentally friendly, innovative, reusable materials with high adsorption capacity. Among various sorbents, halloysite nanotubes (HNTs) have drawn a lot of attention in recent years due to their unique properties. HNTs ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) consist of aluminosilicate layers and have a large surface area and high mechanical strength for use as a sorbent (Chiew et al., 2016). Compared to other sorbents (carbon nanotubes, inorganic minerals, biomass sorbents, polymers, titanium oxide, etc.), HNTs are more easily obtained and abundant. Depending on the crystallization conditions and geological formation conditions, HNTs have different typical morphologies as spherical, layered, and tubular. Among these structures, HNTs with tubular morphology are the most common and valuable type (Y. Wu et al., 2019). The adsorption capacities of HNTs are also suitable for improving the surface properties by turning them into composites with polymeric materials and by attaching functional groups to the surface with chemical modifications. Moreover, it has been reported that HNTs exhibit low risk if they are included in the treatment system as a pollutant in any way. The outer diameters of HNTs range between 20-200 nm, and their lengths range between 50-5000 nm. In the use of HNTs alone in adsorption, there are problems such as pressure drops due to this size distribution, low permeability of HNTs in filled adsorption columns, particle loss induced by HNTs passing into the treatment medium, aggregation problems, and recollection from the medium.

Sodium alginate (ALG), a natural polysaccharide, is extracted from brown algae. ALG, which has many hydroxyl and carboxyl groups in its structure, is biocompatible and biodegradable. It exhibits a high adsorption affinity for heavy metal ions and dyestuffs owing to the functional groups it contains. ALG reacts with multivalent metal ions such as Ca^{+2} and creates shaped beads. It is used in various applications in this form (Luo, Liu, Lu,

Fang, & Rong, 2021). Because of its low mechanical strength and heat resistance, ALG is subjected to some physical and chemical modifications to increase its usability in adsorption applications. These modifications can be exemplified by surface grafting, crosslinking, and composite formation with other materials (Bhagyaraj & Krupa, 2020). Some studies showed that the adsorption properties of ALG were improved by physically coating or mixing with both organic and inorganic materials (Gao et al., 2020).

In this study, magnetic halloysite nanotubes (MHNTs) were immobilized in porous ALG hydrogel matrices to eliminate the disadvantages of both ALG and HNTs and obtain a more stable sorbent by bringing the superior properties of both structures to the forefront. There are studies in which components such as polylactide and chitosan (D. Wu, Zhang, Wang, Zhu, & Fan, 2011) are immobilized in ALG, whereas it is known that such components interact chemically with each other. On the other hand, HNTs do not interact chemically with the ALG matrix, and in this case, the active sites of both HNTs and ALG maintain their suitability for adsorption. It is also aimed to easily collect the sorbent from the treatment medium by enabling HNTs to acquire magnetic properties. In the study we published in 2019, synthesis and characterization studies of magnetic halloysite nanotubes-alginate hybrid beads (MHNTs-ALG) were conducted, and their effectiveness in Pb(II) adsorption was investigated (Polat & Açık, 2019). In this study, Direct Blue 71 (DB 71), an anionic dyestuff, was used to evaluate the adsorption efficiency of magnetic halloysite nanotubes-alginate hybrid beads (MHNTs-ALG). It was aimed to examine how the prepared particles would behave in anionic dyestuff adsorption and to investigate the affinity.

In a study published in 2017, a chitin and lignin-based composite material was developed to remove DB 71 dye from aqueous solutions and wastewater, and its characterization and adsorption studies were performed. For the purification of DB 71-containing wastewater, the adsorption efficiency was calculated as 91% after an hour of phase contact time. Adsorption data fit the Freundlich isotherm and pseudo-second-order kinetic model (Wawrzukiewicz, Bartczak, & Jesionowski, 2017). In another study conducted for the quick and effective removal of DB 71 from aqueous solutions, highly efficient 2-hydroxyethylammonium sulfonate immobilized γ -Fe₂O₃ nanoparticles were used as a magnetic nanosorbent. The maximum dyestuff adsorption capacity (q_m) was calculated as 47.60 mg.g⁻¹ (Khani, Sobhani, Beyki, & Miri, 2018). In a study published in 2018, a new Chitosan-Silica (SiO₂)-Carbon nanotube-based magnetic nanocomposite was developed, and its effect on DB 71 adsorption was investigated. The maximum DB 71 adsorption capacity was found to be 61.35 mg.g⁻¹ at pH=6.8 (Abbasi, 2017). In another study conducted for DB 71 adsorption, clinoptilolite zeolite supported with nickel

ferrite (NiFe_2O_4) nanoparticles was used as a sorbent, and adsorption studies were carried out. Optimum conditions for adsorption were specified as $\text{pH}=6$, the adsorbent dosage of 0.12 g, and the 45-minute contact time (Reza, 2018). In a study published in 2020, calcium ALG beads were used for DB 71 adsorption. The effects of dyestuff concentration, the amount of calcium ALG beads, temperature and pH on DB 71 adsorption were investigated. For DB 71 adsorption, an adsorption capacity of $16.27 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ and adsorption efficiency of 80% were reached during the 43-minute contact time (Selene I. Nava-Rosales, 2020). Among the studies in the literature, there is no study on the adsorption of DB 71 with magnetic halloysite-alginate hybrid beads.

2. Materials and Methods

HNTs were purchased from Sigma-Aldrich (CAS:1332-58-7). Iron(II) chloride tetrahydrate ($\text{FeCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CAS:13478-10-9), iron(III) chloride hexahydrate ($\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CAS:10025-77-1), calcium chloride (CaCl_2 , CAS:10043-52-4), direct blue 71 (CAS:4399-55-7) and sodium alginate (CAS: 9005-38-3) were also supplied from Sigma-Aldrich. The ammonium hydroxide solution (NH_4OH , CAS:1.05426.2500) were provided from MERCK. Deionized (DI) water obtained from a Thermo Scientific Smart2Pure water purification system, with a resistivity of $18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ was used in the preparation of all solutions.

2.1. Synthesis of Magnetic Halloysite Nanotubes-Alginate Hybrid Beads

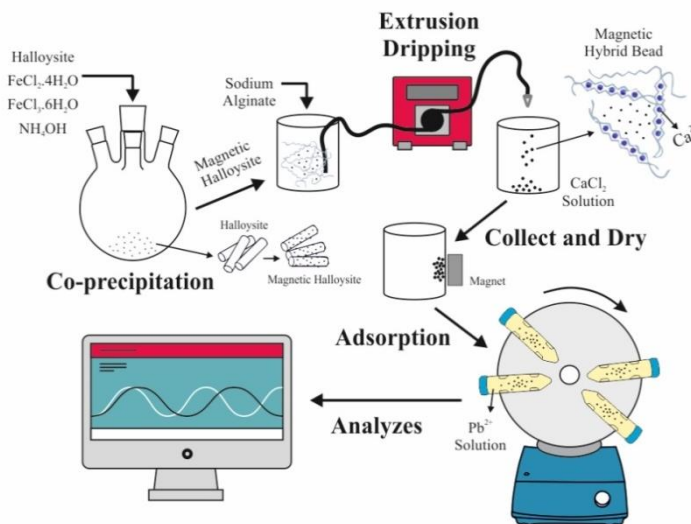


Figure 1: Graphical Abstract

The synthesis of MHNTs-ALG was explained in detail in our previous study (Polat & Açıkel, 2019). The synthesis of first MHNTs and then MHNTs-ALG was provided. In summary, 0.5 g of HNTs was dissolved in 200 mL of distilled water, this mixture was kept in the ultrasonic bath. The mixture was then mixed under nitrogen gas in a five-neck reactor set. $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ iron salts were added in certain proportions, and stirring was continued under nitrogen gas. A heating mantle was used to heat the system to 80°C and a certain amount of NH_4OH was slowly added to the medium. In this way, Fe_3O_4 nanoparticles were enabled to attach to the surface of HNTs. Afterward, 2 g of the synthesized MHNTs and 2 g of ALG were mixed in 100 mL of distilled water, and MHNTs-ALG beads was synthesized by adding the mixture into the CaCl_2 solution drop by drop (Figure 1). SEM, TEM, size distribution analysis with ZetaSizer, FT-IR, TGA, BET, and VSM analyses for the synthesized MHNTs and MHNTs-ALG beads were carried out and reported in detail in our previous study (Polat & Açıkel, 2019).

2.2. Adsorption Studies in Batch Stirred Vessels

Adsorption studies were carried out by using a circular rotator at a constant temperature of 25°C and at 20 rpm stirring speed and preparing 25 mL samples in tubes with a volume of 50 mL. Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis spectroscopy was used to designate the concentration of DB 71 dye in aqueous medium.

2.3. Mathematical Definition of the System, Adsorption Isotherms, Pseudo-Second Order Kinetic Model and Intraparticle Diffusion Model

In the study, the initial adsorption rate was calculated from the slopes of the tangents drawn at time $t=0$ to the curves indicating the change in the amount of the adsorbed material per unit weight of adsorbent against time (q_t ; mg/g).

$$r_i = -\frac{1}{(m/v)} \times \frac{dC_t}{dt} = \frac{dq_t}{dt} \quad (4.1)$$

Here, C_t is the unadsorbed DB 71 concentration in the solution (mg/L), m is the adsorbent amount (g), and v is the volume of solution (L).

The adsorption capacity and efficiency were calculated in the study as follows:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)v}{m} \quad (4.2)$$

$$\%Y_{ads.eff.} = 100 \times \frac{C_{ads}}{C_0} \quad (4.3)$$

Here, C_0 is the initial DB 71 concentration (mg/L), and C_{ads} is the adsorbed DB 71 concentration (mg/L) in the solution.

The DB 71 adsorption kinetics and equilibrium were evaluated using the Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson adsorption isotherm models, the pseudo-second-order kinetic model, and the Weber and Morris intraparticle diffusion model.

The single-component Langmuir model, in which adsorption occurs in a single layer on a homogeneous surface and each active center adsorbs only one molecule, is calculated as follows (Langmuir, 1916):

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4.4)$$

Here, q_e is the amount of the material adsorbed per unit weight of adsorbent at equilibrium (mg/g), C_e is the concentration of the amount of the material remaining in the solution at equilibrium (mg/L), q_m is the maximum amount of the material adsorbed per unit weight of adsorbent (mg/g), and K_L is the constant related to the net enthalpy of adsorption (L/mg).

The Langmuir model can be linearized in the following way (Foo & Hameed, 2010):

$$\text{Type 1: } \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \quad (4.5)$$

$$\text{Type 2: } \frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (4.6)$$

The single-component Freundlich model, which is based on the assumption that K_L , a term related to the energy in the Langmuir model, varies as a function of the amount adsorbed per unit weight of adsorbent, is calculated as follows (Freundlich, 1907):

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4.7)$$

Here, K_F is the constant representing the magnitude of the adsorption capacity (mg/g) $(L/mg)^{1/n}$, n is the degree of adsorption.

The linearized form of the Freundlich model is as follows (Foo & Hameed, 2010):

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4.8)$$

The Redlich-Peterson model, which is a hybrid isotherm of the Langmuir and Freundlich models, is stated as follows (Redlich & Peterson, 1959):

$$q_e = \frac{K_R C_e}{1 + a_R C_e^\beta} \quad (4.9)$$

Here, K_R is the Redlich-Peterson isotherm constant (L/g), a_R is the Redlich-Peterson isotherm constant (L/mg), and β is the Redlich-Peterson isotherm exponent.

To determine the contact time between the adsorbent and adsorbed material, the pseudo-second-order kinetic model was used in the study. The model is expressed in the following way (Kumar, 2006):

$$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + K_2 q_e t} \quad (4.10)$$

Here, K_2 is the second-order adsorption rate constant (g/mg min).

The pseudo-second-order kinetic model can be linearized as follows:

$$\text{Type 1: } \frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4.11)$$

$$\text{Type 2: } \frac{1}{q_t} = \left(\frac{1}{K_2 q_e^2} \right) \frac{1}{t} + \frac{1}{q_e} \quad (4.12)$$

Furthermore, the Weber and Morris intraparticle diffusion model was used in the study, as stated below, to be able to understand the adsorption mechanism and determine the step that controlled the rate (Crank, 1975).

$$q_t = K_{id} t^{1/2} + C \quad (4.13)$$

Here, K_{id} is the intraparticle diffusion rate constant (mg/g min^{1/2}), C is the intercept (mg/g).

3. Results and Discussion

3.1. Bet Analyses of HNTs, MHNTs, And MHNTs-ALG Hybrid Beads

The BET analyses were used to determine the surface area, pore diameter, and total pore volume of HNTs, MHNTs, and MHNTs-ALG hybrid beads (Polat & Açikel, 2019). For purification and removal of water, the HNTs, MHNTs, and MHNTs-ALG hybrid beads were subjected to vacuum heating in the degassing unit. To obtain adsorption/desorption hysteresis curves, they were analyzed with nitrogen gas used as an adsorbate at the temperature of liquid nitrogen.

From the Figure 2, it is seen that the particles which have mesoporous structure conform to the type IV isotherm model, classified according to IUPAC. Type IV isotherms occur when capillary condensation occurs in the mesopores. Gas begins to condense in the tiny capillary pores of the adsorbent at pressures below the saturation pressure of the gas. Multi-layered formations after a single layer formation are observed in low pressure regions. It is seen that the HNTs hysteresis cycle is slightly reduced compared to MHNTs. This is an indication of the small diameter pore size distribution of the HNTs coated with magnetic particles, and thus the increase in the surface area. The adsorption/desorption hysteresis curves of ALG and MHNTs-ALG hybrid beads are given in Figure 3. When ALG composites with MHNTs, the hysteresis cycle increases considerably, which is due to the small diameter pore size distribution and therefore the increase in surface area. If hysteresis cycle of the MHNTs-ALG mass ratio of 1:2 is compared to that of the MHNTs:ALG mass ratio of 3:2, the hysteresis loop of the MHNTs:ALG mass ratio of 3:2 decreases than that of the MHNTs-ALG mass ratio of 1:2. This is an indication that as the MHNTs ratio increases, agglomeration begins to occur and the surface area decreases with the decrease in the small diameter pore size distribution.

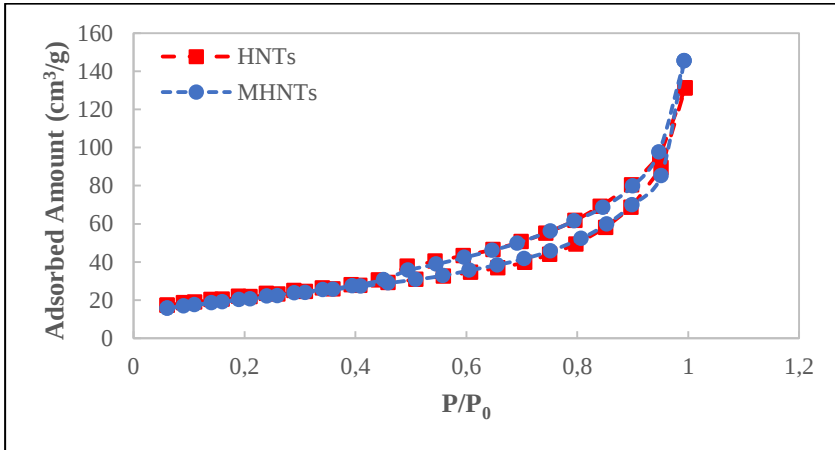


Figure 2: BET adsorption-desorption isotherms of HNTs and MHNTs

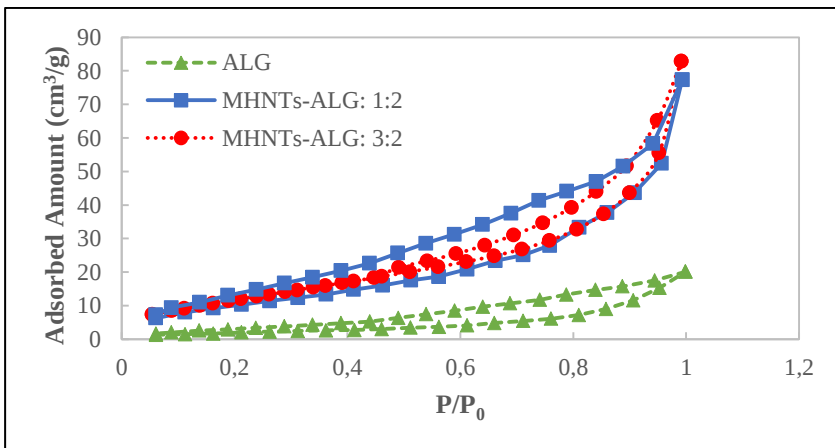


Figure 3: BET adsorption-desorption isotherms of ALG and MHNTs-ALG

3.2. The Effect of the Medium pH

The effect of the solution pH on adsorption was examined using 25 mg of the adsorbent with a mass ratio of MHNTs-ALG 2:2 and 25 mL of the solution medium. Studies were carried on by adjusting the pH of the adsorption media with an initial DB 71 concentration of 30 mg/L to different values.

As seen from Figure 4, the adsorption capacity increases up to pH 3, and then the adsorption stops completely. DB 71 is an anionic dyestuff. Therefore, adsorption does not take place at high pH. The negatively charged carboxylic acid groups of the ALG polymer and the negatively charged silica

groups of the outer surface of HNTs are only protonated and can adsorb the DB 71 dye at low pH values. Thus, it is observed that the adsorption rate varies only up to pH 3.

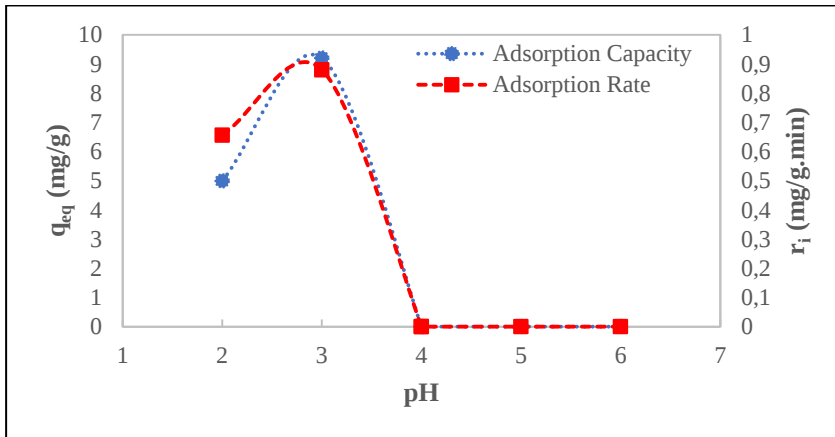


Figure 4: Effect of pH change on DB 71 adsorption capacity and initial adsorption rate with MHNTs-ALG beads. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, initial concentration of DB 71: 30 mg/L, amount of adsorbent: 25 mg, mass ratio of MHNTs-ALG: 2:2)

Figure 5 shows time-dependent changes in adsorption capacity at pH 2 and pH 3. It is observed that the adsorption capacity reaches equilibrium in 30 minutes at both pH values. Although the times of equilibration are almost equal, the adsorption rate is also slightly higher due to the slightly higher adsorption capacity at pH 3.

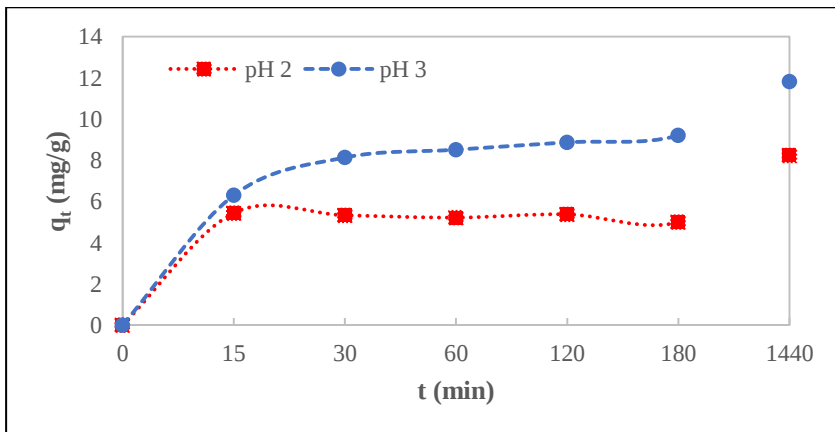


Figure 5: Change of DB 71 adsorption capacity with MHNTs-ALG beads by time at various pH values. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, initial concentration of DB 71: 30 mg/L, amount of adsorbent: 25 mg, mass ratio of MHNTs-ALG: 2:2)

3.3. The Effect of the Adsorbent Amount

Experiments studying the effect of the adsorbent amount on adsorption were performed using 25 mL media with different amounts of the adsorbent with an MHNTs-ALG mass ratio of 2:2, initial concentration of 50 mg/L, and pH 3.

Figure 6 presents the variation of the DB 71 initial adsorption rate and efficiency with the amount of MHNTs-ALG. As the amount of MHNTs-ALG increases, the amount of the adsorbed DB 71 increases, and the amount of the adsorbed DB 71 per unit weight of adsorbent, q_t , decreases. The initial adsorption rate and efficiency remain almost the same at adsorbent amounts of 2.5–12.5 mg. The initial adsorption rates of DB 71 decrease rapidly above the adsorbent amount of 12.5 mg. The adsorption efficiency, on the other hand, decreases gradually from 30.0% to 24.4% at adsorbent amounts above 12.5 mg. Because the adsorption equilibrium values are used to calculate the adsorption efficiency, the adsorption of DB 71 into MHNTs-ALG in the pores increases over time. Hence, the diffusion restrictions which are effective at the beginning of the adsorption are overcome, and the decrease in the equilibrium adsorption values becomes lower than the decrease in the initial adsorption rates. The decrease observed in the initial adsorption rates and efficiency at high adsorbent amounts results from the agglomeration of MHNTs-ALG. The increase in agglomeration caused by the increased adsorbent amount causes the reduction of the adsorbent surface area, which decreases the adsorption capacity and the adsorption rate. Moreover, collisions of MHNTs-ALG with each other increase the possibility of desorption and prevent the formation of multilayer adsorption at high adsorbent dosages.

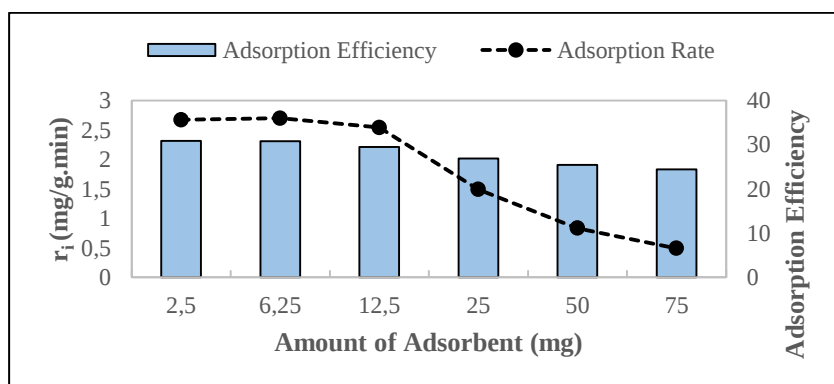


Figure 6: Effect of adsorbent amount on DB 71 initial adsorption rate and efficiency with MHNTs-ALG beads. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, initial concentration of DB 71: 50 mg/L, pH: 3, mass ratio of MHNTs-ALG: 2:2)

The time-dependent change in adsorption capacity at different adsorbent amounts is shown in Figure 7. When the study is performed with a low amount of MHNTs-ALG, the active surface area is used more effectively because less agglomeration occurs, the adsorption rates increase, and the system reaches the final adsorption equilibrium later, in approximately 180 minutes. At high adsorbent concentrations, the adsorption equilibrium is seen to be established in 5-10 minutes. According to this result, 6.25 mg (0.25 mg/mL) was chosen as the most suitable adsorbent amount in terms of process economy, and the following studies were conducted with this adsorbent amount.

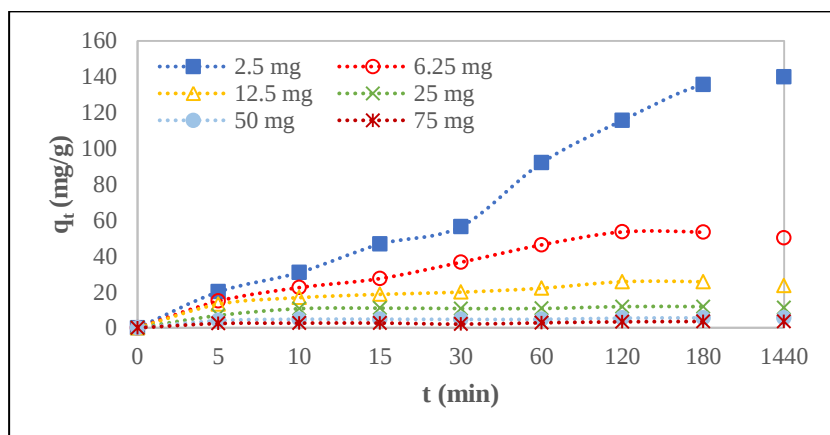


Figure 7: Change of DB 71 adsorption capacity with MHNTs-ALG beads by time at various amounts of adsorbent. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, initial concentration of DB 71: 50 mg/L, pH: 3, mass ratio of MHNTs-ALG: 2:2)

3.4. The Effect of the Mass Ratio of MHNTs to ALG

Experiments, in which the effect of different mass ratios of the components forming the composite on DB 71 adsorption was investigated, were carried out in 25 mL adsorption media with the medium pH adjusted to 3.0, a content of 6.25 mg adsorbent and an initial DB 71 concentration of 50 mg/L by changing the mass ratio of MHNTs to ALG.

Figure 8 demonstrates the variation of DB 71 adsorption capacity and efficiency with different mass ratios of MHNTs to ALG. Accordingly, as the mass ratio of MHNTs to ALG in MHNTs-ALG is increased, the adsorption capacity and efficiency of DB 71 are observed to increase. Since the DB 71 dye is anionic, it does not interact electrostatically with the negative active sites of ALG. An increased ratio of MHNTs leads to an increase of positive alumina groups of MHNTs within the composite beads. Thus, the anionic DB

71 dye interacts with positive alumina groups through electrostatic attraction forces, and adsorption increases. Furthermore, negative silica groups are more protonated at low pH values and increase the electrostatic attraction forces between DB 71 and MHNTs-ALG. Due to the explained reasons, the most suitable mass ratio of MHNTs to ALG was chosen as 3:2, and the following adsorption studies were conducted at this value.

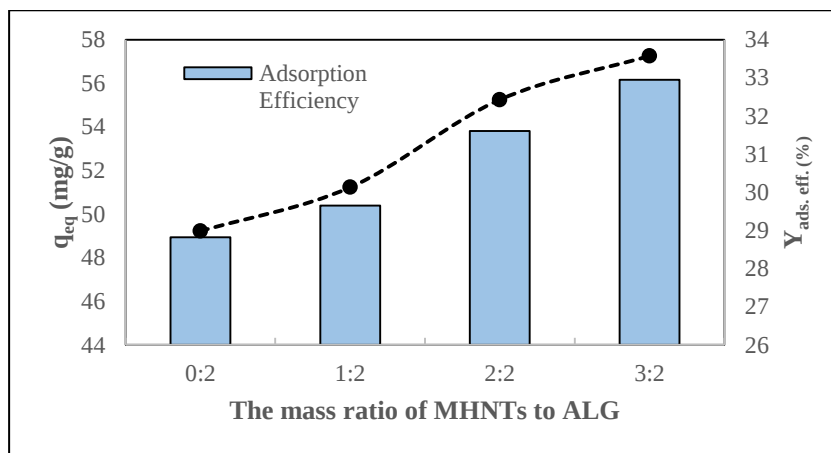


Figure 8: Effect of increasing mass ratio of MHNTs to ALG on DB 71 adsorption capacity and efficiency with MHNTs-ALG beads. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, initial concentration of DB 71: 50 mg/L, pH: 3, amount of adsorbent: 6,25 mg)

3.5. The Effect of DB 71 Concentration

In the experiments in which the effect of DB 71 concentration on adsorption was investigated, 6.25 mg with a mass ratio of MHNTs to ALG of 3:2 was added to 25 mL adsorption media with the pH adjusted to 3.0. The DB 71 concentration was increased between 30-500 mg/L.

Figure 9 shows that the adsorption capacity gradually increases, and the adsorption efficiency decreases as DB 71 concentration increases. At DB 71 concentrations above 400 mg/L, the increase in adsorption capacity gradually slows down, which shows that the adsorbent approaches its maximum adsorption capacity. Adsorption efficiency starts to decrease with an increase in DB 71 concentration above 200 mg/L.

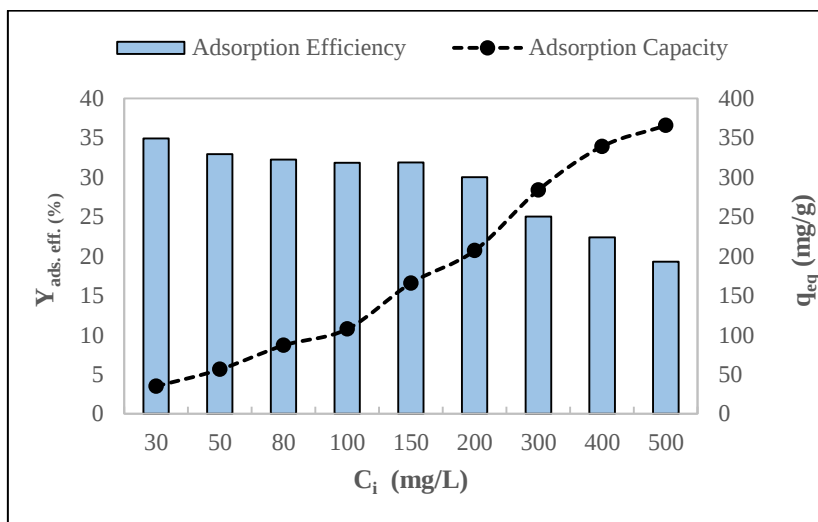


Figure 9: Effect of increasing initial concentration of DB 71 on DB 71 adsorption efficiency and capacity with MHNTs-ALG beads. (temperature: 25°C, solution volume: 25 mL, pH: 3, amount of adsorbent: 6,25 mg, mass ratio of MHNTs-ALG: 3:2)

3.6. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with Adsorption Equilibrium Models

To demonstrate the fit of the equilibrium adsorption capacity data obtained at different concentrations in DB 71 adsorption with the Langmuir, Freundlich, and Redlich-Peterson models, linear and nonlinear forms of the models were used. The constants of the models were calculated, and the model that best represented the DB 71 adsorption to MHNTs-ALG was determined.

The values of the adsorption parameters obtained from the linearized Langmuir Type-1, Type-2, and Freundlich models are given in Table 1, and the comparison of the model curves with the experimental values is presented in Figure 10. According to the results, the Langmuir Type-2 model with the regression coefficient value closest to 1.0 and the lowest mean relative error (MRE%) value is seen as the linearized model that fits the experimental data best.

Table 1: The values of the adsorption constants of DB 71, regression coefficients, and MRE (%) values calculated from the linearized Langmuir type-1 model, Langmuir-type-2 model, and Freundlich model.

Langmuir Model Type-1				
q _m (mg/g):	735,48	R ² :	0,9758	MRE (%): 3,43
K _L (L/mg):	0,0026			
Langmuir Model Type-2				
q _m (mg/g):	752,51	R ² :	0,9983	MRE (%): 3,39
K _L (L/mg):	0,0025			
Freundlich Model				
K _F (mg/g)(L/mg) ^{1/n} :	3,71	R ² :	0,9870	MRE (%): 7,47
n:	1,2633			

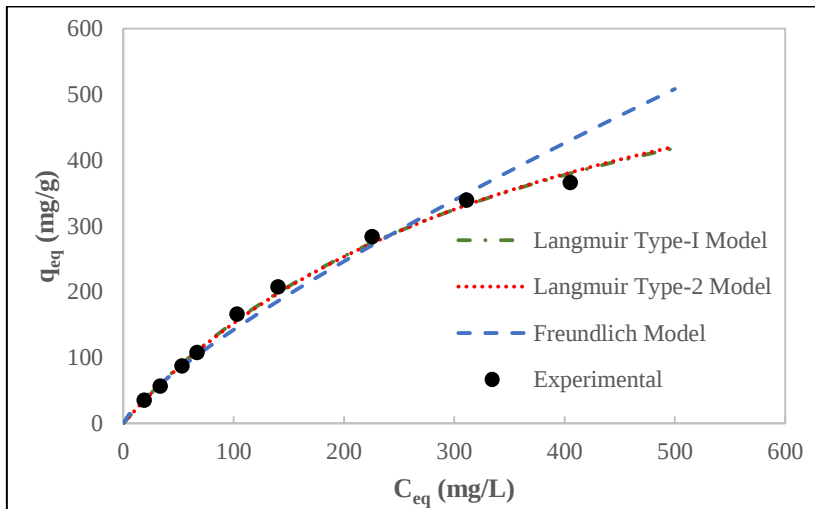


Figure 10: Comparison of experimental DB 71 equilibrium adsorption capacity, q_{eq} vs C_{eq} values and theoretical equilibrium adsorption isotherms obtained using linearized forms of Langmuir Model Type I and Type II and linearized form of Freundlich Model.

Nonlinear forms of the Langmuir, Freundlich, and Redlich-Peterson models were solved using the Solver add-in of Microsoft Excel 2016. The values of the adsorption constants of the Langmuir, Freundlich, and Redlich-Peterson models calculated in this way are presented in Table 2. In Figure 11, experimental q_{eq} vs C_{eq} values are compared with the theoretical model curves obtained according to the nonlinear models. The results show that the

coefficient of determination and mean relative error (MRE%) value of the Langmuir model have a better fit than the other models. q_m and K_L values calculated from the linearized Type-1, Type-2, and nonlinear Langmuir models are very close to each other. A β (the Redlich-Peterson constant) value close to one indicates that the Redlich-Peterson (Equation 4.9) model can be reduced to the Langmuir model. For this reason, the value of the $q_m \cdot K_L$ constant calculated from the Langmuir model gives a value close to the K_R constant in the Redlich-Peterson model.

Table 2: The values of the adsorption constants of DB 71, regression coefficients, and MRE (%) values calculated by non-linear regression of Langmuir model, Freundlich model, and Redlich-Peterson model.

Non-linear Langmuir Model			
q _m (mg/g)	682,86	R ² : 0,9967	MRE (%): 4,88
K _L (L/mg)	0,0030		
Non-linear Freundlich Model			
K _F (mg/g)(L/mg) ^{1/n}	6,87	R ² : 0,9814	MRE (%): 13,94
n:	1,4862		
Non-linear Redlich-Peterson Model			
K _R (L/g):	2,18	R ² : 0,9955	MRE (%): 5,92
a _R (L/mg):	0,0060		
β:	0,9		

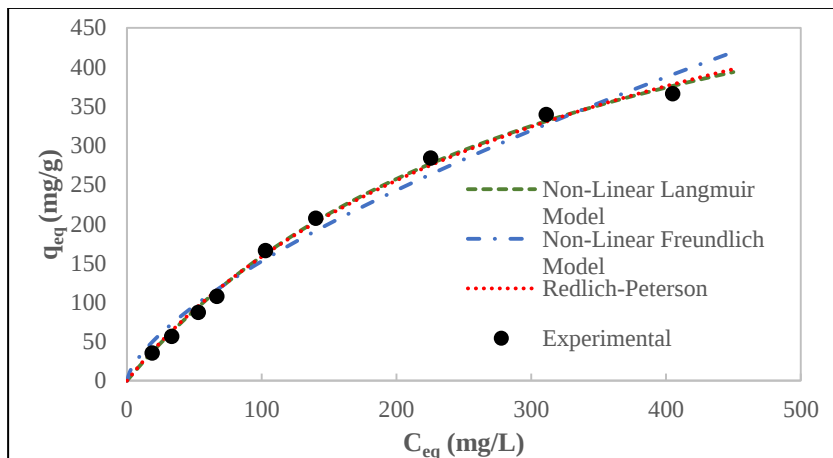


Figure 11: Comparison of experimental DB 71 equilibrium adsorption capacity, q_{eq} vs C_{eq} values and theoretical equilibrium adsorption isotherms obtained using non-linear forms of Langmuir Model, Freundlich Model and Redlich-Peterson Model.

When linear and nonlinear models are compared, the linearized Langmuir Type-2 model is observed to fit the experimental data best. The adsorption of DB 71 to MHNTs-ALG exhibits saturation-type adsorption in the concentration range studied, and Langmuir assumptions are valid.

3.7. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with Adsorption Kinetic Models

By using the adsorption capacity data obtained at different concentrations in DB 71 adsorption, fit of the adsorption with the pseudo-second-order kinetic model was analyzed. The nonlinear form of the pseudo-second-order kinetic model was solved using the Solver add-in of Microsoft Excel 2016. The second-order rate constants, which were calculated by linearizing the model and solving the nonlinear form with nonlinear regression, were compared. The results of the linearized Type-1 and Type-2 model fit are presented in Tables 3 and 4. The results of the nonlinear model fit are given in Figure 12 and Table 5.

Table 3: Theoretical adsorption equilibrium capacities and second-order adsorption rate constants of DB71 obtained by linearization of the pseudo-second order type-1 model.

C_i (mg/L)	q_e (mg/g)	K_2 (g/mg.min.)	R^2	MRE (%)
50	70,70	0,00031	0,9846	8,89
100	129,01	0,00015	0,9467	15,21
200	253,71	0,00007	0,9297	16,57
300	371,00	0,00004	0,9452	12,66
400	415,97	0,00004	0,9507	12,83
500	468,89	0,00004	0,9352	16,97

Table 4: Theoretical adsorption equilibrium capacities and second-order adsorption rate constants of DB71 obtained by linearization of the pseudo-second order type-2 model.

C_i (mg/L)	q_e (mg/g)	K_2 (g/mg.min.)	R^2	MRE (%)
50	48,46	0,00090	0,9659	13,46
100	81,79	0,00057	0,9662	13,23
200	127,80	0,00061	0,8040	23,88
300	185,87	0,00025	0,8828	21,57
400	221,22	0,00029	0,8358	22,04
500	223,20	0,00034	0,7539	28,08

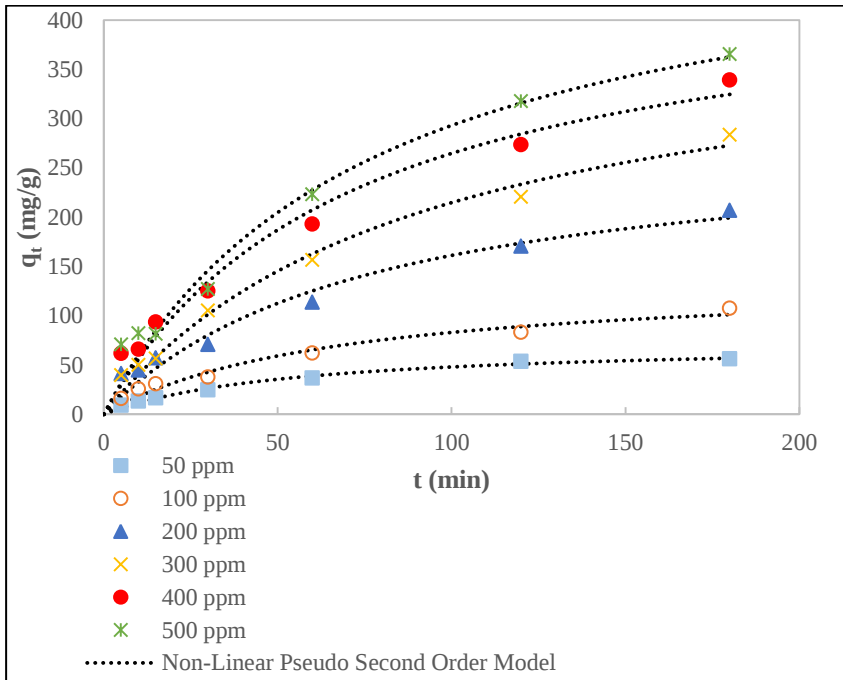


Figure 12: Compatibility of the experimental adsorption capacity data of DB 71 with the non-linear pseudo-second order model curves

Table 5: Theoretical adsorption equilibrium capacities and second-order adsorption rate constants calculated by non-linear regression of the pseudo-second order model.

C_i (mg/L)	q_e (mg/g)	K_2 (g/mg.min.)	R^2	MRE (%)
50	74,05	0,00025	0,9882	9,50
100	138,99	0,00011	0,9640	17,18
200	283,41	0,00005	0,9575	18,69
300	411,81	0,00003	0,9857	12,08
400	452,55	0,00003	0,9721	15,08
500	515,39	0,00003	0,9728	15,00

The equilibrium adsorption capacities and rate constants of the linearized models are presented in Tables 3 and 4. According to the results, the linearized pseudo-second-order Type-1 (Equation 4.11) model, which has lower mean relative errors (MRE%) and determination coefficients close enough to one, fits the experimental data better. A double-reciprocal plot of the pseudo-second order (type-2) model can give good estimates on q_{eq} , but not necessarily on K_2 . Because the error about the reciprocal of a data point is not generally symmetric. Data points at short time interval influence the slope and intercept more than at long time interval. The values of the second-order

adsorption rate constants and MRE% values obtained by the nonlinear regression of the pseudo-second-order model seem to be quite close to the values obtained by linearization. K_2 constants obtained by linearization decreased between 3.1×10^{-4} – 7×10^{-5} when the initial DB 71 concentration was increased up to 200 mg/L. K_2 values obtained with nonlinear regression decreased between 2.5×10^{-4} – 5.0×10^{-5} within the same concentration range. K_2 values obtained by both linearization and nonlinear regression remained constant at 3.5×10^{-5} (g/mg.min.) at initial DB 71 concentrations of 300–500 mg/L.

When the MRE%, R^2 values obtained by linearization and nonlinear regression are compared, MRE% values seem to be lower and R^2 values seem to be closer to one in nonlinear regression. Accordingly, q_e and K_2 values calculated by nonlinear regression can be reported to represent the DB 71 adsorption kinetics better.

3.8. Investigation of the Fit of DB 71 Adsorption to MHNTs-ALG with the Intraparticle Diffusion Model

In Figure 13, the fit of the equilibrium adsorption capacity data obtained experimentally with the intraparticle diffusion model (Equation 4.13) is observed. The intraparticle diffusion rate constants, K_{id} and intercept, C calculated from the Figure 13 are presented in Table 6.

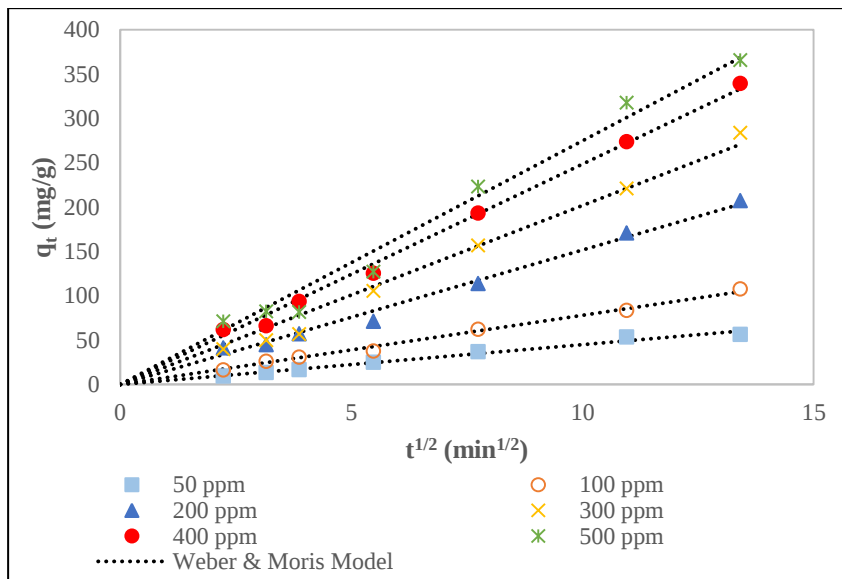


Figure 13: Compatibility of the experimental adsorption capacity data of DB 71 with the intraparticle diffusion model curves

Considering the Figure 13 and the results in Table 6, how the adsorption mechanism affects and the step limiting the total rate can be interpreted. The graph does not show a multiple linear case. Moreover, at all DB 71 concentrations, there is no intercept point with q_i axis at the beginning of the adsorption, and all the model curves passed through the origin. This shows that the step controlling the rate was not affected by boundary layer diffusion but only by pore diffusion.

Table 6: Intraparticle diffusion rate constants of DB 71.

C_i (mg/L)	K_{id} (g/mg.dk. ^{1/2})	C (mg/g)	R^2	MRE (%)
50	4,49	0	0,9817	5,99
100	7,80	0	0,9934	5,19
200	15,16	0	0,9899	7,48
300	20,18	0	0,9833	12,90
400	24,85	0	0,9949	6,19
500	27,47	0	0,9811	11,32

4. Conclusion

In this study, MHNTs-ALG was synthesized, and the adsorption of DB 71 from aqueous solutions was investigated. In the adsorption studies with DB 71 dye, adsorption did not take place at high pH values since DB 71 is an anionic dyestuff. As a result of the protonation of MHNTs-ALG at pH 2 and pH 3, DB 71 adsorption occurred, and the medium pH was selected as 3. As high initial adsorption rate, adsorption capacity and efficiency were obtained at the MHNT-ALG beads amount of 6.25 mg, it was determined as the optimum amount. After the adsorption experiments performed with mass ratios of MHNTs to ALG as 0:2, 1:2, 2:2, and 3:2 within MHNTs-ALG, the adsorption capacity and efficiency were observed to increase with the increased amount of MHNTs. The mass ratio of MHNTs to ALG of 3:2 was determined as the optimum mass ratio. With the increase in the positively charged alumina groups of MHNTs in the composite structure, the DB 71 adsorption capacity was observed to increase in DB 71 adsorption, which occurred rather with electrostatic interactions. In the studies conducted with different initial concentrations of DB 71 under the optimum conditions achieved, the equilibrium adsorption capacity of 365.51 mg/g was reached at the DB 71 concentration of 500 mg/L. It was revealed that the experimental data fit the linearized Langmuir Type-2 model best. When the kinetic models were examined, the nonlinear pseudo-second-order kinetic model was found to fit the results better. On the other hand, it was shown that the step controlling the rate in the adsorption mechanism originated from only pore diffusion via the intraparticle diffusion model.

5. References

- Abbasi, M. (2017). Synthesis and characterization of magnetic nanocomposite of chitosan/SiO₂/carbon nanotubes and its application for dyes removal. *Journal of Cleaner Production*, 145, 105-113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.046>
- Bhagyaraj, S., & Krupa, I. (2020). Alginate–Halloysite Nanocomposite Aerogel: Preparation, Structure, and Oil/Water Separation Applications. *Biomolecules*, 10(12). doi:10.3390/biom10121632
- Bo, L., Gao, F., Shuangbao, Bian, Y., Liu, Z., & Dai, Y. (2021). A novel adsorbent Auricularia Auricular for the removal of methylene blue from aqueous solution: Isotherm and kinetics studies. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101576. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101576>
- Chiew, C. S. C., Yeoh, H. K., Pasbakhsh, P., Krishnaiah, K., Poh, P. E., Tey, B. T., & Chan, E. S. (2016). Halloysite/alginate nanocomposite beads: Kinetics, equilibrium and mechanism for lead adsorption. *Applied Clay Science*, 119, 301-310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.10.032>
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (Second ed.). London: Clarendon Press.
- Ebadollahzadeh, H., & Zabihi, M. (2020). Competitive adsorption of methylene blue and Pb (II) ions on the nano-magnetic activated carbon and alumina. *Materials Chemistry and Physics*, 248, 122893. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122893>
- Elmorsi, R. R., El-Wakeel, S. T., Shehab El-Dein, W. A., Lotfy, H. R., Rashwan, W. E., Nagah, M., Abou-El-Sherbini, K. S. (2019). Adsorption of Methylene Blue and Pb²⁺ by using acid-activated *Posidonia oceanica* waste. *Scientific Reports*, 9(1), 3356. doi:10.1038/s41598-019-39945-1
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Freundlich, H. (1907). Über die Adsorption in Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 57U(1), 385-470. doi:doi:10.1515/zpch-1907-5723

- Gao, X., Guo, C., Hao, J., Zhao, Z., Long, H., & Li, M. (2020). Adsorption of heavy metal ions by sodium alginate based adsorbent—a review and new perspectives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4423-4434. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.046>
- Khani, R., Sobhani, S., Beyki, M. H., & Miri, S. (2018). Application of magnetic ionomer for development of very fast and highly efficient uptake of triazo dye Direct Blue 71 from different water samples. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150, 54-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.018>
- Kumar, K. V. (2006). Linear and non-linear regression analysis for the sorption kinetics of methylene blue onto activated carbon. *J Hazard Mater*, 137(3), 1538-1544. doi:[10.1016/j.jhazmat.2006.04.036](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.036)
- Kushwaha, A., Rani, R., & Patra, J. K. (2020). Adsorption kinetics and molecular interactions of lead [Pb(II)] with natural clay and humic acid. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1325-1336. doi:[10.1007/s13762-019-02411-6](https://doi.org/10.1007/s13762-019-02411-6)
- Langmuir, I. (1916). The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, 38(11), 2221-2295. doi:[10.1021/ja02268a002](https://doi.org/10.1021/ja02268a002)
- Luo, H., Liu, Y., Lu, H., Fang, Q., & Rong, H. (2021). Efficient Adsorption of Tetracycline from Aqueous Solutions by Modified Alginate Beads after the Removal of Cu(II) Ions. *ACS Omega*, 6(9), 6240-6251. doi:[10.1021/acsomega.0c05807](https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05807)
- Nkutha, C. S., Shooto, N. D., & Naidoo, E. B. (2020). Adsorption studies of methylene blue and lead ions from aqueous solution by using mesoporous coral limestones. *South African Journal of Chemical Engineering*, 34, 151-157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.08.003>
- Polat, G., & Açıkel, Y. S. (2019). Synthesis and Characterization of Magnetic Halloysite–Alginate Beads for the Removal of Lead(II) Ions from Aqueous Solutions. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(9), 1971-1987. doi:[10.1007/s10924-019-01489-w](https://doi.org/10.1007/s10924-019-01489-w)
- Redlich, O., & Peterson, D. L. (1959). A Useful Adsorption Isotherm. *The Journal of Physical Chemistry*, 63(6), 1024-1024. doi:[10.1021/j150576a611](https://doi.org/10.1021/j150576a611)

- Reza, M. (2018). Adsorption of Azo Dye Direct Blue 71 from Aqueous Solution Using $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{CP}$ Nanoparticles: Kinetic and Isotherm Model. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 92(13), 2781-2789. doi:10.1134/S0036024418130277
- Selene I. Nava-Rosales, R. C.-M., Ruth Alfaro-Cuevas-Villanueva. (2020). Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies on Adsorption of Direct Blue 71 from Aqueous Solutions by Calcium Alginate Beads. *International Journal Of Engineering Research & Technology*, 09(12).
- Wawrzekiewicz, M., Bartczak, P., & Jesionowski, T. (2017). Enhanced removal of hazardous dye from aqueous solutions and real textile wastewater using bifunctional chitin/lignin biosorbent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 754-764. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.023
- Wu, D., Zhang, L., Wang, L., Zhu, B., & Fan, L. (2011). Adsorption of lanthanum by magnetic alginate-chitosan gel beads. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 86(3), 345-352. doi:https://doi.org/10.1002/jctb.2522
- Wu, Y., Zhang, Y., Ju, J., Yan, H., Huang, X., & Tan, Y. (2019). Advances in Halloysite Nanotubes-Polysaccharide Nanocomposite Preparation and Applications. *Polymers (Basel)*, 11(6). doi:10.3390/polym11060987
- Zhang, M., Yin, Q., Ji, X., Wang, F., Gao, X., & Zhao, M. (2020). High and fast adsorption of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by a waste biomass based hydrogel. *Scientific Reports*, 10(1), 3285. doi:10.1038/s41598-020-60160-w

**Natural and Technology
Sciences**

CHAPTER 13



**Yüksek Fırın Cüruflu Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı
Etkisi
(Murat Çavuş, Şinasi Bingöl)**

Yüksek Fırın Cürüflü Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı Etkisi

Murat Çavuş¹, Şinasi Bingöl²

¹*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Müh. Ve Mimarlık Fakültesi/ İnşaat Müh. Böl.,
E-mail: murat.cavus@gop.edu.tr*

²*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Müh. ve Mimarlık Fakültesi/ İnşaat Müh. Böl.,
E-mail: sinasi.bingol@gop.edu.tr*

1.Giriş

Çimento üretiminde kullanılan ham maddelerin yanı sıra, üretimi esnasında açığa çıkan gazlar çevre kirliliğine yol açmaktadır. Çimentolu bileşiklerin bir diğer eksik yönü de çevresel etkilere karşı yeterli dayanıklılığa sahip olmamasıdır. Ayrıca Portland çimentosu kullanımı bazı durumlarda ekonomik olmamaktadır. Bahsi geçen ekonomik ve çevresel etkiler, Portland çimentosuna alternatif bağlayıcı malzeme arayışını cazip hale getirmektedir. Bu anlamda son yıllarda yapılan çalışmalarda, yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) gibi endüstriyel atıkların kullanımı yaygın hale gelmektedir [1-3].

Puzolanik malzemelerle çimento gibi bağlayıcı özellikler taşıyan yeni bir malzeme geliştirilmiştir. Geopolimerizasyon olarak da bilinen alkali aktivasyon olayı, yüksek alkali özellik taşıyan aktivatörlerle silis ve alüminli malzemelerin çözülmesiyle oluşmaktadır [4]. Böylece yüksek fırın cürufu, taban külü ve uçucu kül gibi bünyesinde Al_2O_3 , SiO_2 ve CaO içeren amorf karakterli malzemeler, alkali aktivatörlerle çimentoya benzer bağlayıcı yapı kazanmaktadır. Yüksek fırın cürufunun alkali aktivatörlerle reaksiyonunda çimentonun C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) jeline benzer bir yapı oluşmaktadır [5]. Uçucu külün aktivasyonunda ise ‘geopolimer’ adı verilen amorf yapıdaki inorganik polimerler oluşmaktadır [6,7]. Ancak geopolimerli karışımların portland çimentolu sistemlerle mukayese edebilen dayanımlara erişebilmesi için 40 ila 80 °C’de 6 saat veya daha fazla kür gerektiren çalışmalar, literatürde daha yoğun bulunmaktadır [8, 9].

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, kaolinitik killer, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, uçucu kül-cüruf karışımları, metakaolin-uçucu kül karışımları, uçucu kül ile kaolin ve bir tür zeolit minerali olan stilbite gibi kalsine olmamış maddelerin karışımları kullanılmıştır. Bu amorf karakterli endüstriyel atık malzemeler bir aktivatör vasıtasıyla aktive edilerek bir bağlayıcıya dönüştürülmektedir. En çok kullanılan aktivatörler, sodyum veya potasyum hidroksit ($NaOH$, KOH) ile sodyum cam suyu ($nSiO_2Na_2O$) veya

potasyum cam suyu ($n\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$) karışımlarıdır. En uygun aktivatör, hidroksitler ve çözünebilen silika ile üretilmektedir [6,10].

Geopolimerlerin kimyasal bileşenleri doğadaki zeolitik malzemelere benzemektedir, mikro yapıları ise amorf özellik göstermektedir. Polimerleşme ile alkali çözelti içindeki Si-Al mineralleri üzerinde yeterli sayıda ve hızlı kimyasal reaksiyonlar sonucunda Si-O-Al-O bağlarında geopolimeri oluştururlar. Araştırmacılar serbest silis ve alümin içeren malzemelerin alkalilerle aktivasyonunun; alüminosilikatların kuvvetli alkali çözeltiye çözünmesi, serbest iyon gruplarının dağılması ve polikondensasyon olmak üzere üç aşamada oluştuğunu, bu oluşumun hızlı ve karışık reaksiyonlar sonucu tamamlandığını belirtmişlerdir. Literatürde geopolimerlerin genelde; Poli (sialit) [-Si-OAl-O-], Poli (sialit-silokso) [-Si-O-Al-O-Si-O-] ve Poli (sialit-disilokso) [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-] bağ yapılarından birinde oluştuğu belirtilmektedir [11,12].

Alkali ile aktive edilerek üretilen geopolimerler, enerji tasarrufu, kirli gazların düşük mertebelerde kalmasını (CO_2 , SO_2 , NO_x vb.) ve doğal kaynaklar yerine atıklar kullanılarak çevrenin daha az zarar görmesini sağlamaktadır [13,14]. Ayrıca, atık malzemelerin kullanılmasıyla depolama problemleri de azalmaktadır. Geopolimerlerle üretilen betonlar, normal Portland çimentolu betonlara göre erken ve daha yüksek dayanım, daha düşük hidratasyon ısı, agresif kimyasallara ve donma-çözülme etkilerine karşı daha iyi dayanıklılık, daha güçlü agrega-matris aderansı göstermektedir [15-19].

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu, NaOH ile aktive edilerek geopolimer harçlar elde edilmiştir. Karışımlarda alkali aktivatör miktarı, 5, 10, 15 ve 20 M olarak 4 farklı oranda kullanılmıştır. 40x40x160 mm'lik kalıplara yerleştirilen harçlar 24 saat 50, 75 ve 100 °C kür sıcaklığına tabi tutulmuş ve elde edilen sertleşmiş harçların 1., 7. ve 28. günlerinde mekanik ve fiziksel özellik testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çözelti molaritesi ve kür sıcaklığı üzerinden tartışılmıştır.

2. Materyal ve metot

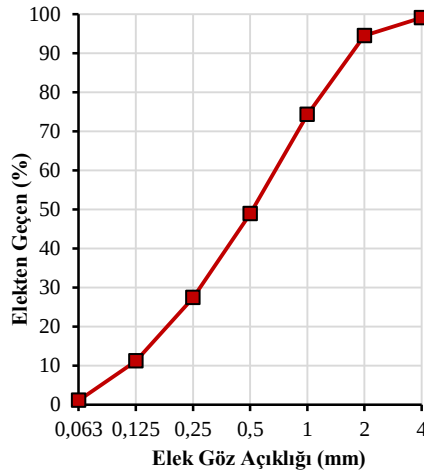
2.1. Materyal

Yapılan çalışmada bağlayıcı olarak YFC, alkali aktivatör olarak NaOH, agrega olarak dere kumu ve su kullanılmıştır. İskenderun demir-çelik fabrikasından temin edilen YFC'na ait kimyasal içerik Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. YFC'nin kimyasal içeriği (%)

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	MnO	SO_3
YFC	38,8	13,48	1,36	4,32	34,36	0,31	1,36	1,75

Alkali aktivasyonu için beyaz renkte nem çekici (higroskopik) katı pelet halinde % 99 saflıkta NaOH, belli miktarlarda su ile karıştırılmış, soğuyana kadar bekletilmiş ve çözelti halinde karışımlara ilave edilmiştir. Yüksek sıcaklık altında numunedeki su malzemeyi terk ederek uzaklaşmaktadır. Literatürde Geopolimer harçlarda kullanılan suyun reaksiyona bir etkisinin olmadığı sadece harcın işlenebilmesi için gerektiği belirtilmiştir [12]. Karışımlarda maksimum dane çapı 3 mm olan ve Tokat bölgesinden elde edilen dere kumu kullanılmıştır. Kum için yapılan elek analizi sonucuna ait grafik Şekil 1’de verilmiştir. Kumun maksimum yoğunluğu 2,3 g/cm³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Kumun granülometri eğrisi

2.2. Metot

Deneyssel çalışmada NaOH, karışım suyunda eritilerek molaritesi 5, 10, 15 ve 20 M olan çözeltiler elde edilmiştir. NaOH suyun sıcaklığını artırdığı için çözelti kullanılmadan önce oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak 450 gr YFC, 250 ml su ve 1350 gr dere kumu kullanılmıştır. Dört farklı alkali oranı ve 3 farklı kür sıcaklığı için 12 seri ve toplamda 108 numune hazırlanmıştır (Tablo 2). Numune isimlendirmesinde rakamsal olarak sırasıyla molarite ve kür sıcaklığı verilmiştir.

Tablo 2. Geopolimer harç örnekleri ve uygulanan kür prosesi

Seri Kodu	Kür Sıcaklığı (°C)	Molarite (M)	YFC (g)	Kum (g)	Su (ml)	NaOH (g)
N05_50	50	5	450	1350	250	50
N10_50		10	450	1350	250	100
N15_50		15	450	1350	250	150
N20_50		20	450	1350	250	200
N05_75	75	5	450	1350	250	50
N10_75		10	450	1350	250	100
N15_75		15	450	1350	250	150
N20_75		20	450	1350	250	200
N05_100	100	5	450	1350	250	50
N10_100		10	450	1350	250	100
N15_100		15	450	1350	250	150
N20_100		20	450	1350	250	200

Taze harç üretiminde ilk olarak; kum ile YFC kuru olarak karıştırılmış, başka bir kapta hazırlanan alkali çözelti karıştırıcıya konmuş daha sonra kuru karışım eklenerek TS EN 196-1'e göre taze geopolimer harcı elde edilmiştir. Elde edilen taze harçlar Şekil 2 de görüldüğü gibi 40x40x160 mm'lik üçlü prizma kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan harçlar 24 saat boyunca 50, 75 ve 100 °C ısı küre tabi tutulmuşlardır. Geopolimer harçlar ısı küre işlemlerinin ardından fiziksel ve mekanik özellik testlerinin yapılacağı güne kadar laboratuvar ortamında ve 22±2 °C'lik ısıda muhafaza edilmiştir. Laboratuvar koşullarında bekletilen harçların 1, 7 ve 28. günde dayanım gelişimleri, 28. gün için ise ultrases geçiş hızı ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.



Şekil 2. Numunelerin hazırlanması, eğilme ve basınç dayanımı testlerinin yapılması

Harçların eğilme ve basınç dayanım özellikleri TS EN 1015-11, 2020'ye göre belirlenmiştir. Mekanik testler için otomatik kontrollü laboratuvar tipi çimento presleri kullanılmıştır (Şekil 2). Geopolimer harçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi sırasında ise; örnekler önce suya doygun hale getirilmiş daha sonra su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları ve suya doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3). Ardından ilgili örnekler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tekrar tartılarak etüv kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla örneklerin; birim hacim ağırlıkları ve görünen porozite değerleri TS EN 197-1, 2009'a göre, su emme değerleri ise TS EN 771-1, 2005'e göre belirlenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında bekletilen numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C 597, 2009'a göre yapılmıştır (Şekil 3). Deney sonuçları yorumlanırken her bir seriden üç sonucun aritmetik ortalaması alınarak kullanılmıştır.



Şekil 3. Harçlara ait fiziksel özellik belirleme ve ultrases hızı ölçümü deneyi düzenekleri

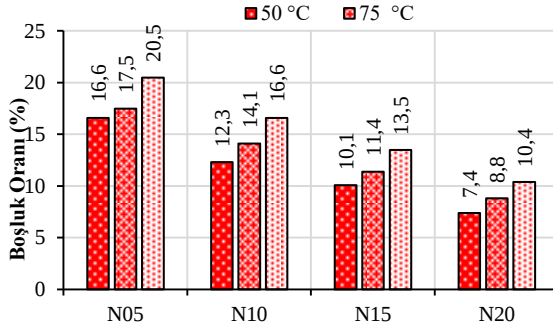
3. Bulgular ve tartışma

3.1. Fiziksel özellikler

28 günlük geoplimer harçlar üzerinde yapılan porozite deneyine ait sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar karışımlarda kullanılan aktivatörün molaritesi ve kür sıcaklığı açısından değerlendirilmiştir. Geopolimerler üzerinde yapılan porozite deneyi ile boşluk oranları %7,4-20,5 aralığında ölçülmüştür. Deneyisel çalışma sonunda en yüksek boşluk oranı değeri %20,5 ile 100 C°'de küre tabi tutulmuş olan 5M NaOH içeren N10_100 numunesinde ölçülürken en düşük boşluk oranı değeri ise %7,4 ile 50 C°'de kür yapılan N20_50 numunesinde ortaya çıkmıştır. Karışımlarda kullanılan çözeltinin molaritesinin artıyor olması boşluk oranlarının azalmasına katkı sağladığı görülmüştür. Su miktarının sabit tutulduğu bu çalışmada, çözelti hazırlamada kullanılan NaOH miktarının artması oransal olarak karışımda katı madde miktarını artırmaktadır. Muhtemelen ilerleyen günlerde kristalize olan NaOH harçlardaki boşluk oranlarının düşmesine sebep olmaktadır [18,20].

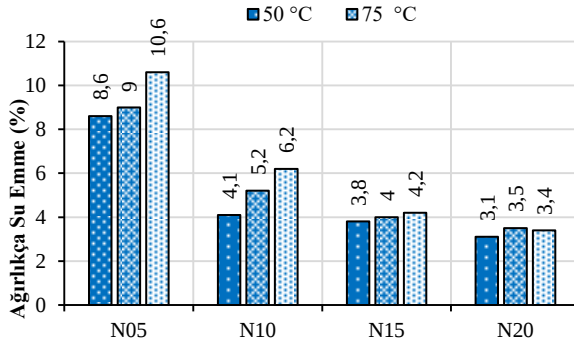
Sonuçlar kür sıcaklığı açısından değerlendirildiğinde ise en iyi sonuçlar 50 °C de elde edilmiştir. Molarite açısından da en iyi sonuçların alındığı 20 M NaOH'in kullanıldığı harçlarda 50 °C ile 100 °C arasındaki fark %29 çıkarken, 5M NaOH kullanılan harçlarda aynı sıcaklıklar için bu oran %19 olarak hesaplanmıştır. Molaritesi düşükten yükseğe doğru sıcaklık artışının aynı numuneler içinde oransal olarak daha fazla boşluk oluşmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde bazı benzer çalışmalarla kıyaslandığında Tekin [21] yaptığı çalışmada 0,5 bağlayıcı su oranına sahip örneklerden daha iyi sonuçlar alınırken, Çelikten ve Atabey [7]

yaptıkları çalışmada elde ettikleri maksimum boşluk oranından daha fazla çıkmıştır.



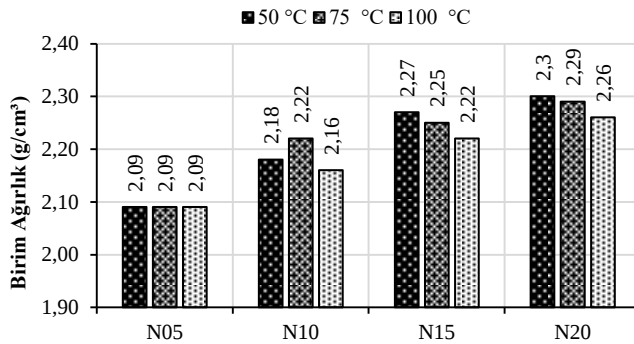
Şekil 4. Harçlara ait porozite oranlarının molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

Su emme oranlarına ait sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek su emme oranları 5 M NaOH'ın kullanıldığı örneklerde ölçülmüştür. Yine bunlar içinde en yüksek oran ise %10,6 ile 100 c de küre maruz bırakılan N05_100 numunesinde saptanmıştır. En düşük su emme oranı ile en yüksek su emme oranlarının elde edildiği harçlar sırasıyla N20_50 ile N05_50 olarak tespit edilmişti. 50 °C de küre tabi tutulan bu iki numune arasındaki su emme oranı farkı molaritenin artmasına bağlı olarak %178 oranında bir azalmaya uğradığı görülmüştür. Genel olarak bakıldığında molaritenin artması su emme oranlarının azalmasında etkili olmuştur. Kür sıcaklığı açısından bakıldığında en iyi değerler 50 °C de elde edilmiştir. Çavuş ve Ağaoğlu [9] çalışmalarında NaOH oranının artmasıyla su emme oranının azaldığını ifade etmişlerdir ki bu çalışmada da benzer bir sonuç elde edilmiştir. Sertleşmiş geopolimer harç örneklerinde ölçülen porozite oranlarıyla da paralellik göstermektedir. Porozite su emme oranı kıyaslandığında; 5 M NaOH kullanılan harçların su emme oranların boşluk miktarının yaklaşık %50 si iken diğer serilerde ortalama yaklaşık %30'u olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Harçlara ait su emme oranlarının molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

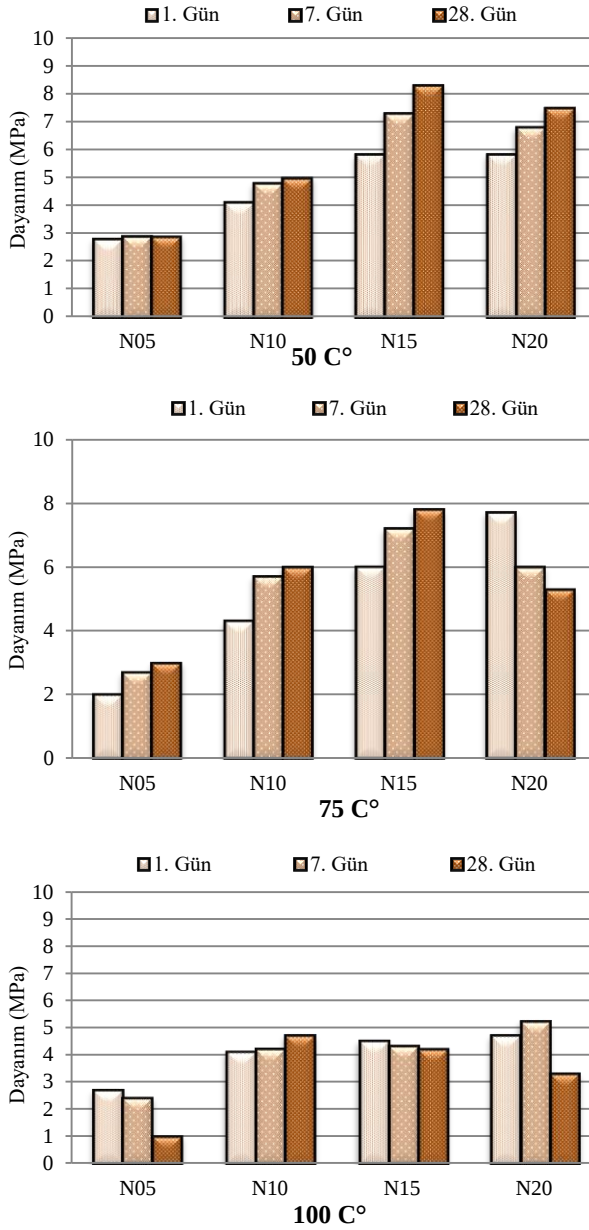
Deneyssel çalışmada üretilen harçların birim ağırlıkları Şekil 6'da verilmiştir. Tüm sıcaklıklarda geopolimer harçların birim ağırlıklarının çözeltideki NaOH'ın artmasıyla daha büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. Harçlarda en yüksek birim ağırlık değeri 2,3 g/cm³ ile N20_50 kodlu harçlarda gözlenirken, en düşük birim ağırlık değeri 2,09 g/cm³ ile 5 M NaOH'ın kullanıldığı tüm kür sıcaklıklarında ortaya çıkmıştır. Burada 10 M NaOH'ın kullanıldığı serilerin dışındaki tüm harçlarda 50 °C kür sıcaklığının birim ağırlıkların azalmasında etkili olduğu görülmektedir. Binici ve ark. [22], yaptıkları çalışmada birim ağırlıklar 2,38-2,53 g/cm³ aralığında çıkmışken, bu çalışmada 2,26-2,30 g/cm³ aralığında tespit edilmiştir. Birim ağırlık sonuçları porozite deneyinde elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında bir tutarlılık olduğundan söz edilebilir. Literatüre benzer bir şekilde su emme oranlarının birim ağırlık deneyi sonucu elde edilen değerlerle paralellik gösterdiği görülmüştür. [23, 24].



Şekil 6. Harçlara ait birim ağırlıkların molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

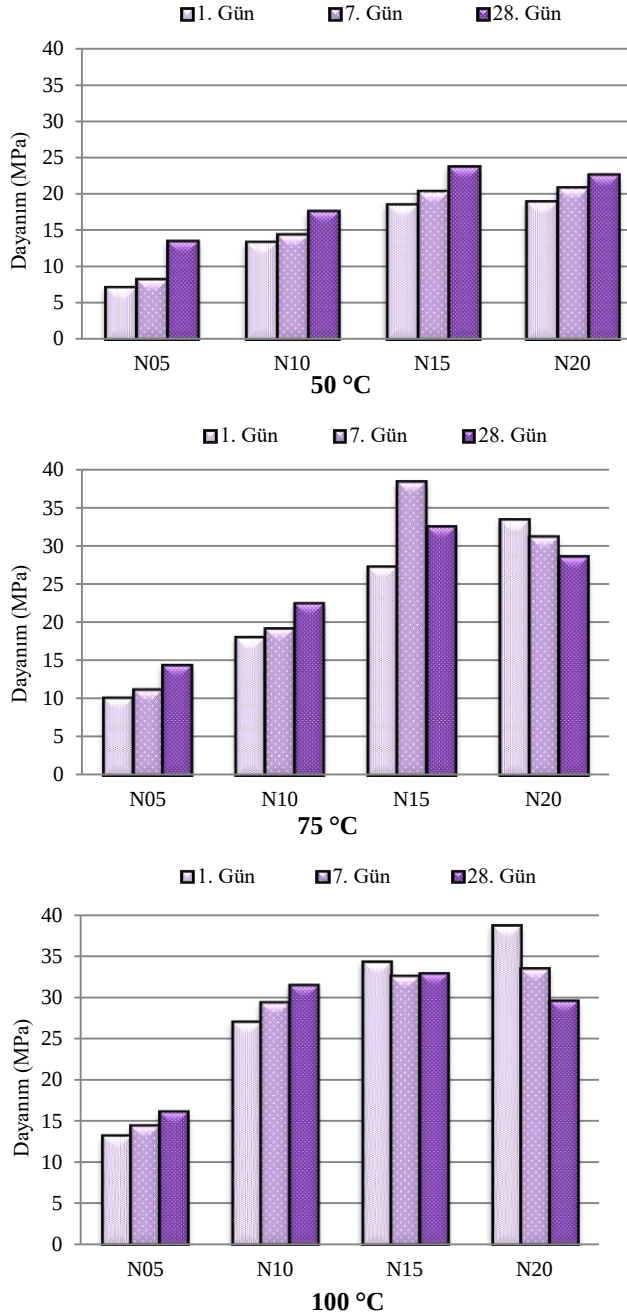
3.2. Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri

Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan eğilme dayanımına ait sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Eğilme testleri sonucunda en yüksek dayanım değerine 50 °C kür koşullarında ve 15 M NaOH kullanılan numunelerin 28. gününde ulaşılmıştır. Tüm kür sıcaklıklarında ve tüm NaOH oranlarının 28. güne kadar olan tüm numunelerde 2 MPa üzerinde eğilme dayanımı elde edilmiştir. 50 °C kür koşullarında elde edilen numunelerin tüm yaş ve NaOH oranlarında diğer kür şartlarına göre daha iyi sonuçlar çıktığı görülmüştür. Bu sıcaklık için en yüksek eğilme dayanımı değeri birinci günde ve 20 M NaOH kullanıldığı durumda ortaya çıkmıştır. 100 °C kür şartlarında elde edilen harç numuneleri için ise en büyük değer 20 M NaOH'ın kullanıldığı örneklerde görülmüştür. Eğilme dayanımı açısından tüm sıcaklıklar için grafikler incelendiğinde, 50 °C'de genel olarak, zaman ve NaOH oranına göre dayanımların arttığı görülürken, 75 ve 100 °C'de kür edilen numunelerin eğilme dayanımlarında doğrusal bir artıştan bahsedilememektedir. Özellikle 100 °C'de kür edilen numunelerin eğilme dayanımlarının 28. günden itibaren ya eşit kaldığı ya da düştüğü görülmektedir. Tüm kür sıcaklıklarında 5 M NaOH katkısının sertleşmiş harç numunelerindeki eğilme dayanımı 3 Mpa'ın üzerine çıkaramadığı görülmüştür.



Şekil 7. Sırasıyla 50, 75 ve 100 °C’de küre tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Geoplimer harç örnekleri üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerine ait sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir. Çözeltideki NaOH oranının artmasının genel olarak daha yüksek basınç dayanımı elde edilmesinde olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Burada NaOH’in YFC’nin aktivasyonunda önemli bir rol oynadığı görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı değerleri 75 °C’de 15 M ve 100 °C’de 20 M NaOH içeren harçlarda ölçülmüştür. Bunun dışında kür sıcaklığına göre elde edilen basınç dayanımları sırasıyla 50 °C için 23,7 Mpa, 75 °C için 38,5 Mpa ve 100 °C için 38,8 Mpa olarak tespit edilmiştir. Literatürde geopolimer harçlar için kür sıcaklık ile ilgili yapılan çalışmalarda alkali aktivasyonun sıcaklık artışıyla dayanım değerlerinin de yükseldiğini göstermektedir [22,24,25]. Ancak burada elde edilen sonuçlarda doğrusal bir dayanım kazanma hızının 50 °C de gerçekleştiği görülmektedir. Bu sıcaklıkta tüm serilerin birinci ve 28. günlerindeki dayanımlarında doğrusal bir artış saptanmıştır. Buna karşın diğer sıcaklıklarda bu doğrusallık 10 M NaOH oranından sonra bozulmaktadır. Özellikle 20 M NaOH kullanılan serilerde 75 ve 100 °C’de ilerleyen yaşlarda dayanım kayıpları oluşmuştur. Bu kayıplar 75 °C de %15’lerdeyken, 100 °C’de %23’lere kadar ulaştığı görülmüştür. Dayanım kayıplarında yüksek sıcaklıklarda küre maruz bırakılan malzemenin hücresel suyunu kaybetmesinin ve zamanla gelişen çatlakların sebep olduğu görülmektedir [26].

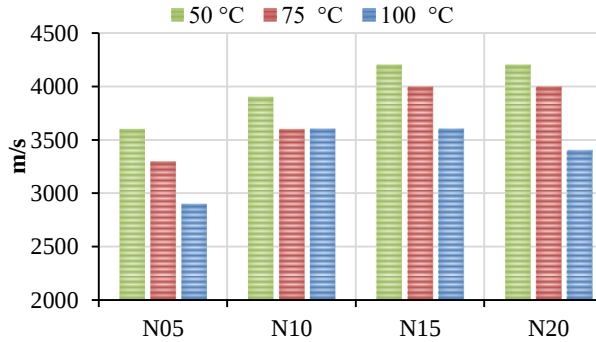


Şekil 8. Sırasıyla 50, 75 ve 100 °C’de küre tabi tutulan numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi

ASTM C 597 standardına göre yapılan ultrases geçiş hızı deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. P dalgası iletimi yoluyla malzemelerin yoğunluğu hakkında bilgi veren bu yöntem dayanım ile doğrudan ilişkili değildir [27,28]. Yoğunluğu az olan geopolimerde, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir geopolimerde, P dalgasının geopolimerin bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Geopolimer içerisindeki boşluk miktarı arttıkça P dalgasının hızı daha küçük olmaktadır [22].

Genellikle daha yüksek sıcaklıkta aktive edilen örneklerde ultrases geçiş hızı daha düşük bulunmuştur. Buna karşın 50 °C de küre tabi tutulan numenlerin ultrases geçiş hızı daha yüksek ölçülmüştür. 90. günde yapılan ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. Ultrases dalgaları ne kadar az boşluğa rastlarsa o kadar kısa sürede ilerleyeceğinden, Şekil 9'dan da anlaşıldığı gibi Ultrases geçiş deneyi sonuçları incelendiğinde geopolimer serilerinin ses üstü dalga geçiş hızlarından nasıl bir dayanım özelliği sergileyeceği konusunda genel bir yargıya varılamamaktadır. Zeolitin kapalı gözenekli yapısının geopolimerin bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturduğu bunun da sesin geçişini engellediği (sönümlediği) düşünülmektedir [29]. Porozite değerleri ile Ultrases geçirgenlik hızları arasında ise doğrusal bir ilişki bahsedilebilir. Boşluk oranı daha düşük olan 50 °C de küre tabi tutulan numenlerin tüm serilerinde ultrases geçiş hızında benzer özellik görülmüştür.



Şekil 9. Harçlara ait ultrases hızı geçiş hızı deneyi sonuçları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada YFC, NaOH ile aktive edilerek üretilen geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kür sıcaklığı ve NaOH molaritesi, YFC esaslı geopolimerin mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde belirlemiştir. Optimum sıcaklık ve molarite, geopolimerizasyon reaksiyonunu ve dolayısıyla yapısal bütünlük ile mukavemet gelişimini arttırmıştır. Ancak aşırı ısınma (çok yüksek sıcaklık) kılcal çatlakların artışına ve dolayısıyla mukavemet azalmasına neden olmuştur.

YFC bazlı geopolimer harçların eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti, optimum NaOH içeriğine kadar NaOH'nin molaritesinin artmasıyla artmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın bulguları, yüksek ısıyla kürlenmenin erken dayanımların artmasına ancak ilerleyen yaşlarda dayanımların düşmesine neden olduğunu göstermiştir. Yüksek molaritenin 50 °C kür şartlarında geopolimerlerin mukavemetinin zamanla artmasına, ancak diğer sıcaklıklarda üretilen harçlarda düzensiz bir dayanım artışı dağılımına sebep olmuştur. Diğer sıcaklıklarda optimum NaOH oranına kadar dayanım artışları görülürken belirli bir orandan sonra sıcaklığa da bağlı olarak dayanım kayıpları yaşanmıştır. Özellikle 20 M NaOH kullanılan karışımların 28. gününde dayanım kayıpları diğer tüm serilerden fazladır.

Düşük molariteye sahip çözelti ile yapılan YFC bazlı geopolimer harçlarda daha gözenekli bir yapı oluşmuş ve buna bağlı su emme oranlarında belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Birim ağırlıklar da ise molaritenin artmasıyla artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, harç üretiminde YFC'nin geri dönüştürülmesi için geopolimer sentezine dayalı yenilikçi bir mühendislik çözümünü göstermiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri göz önüne alındığında, en iyi sonuçların 50 °C ve 75 °C'de 15 M, 100 °C'de ise 10 M ve 15 M NaOH ile aktifleştirilmiş YFC bazlı geopolimerlerde orta çıktığı görülmüştür.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %16

5. Kaynaklar

- [1] Baradan B., Yazıcı H. ve Aydın S. Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, pp.26-47, 2012.
- [2] İlkentapar, S., Örklemmez, E., Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Harçlara Diatomit İkamelerinin Isı İletkenliğe Etkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 36(3): 312-324, 2020. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/59314/799833>

- [3] Kaya, M., Yüksek ve Düşük Kalsiyum İçeren Uçucu Küller ile Üretilen Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Doğa ve Fen Dergisi*, 9(2):96-104, 2020. <https://doi.org/10.46810/tdfd.782054>
- [4] Görhan G.ve Kürklü G. The Influence of the NaOH Solution on the Properties of the Fly Ash-Based Geopolymer Mortar Cured at Different Temperatures. *Composites: Part B*, 58: 371-377, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.082>
- [5] Sanjayan Jay G., Nazari A., Chen L., Nguyen G. H. Physical and mechanical properties of lightweight aerated geopolymer, *Construction and Building Materials*, 79: 236-244, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.043>
- [6] Aydın, S., Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Bağlayıcılı Lifli Kompozit Geliştirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Türkiye*, 2010.
- [7] Çelikten S. ve Atabey İ. İ. Su içeriği ve ısıl kür süresinin atık bazalt tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1):328-332, 2021. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.836998>
- [8] Çelikten, S., Atabey, İ.İ., Farklı silis ve alümin kaynaklarının atık mermer tozu esaslı alkali ile aktive edilmiş harçların özelliklerine etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2):396 – 405, 2021. <https://doi.org/10.21923/jesd.884393>.
- [9] Çavuş M ve Ağaoğlu M. N. Farklı Alkalilerle Aktifleştirilen Uçucu Kül Esaslı Harçların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences* (9):11-19. 2019.
- [10] Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J. & Jalali, S.,. Alkali-Activated Binders: A review. Part 2. About Materials and Binders Manufacture. *Construction and Building Materials*, 22:1315-1322, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.019>
- [11] Sukmak P, Horpibulsuk S, Shen SL. Strength development in clay-fly ash geopolymer, *Construction and Building Materials*, 40, 566-574, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.015>
- [12] Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications*, 4th ed. Saint-Quentin: Institut Géopolymère. 2015.

- [13] Palomo A, Grutzeck MW, Blanco M T. Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement For The Future. *Cement and Concrete Composites*, 29: 1323-1329, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00243-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9)
- [14] Shi C, Krivenk PV, Roy D., Alkali-Activated Cement and Concretes. USA and Canada: Taylor and Francis. 2006.
- [15] Bakharev T, Sanjayan JG, Cheng YB. Sulfate Attack on Alkali-Activated Slag Concrete. *Cement and Concrete Research*, 32:211-216, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00659-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00659-7)
- [16] Bakharev T, Sanjayan JG, Cheng YB. Alkali Activation of Australian Slag Cements. *Cement and Concrete Research*, 29:113-120, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00170-7)
- [17] Puertas F, Amat T, Fernandez-Jimenez, A. & Vazquez, T., Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres. *Cement and Concrete Research*, 33: 2031-2036, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00222-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00222-9)
- [18] Atiş, C. D., Görür, E. B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., & Luga, E. Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolymer mortar activated at different NaOH amount, heat curing temperature and heat curing duration. *Construction and building materials*. 96: 673-678, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.089>
- [19] Bingöl Ş, Bilim C, Atiş CD, Durak U, İlkentapar S, Karahan O. An investigation of resistance of sodium meta silicate activated slag mortar to acidic and basic mediums. *Revista de la Construcción*; 19(1): 128-133, 2020. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.1.127-133>
- [20] Reig L, Soriano L, Borrachero MV, Monzo J, Paya J. Influence of the activator concentration and calciumhydroxide addition on the properties of alkali-activated porcelain stoneware. *Construction and Building Materials*, 68: 214-222, 2014.
- [21] Tekin İ. Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials*, 127: 607–617, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.038>
- [22] Binici H, Eken M, Aksoğan O. Cüruf, Uçucu Kül, Silis Kumu ve Pomza Esaslı Geopolimerlerin Fiziksel, Mekanik ve Radyasyon Geçirgenlik Özellikleri. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 8(2): 12-25, 2012.

- [23] Shoaiei P, Musaei HR, Mirlohi F, Ameri F, Bahrami N. Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 227(11):66-86, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116686>
- [24] Djobo JNY, Elimbi A, Tchakouté HK, Kumar S. Mechanical properties and durability of volcanic ash based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 124: 606-614, 2016.
- [25] Yurt U, Emiroğlu M. Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri. *Akademik Platform Journal Engineering Science*. 8(2): 396-402, 2020. <https://doi:10.21541/apjes.688186>
- [26] Al-Majidi M., Lampropoulos A, Cundy A, Meikle S. Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications, *Constr. Build. Mater.* 120: 198–211, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.085>
- [27] Binici H, Temiz H, Aksoğan O, Ulusoy A. The Engineering Properties of Fired Brick Incorporating Textile Waste Ash and Basaltic Pumice. *Journal of The Faculty of Engineering And Architecture of Gazi University*. 24: 485-498, 2009. <https://doi:10.3139/146.110703>
- [28] Demirboğa R, Türkmen İ, Karakoç M. Relationship Between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for High-Volume Mineral- Admixed Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34: 2329–2336, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.017>
- [29] Dayı M, Aruntaş H, Çavuş M, Şimşek O. Investigation of usability of zeolite, fly ash and waste glass materials in portland composite cement production. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 28: 491-499, 2013.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 14



**Farklı Tip Fotovoltaik Panellerin Kış Aylarındaki Işınım,
Verim ve Performans Analizleri
(Tuğba Özdemir, Özge Tüzün Özmen)**

Farklı Tip Fotovoltaik Panellerin Kış Aylarındaki Işınım, Verim ve Performans Analizleri

Tuğba Özdemir¹, Özge Tüzün Özmen²

¹ Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye,
E-mail: tugbaozdemir238@gmail.com

² Temel Bilimler Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, Türkiye,
E-mail: ozge.ozmen@bakircay.edu.tr

1. Giriş

Çağımızın en önemli sorunlarının başında doğal enerji kaynaklarının tükenmesi ve çevre kirliliği gelmektedir. Bu durumun temel nedeni, teknoloji ile birlikte enerji ihtiyacının hızla artmasıdır (Necaibia, ve diğerleri, 2018). Diğer yandan, her geçen gün insan nüfusundaki artış da hem enerji tüketiminin hem de çevre kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır (Yuan, ve diğerleri, 2018), (Koc, 2021).

Günümüzde artan enerji ihtiyacı dolayısıyla klasik enerji kaynakları olan fosil yakıtlardan (benzin, kömür vb.) elde edilen enerji miktarları artık yeterli olmamaktadır (Yuan, ve diğerleri, 2018). Bununla birlikte, fosil yakıtların karbon salınımını arttırması, artan üretim maliyetleri ve sınırlı kaynak miktarları fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olabilecek doğal ve sürdürülebilir enerji kaynakları konusunda önemli çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur (Koc, 2021). Özellikle son 50 yıldır, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ekonomik ve bilimsel yatırımlardaki artış oldukça hız kazanmıştır. Bu noktada çevre dostu, temiz, nispeten ucuz ve tükenmeyen enerji kaynağı olarak güneş enerjisi öne çıkmaktadır (Qiu, He, Ono, Liu, & Qi, 2019). Raporlara göre, güneşten elde edilen enerji, 2020 yılında yaklaşık olarak 345 GW iken, 2030 yılında bu değerin 1081 GW olması öngörülmektedir (Tyagi, Rahim, Rahim, Jeyraj, & Selvaraj, 2013), (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Pandey, 2018).

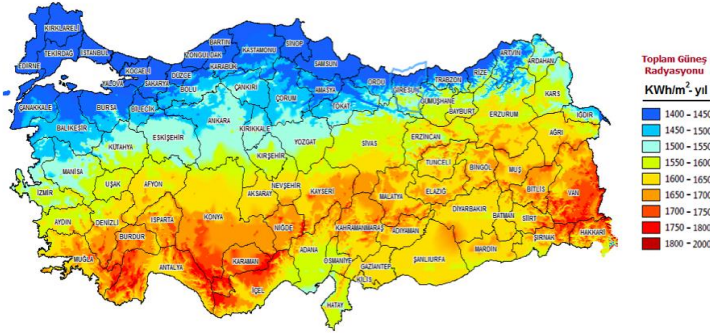
Güneş enerjisi, güneşten gelen ışınların (fotonların) fotovoltaik malzemeler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüşmesi prensibiyle çalışan bir enerji sistemidir (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Pandey, 2018). Fotovoltaik malzemeler genellikle silisyum, germanyum, selenyum, bakır, arsenik, tellür gibi yarıiletkenlerin saf ya da katkılı olarak kullanılmasıyla elde edilir (Ehsanul, Kumar, Kumar, A. Adelodun, & Kim, 2018), (Muhammad, Sangawi, Ghoshal, Abdullah, & Hameed, 2019). Söz konusu yarıiletken malzemelerin kullanılmasıyla elde edilen en küçük birime fotovoltaik hücre ya da güneş hücresi denir. Güneş hücrelerinin paralel ve

seri bağlanmasıyla fotovoltaik modüller oluşturulur. Yaygın olarak kullanılan güneş hücreleri (Sayın & Koç, 2011):

- Kristal silisyum fotovoltaik hücreler (monokristal silisyum (m-Si) ve polikristal silisyum (p-Si)),
- İnce film güneş hücreleri (amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum-diselenid (CIS)),
- Grup III-V bileşik PV hücreleri (galyum arsenitten (GaAs) gibi),
- Çok eklemli (tandem) güneş hücreleri,
- Organik ve polimer güneş hücreleri.

Bir güneş hücresinden elde edilen çıkış gerilim değeri yaklaşık 0,5- 0,8 Volt, çıkış gücü ise 2-3 Watt değerindedir. Bu yüzden fotovoltaik sistemler, güneş hücrelerinin seri ve seri her bir kolun paralel bağlanmasıyla elde edilen fotovoltaik panellerden oluşmakta olup fotovoltaik sistemlerinin verimleri ve performansları, güneş hücrelerinin olduğu malzemelere oldukça bağlıdır (Muhammad, ve diğerleri, 2017). Bunun yanı sıra fotovoltaik sistemlerin verim ve performansı doğrudan hava sıcaklığına, güneş ışınım miktarına, nispi nem ve rüzgar hızı gibi çevresel faktörlere doğrudan bağlıdır (Ahmad, Touati, Muhammad, Najeeb, & Shakoore, 2017), (Meneses-Rodríguez, Horley, Gonzalez-Hernandez, Vorobiev, & Gorley, 2005), (Muhammad, Sangawi, Ghoshal, Abdullah, & Hameed, 2019). Tüm bu nedenler göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemlerin verim ve performansında fotovoltaik panelin yarıiletken malzemesi ve fotovoltaik panellerin hangi çevre koşullarına maruz kaldığı oldukça önemlidir.

Türkiye, güneş enerjisi kaynaklarından optimum düzeyde faydalanabilecek coğrafik konumda olan bir Akdeniz ülkesidir. Bu sayede, fotovoltaik sistemlerin kurulum maliyetlerinin önemli ölçüde düştüğü ve fotovoltaik sistemlerin yüksek verim ve performans ile çalıştığı görülmektedir (Kayrı, 2017), (Mundo-Hernández, de Celis Alonso, Hernández-Álvarez, & de Celis-Carrillo, 2014). Türkiye'nin coğrafi konum olarak avantajını gösteren güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 1'de verilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021).



Şekil 1: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).

Şekil 1’de Türkiye’nin coğrafi konumu itibariyle, güneş enerjisinden etkin verim ve performans elde edileceği görülmektedir. Bir Akdeniz ülkesi olan Türkiye’nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2640 saate (günlük yaklaşık 7,2 saat) tekabül etmektedir. Diğer bir ifadeyle, ortalama toplam ışınlam şiddeti yaklaşık $1.311 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ (günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$) değerindedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021), (Cebesi, 2017). Bu avantajlara sahip olan bir ülke olarak Türkiye’nin güneş enerjisinden elektrik üretme potansiyeli yapılan tahminlere göre yıllık yaklaşık olarak $380 \text{ TWh} - \text{yıl}$ şeklinde hesaplanmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Fotovoltaik sistem kurulu gücünün, 2023 yılı için 5.000 MW olması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, asıl hedef, 2023 yılı sonuna kadar Türkiye’nin toplam enerji ihtiyacının %30’unun yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmektir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021), (Koç, 2021).

Bu çalışmada incelenecek olan fotovoltaik sistemler, kışların oldukça yağışlı ve kapalı gün sayısının oldukça fazla olduğu Düzce şehrine kurulmuştur. Düzce coğrafik olarak $40^\circ 50' 19.5''\text{N}$ kuzey, $31^\circ 09' 45.1''\text{E}$ doğu boylamında ve Türkiye’nin Karadeniz Bölgesi’nin Batı Karadeniz Bölümü’nde yer almakta olup toplam $739,1 \text{ km}^2$ yüzölçümüne sahiptir.

Türkiye’nin enerji tüketiminde % 0,42’lik payına sahip olan Düzce’de şehrin yıllık elektrik tüketimi $837,616 \text{ MWh}$ değerine tekabül etmektedir (Düzce Ticaret Borsası, 2021), (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Düzce, GEPA (Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası) raporuna göre, Türkiye’nin güneş enerjisi üretiminde mavi bölgede (güneş enerjisine az uygun bölge) yer almaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021), (Cebesi, 2017), (Düzce Ticaret Borsası, 2021).



Şekil 2: Düzce il haritası.

Konumunun güneş enerjisi açısından dezavantajına rağmen, yenilebilir enerjide, Türkiye'deki mevcut kurulu gücün % 0,08'ini sahip ve bunun büyük bir kısmı hidroelektrik ve termik santrallerden karşılanmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanması noktasında ise yıllık ortalama ışıınım miktarı $1400-1450 \text{ kWh/m}^2 - \text{yıl}$ ve rüzgar hızı yaklaşık $1,5 \text{ m/s}$ şeklindedir (Düzce Ticaret Borsası, 2021), (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Düzce, Türkiye'nin en az güneş ışığı alan bölgesinde bulunmasına rağmen güneş enerjisi özellikle su ısıtmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda ise fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretmeye yönelik teşvikler ve çalışmalar oldukça ivme kazanmıştır (Düzce Ticaret Borsası, 2021), (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021), (Cebesi, 2017).

Fotovoltaik panellerin verim ve performans değerleri oldukça önemli parametreler olup bu parametreler panellerin maruz kaldığı ışıınım ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere bağlıdır (Adak, Cangi, & Yılmaz, 2019), (İsler & M., 2019), (Bigorajski & D. Chwieduk, 2019). Yapılan bu çalışmada, Düzce Üniversitesi'nin merkezi laboratuvarı olarak hizmet veren DÜBİT (Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına 2013 yılında kurulmuş olan fotovoltaik paneller kullanılmıştır. DÜBİT'in enerji ihtiyacını karşılamının yanında bölgenin fotovoltaik panellerden enerji üretimi konusunda referans olacak bilimsel çalışmaların yapılabilmesi amacıyla paneller üç farklı tip olarak DÜBİT'in çatısına kurulmuştur. Bu fotovoltaik paneller; monokristal silisyum (m-Si), polikristal silisyum (p-Si) ve amorf silisyum (a-Si) olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, kapalı gün sayısı fazla olup fazla yağış alan şehir ve ülkeler için bir örnek çalışma olması amacıyla DÜBİT'in çatısına kurulan üç farklı tip fotovoltaik panellerin 2014-2019 yılları arasında özellikle Düzce ilinin en çok yağışlı, karlı ve bulutlu olduğu kış aylarındaki (kasım, aralık, ocak ve şubat) verimlilik ve performans analizleri detaylı olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Düzce Üniversitesi merkezi laboratuvarı DÜBİT'in çatısına her birinin çıkış gücü 2,5 kW olan monokristal silisyum (m-Si), polikristal silisyum (p-Si) ve amorf silisyum (a-Si) fotovoltaiik paneller kurulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: DÜBİT'in çatısında kurulu bulunan ve toplam 7,5 kW kurulu güce sahip olan (a) m-Si, (b) p-Si ve (c) a-Si fotovoltaiik paneller.

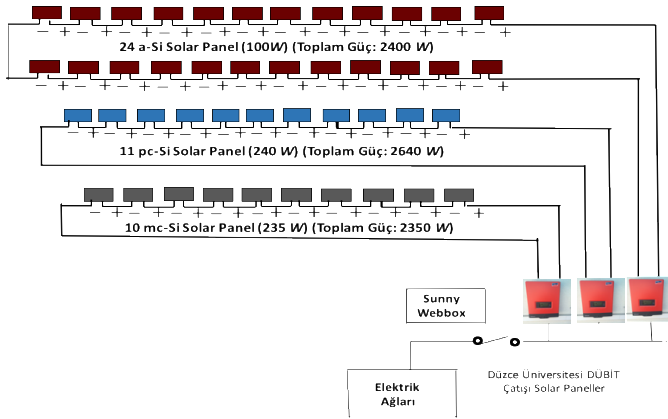
Her biri 235W gücünde 10 adet m-Si panel, her birinin gücü 240 W gücünde 11 adet p-Si panel ve her biri 100 W gücünde 24 adet a-Si fotovoltaiik paneller DÜBİT çatısına Şekil 3'te gösterildiği gibi kurulmuştur. Farklı tipteki bu fotovoltaiik panellerden elde edilen veriler, panellerin DÜBİT'in çatısına kurulumunun yapıldığı Ekim 2013'den beri Sunny webbox cihazı aracılığıyla 5'er dakikalık periyotlarla kaydedilmektedir. Merkezi bir iletişim ara yüzü olan Sunny webbox cihazı fotovoltaiik sistemlere bağlıdır. Bilgisayarlara kablo ile bağlanabilen Sunny webbox, bağlı olduğu her cihazın tüm verilerini toplar, belgeler ve fotovoltaiik sistemin sürekli ve düzenli izlenmesini sağlar. Veriler grafiksel olarak tutulur ve hafıza kartı tarafından kaydedilir. Veriler, "Flash view sunum yazılımı" kullanılarak görüntülenebilir. Ayrıca Sunny Webbox cihazı, -25°C ile +50 °C arasında çalışabilmektedir ve verileri depolama kapasitesi 2 GB'dir.

Şekil 4'te üç farklı tip fotovoltaiik panel için kullanılan 3 adet Sunnyboy 2500 HF-30 eviriciler ve kontrol cihazlarının fotoğrafı verilmiştir. Burada, fotovoltaiik panellerin her birine seri bağlı olan Sunnyboy 2500 HF-30 eviricilerinin maksimum çıkış gücü 2600 W'tır.



Şekil 4: DÜBİT çatısındaki fotovoltaik paneller için kullanılan üç evirici cihazı (kırmızı olanlar) ve kontrol cihazları (siyah olanlar).

Şekil 5’te fotovoltaik panellerin bir elektrik devresi olarak eviricilere seri bağlandığı gösterilmiştir. Fotovoltaik panellerden m-Si ve p-Si panelleri tek sıra halinde, a-Si panelleri çift sıra halinde yerleştirilmiştir. Her bir grup eviricilere seri olarak bağlanmıştır.



Şekil 5: DÜBİT çatısında kurulu olan üç farklı tip fotovoltaik panellerin şematik gösterimi.

DÜBİT’in çatısına kurulan fotovoltaik panelleri etkileyen çevresel faktörleri ölçmek için ise TFA 35.1077 meteorolojik istasyon cihazı kullanılmaktadır. Bu cihazla panellerin ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, metrekaşe başına düşen ışıınım miktarı ölçülmektedir.

TFA 35.1077 meteorolojik istasyon cihazı sayesinde toplam kurulum çıkış gücü 7,5 kW olan fotovoltaik panellerin gerilim değerine karşılık; sıcaklık, nem, ışıınım miktarı, panellerin açısı gibi çevresel faktörleri günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak kayıt altında tutulmaktadır. Bu sayede

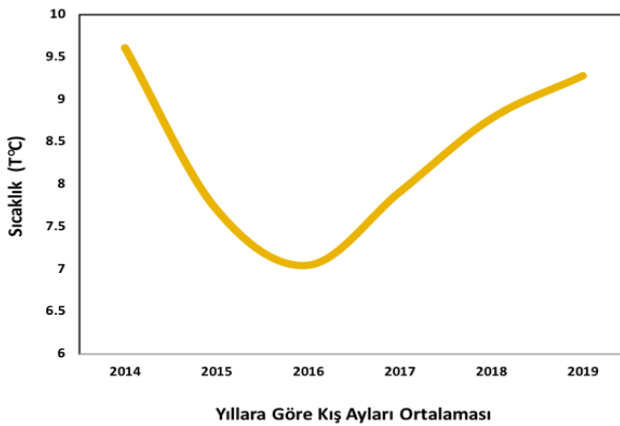
panellerin 2013 yılından günümüze kadar olan tüm verileri kolaylıkla analiz edilebilmektedir.

Düzce genellikle bulutlu ve yağışlı bir şehir olmakla birlikte özellikle şehre düşen yağış miktarı oldukça fazladır. Bu çalışma için, fotovoltaik panellerin 2014-2019 yılları kış ayları verileri kullanılmıştır. Kış ayları olarak, özellikle Düzce ilinin en çok yağış aldığı, karlı ve bulutlu olduğu kasım, aralık, ocak ve şubat ayları seçilmiştir. Bu sebeple fotovoltaik panellerin kış ayı performansları yapılaraktan özellikle fazla yağış alan şehir ve ülkeler için bir örnek çalışma olması planlanmıştır.

3. Fotovoltaik Panellerin Kış Ayları Analizleri

3.1. Fotovoltaik Panellerin Işınım ve Sıcaklık Analizi

Fotovoltaik panellerin verim ve performansı doğrudan ısıtım ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere bağlıdır (İsler & M., 2019), (Adak, Cangi, & Yılmaz, 2019), (Bigorajski & D. Chwieduk, 2019). Bu bağlamda, Düzce şehri için ortam sıcaklık değerlerinin yıllara göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Düzce ilinin 2014-2019 yılları arasındaki kış ayları için ortalama çevre sıcaklığı.

Düzce şehri için yapılan çalışmada, 2014-2019 arasındaki altı yılın kış ayları için ortalama çevre sıcaklığının analizi Şekil 6'daki gibi olup şekilde görüldüğü gibi, en düşük sıcaklık 2016 yılının kışında ortalama 7,0447°C'dir.

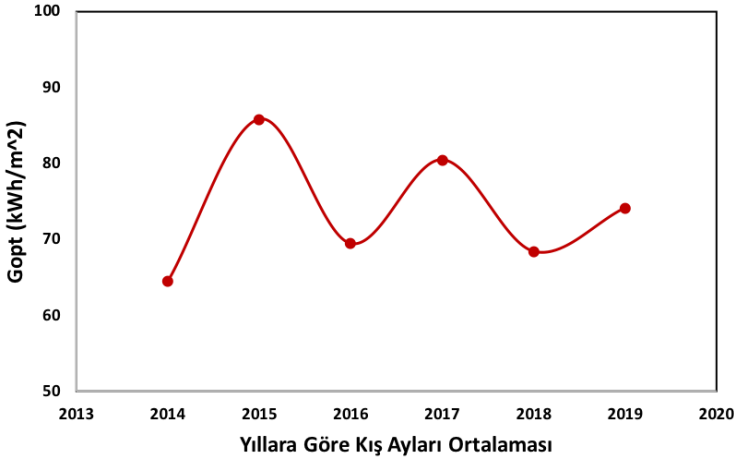
Fotovoltaik sistemlerin verim ve performans analizi için oldukça önemli bir parametre olan panellerin elektriksel iletkenliği, panel yüzeyine düşen ısıtım miktarının, elektronlara enerjilerini aktarmasıyla gerçekleşir (Skoplaki & Palyvos, 2009), (Elibol, Özmen, Tutkun, & Köysal, 2017). Bu nedenle,

fotovoltaik panellerin performans ve verimlerini analiz etmek için toplam ışıınının normalize hali (I_R) kullanılmaktadır;

$$I_T = I_R \cdot \text{Yüzey Alan} \quad (1)$$

Burada, I_R , toplam ışıınının normalize hali, I_T ise yüzeye düşen toplam ışıının miktarıdır (Elibol, Özmen, Tutkun, & Köysal, 2017). 2014-2019 yılları kış ayları için panellerin günlük ortalama ışıının miktarı Eş. (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

2014-2019 yılları arasında ortalama ışıının miktarının dağılımı kış ayları için Şekil 7’de verilmiştir.

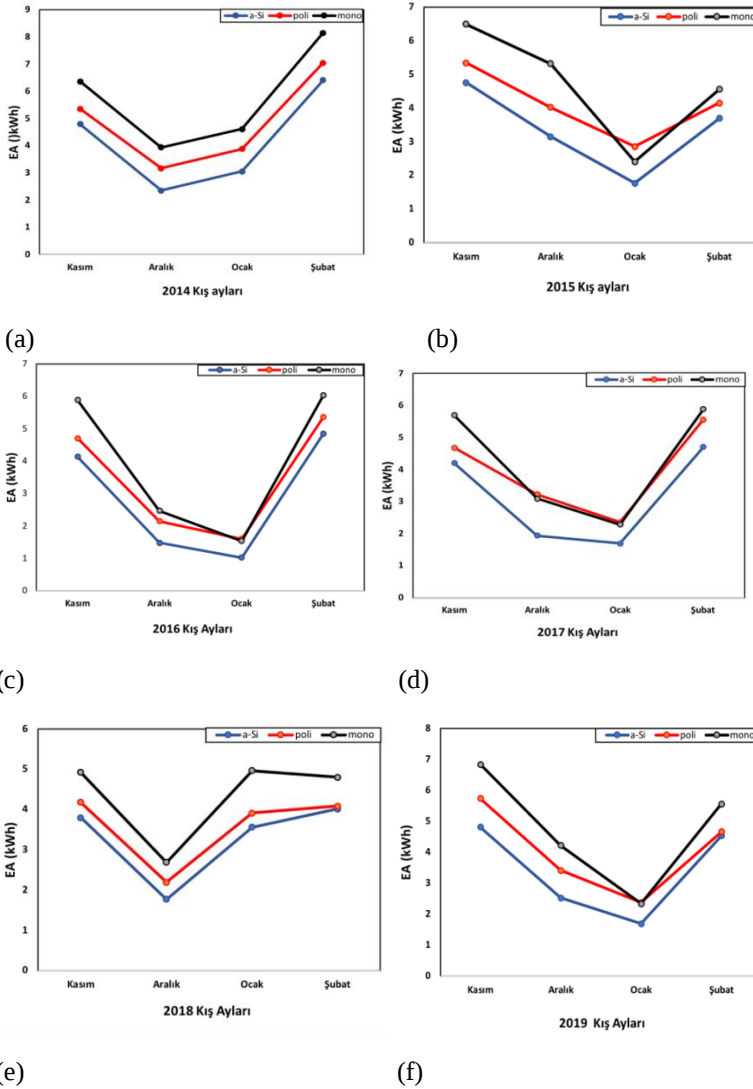


Şekil 7: Fotovoltaik panellerin kış ayları için ışıının miktarının dağılımı.

Şekil 7’de verilen fotovoltaik panellerin kış ayları için ışıının miktarının dağılımına bakıldığında, altı yılda kış ayları boyunca, paneller ortalama $72,2888 \text{ kWh/m}^2$ ’lik ışıınından yararlanabilmiştir. Düzce şehrinin konumu itibariyle güneşlenme süresi düşünüldüğünde, bu miktar güneş enerjisinden yararlanmak adına oldukça umut vericidir. Şekil 7’de, 2015 yılında ışıının miktarının $85,8035 \text{ kWh/m}^2$ değeri ile ele alınan yılların kış ayları için en yüksek ışıınıma sahip yıl olduğu görülmektedir. ışıının miktarının en düşük olduğu yıl ise $64,5179 \text{ kWh/m}^2$ değeri ile 2014 yılı kışı olduğu belirlenmiştir. Çalışma kasım, aralık, ocak ve şubat ayları için olduğundan, şekildeki dalgalanmanın panellerin üzerinin kar ile kaplı olduğu günlerin sayısı dolayısıyla oluşmaktadır.

3.2. Üretilen Enerji

Kurulu olan m-Si, p-Si ve a-Si şeklindeki üç farklı tip güneş panellerinin ürettiği enerji miktarı panellerin kurulumunun gerçekleştiği 2013 yılından itibaren her 5 dakikada bir *kWh* saat olarak kaydedilmiştir. Bu fotovoltaik paneller için 2014-2019 yılları arasındaki kış aylarında üretilen enerji yıllara göre Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: Fotovoltaik panellerin kış aylarında ürettikleri ortalama enerji miktarlarının (a) 2014, (b) 2015, (c) 2016, (d) 2017, (e) 2018 ve (f) 2019 yılları için *kWh* olarak gösterimi.

Şekil 8 (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de belirtildiği üzere fotovoltaiik panellerin 2014-2019 yıllarında kasım-şubat ayları arasında ürettiği ortalama enerji a-Si paneller için 3,363 kWh, p-Si paneller için 4,001 kWh ve m-Si paneller için ise 4,628 kWh olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre en fazla enerjiyi m-Si fotovoltaiik paneller üretirken, en az enerjiyi ise a-Si fotovoltaiik paneller üretmiştir.

3.3. Verim ve Performans

Güneşten elektrik enerji üretmeye yönelik yapılan günümüzdeki çalışmaların çoğu, fotovoltaiik panellerin verim ve performansını arttırmaya yöneliktir. Özellikle Düzce gibi genellikle bulutlu ve yağışlı şehirler için bu tarz çalışmalar, temiz enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırma doğrultusunda bir hayli önemlidir. Kurulumu yapılan fotovoltaiik panellerin verim ve performanslarını hesaplamak için bir takım matematiksel analizler yapılmıştır. Bu bağlamda, üç farklı tip fotovoltaiik panelin Tablo 1'de verilen kurulum özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 1: Fotovoltaiik panellerin kurulum özellikleri

<i>Fotovoltaiik Panel Tipi</i>	<i>Toplam Kurulu Güç Değerleri (kW)</i>	<i>Toplam Kurulu Yüzey Alanları (m²)</i>
a-Si	2,40	37,80
p-Si	2,40	17,06
m-Si	2,35	16,06

Söz konusu fotovoltaiik panellerin referans verimlerini hesaplamak için Tablo 1'deki veriler ile birlikte aşağıda verilen Eşt. (2), Eşt. (3) ve Eşt. (4) denklemleri kullanılmıştır.

$$Y_{fa} = \frac{kW}{2,4} \quad (\text{a-Si}) \quad (2)$$

$$Y_{fp} = \frac{kW}{2,4} \quad (\text{p-Si}) \quad (3)$$

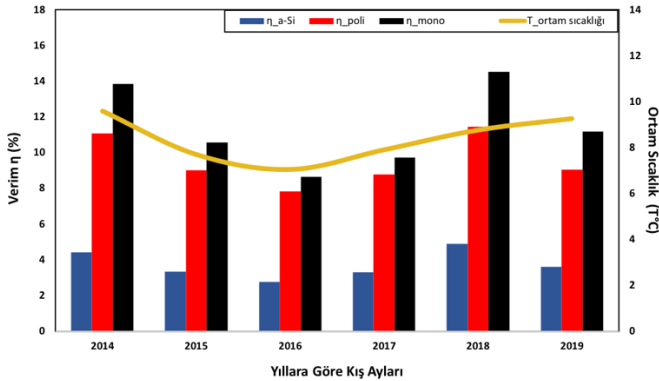
$$Y_{fm} = \frac{kW}{2,35} \quad (\text{m-Si}) \quad (4)$$

Verimi hesaplamak için ise;

$$N_T = \frac{\text{Üretilen Enerji (kWh)}}{I_R \times \text{Yüzey Alanı}} \quad (5)$$

Eşikliklerde kullanılan; Y_f “referans verim” değeridir ve her bir panel için ayrı ayrı hesaplanmıştır, N_T değeri “toplam verim”, I_R ise “toplam ışınının normalize hali” olarak ifade edilir (Elibol, Özmen, Tutkun, & Köysal, 2017), (Fesharaki, Dehghani, Fesharaki, & Tavasoli, 2011).

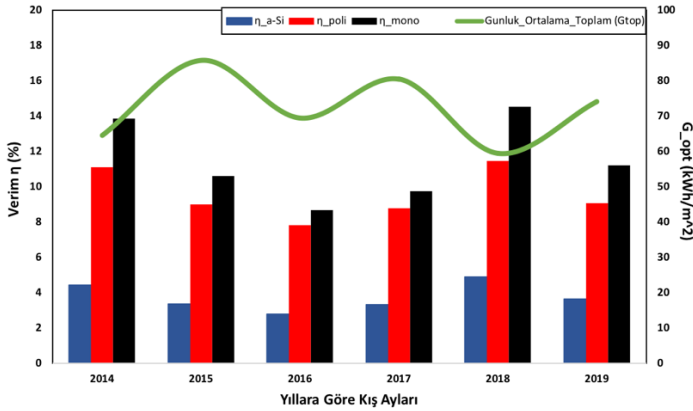
Yapılan çalışmada, yukarıdaki eşitlikler kullanılarak fotovoltaik panellerin söz konusu yılların kış aylarına göre verimi; sıcaklık ve toplam ışınlama göre değerlendirilmiştir. Şekil 9’da her üç panelin veriminin, yıllara göre nasıl etkilendiği, hangi yıl verimin daha yüksek olduğu gösterilmiştir.



Şekil 9: Fotovoltaik panellerin yüzde verimi ile 2014-2019 yılları kış ayları günlük ortalama sıcaklığının karşılaştırılması.

Şekil 9’da görüldüğü gibi, kış ayları boyunca sıcaklık değişimi ile panellerin verimleri doğru orantılıdır. Analizi yapılan yılların kış ayları için, genel toplam ortalama sıcaklık $8,383^{\circ}\text{C}$ ’dir. Ayrıca fotovoltaik panellerin ele alınan kasım-şubat kış ayları için altı yıllık ortalama verimleri ise a-Si için % 3,72, p-Si için % 9,54 ve m-Si için ise % 11,42 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 10’da günlük toplam ışınlım miktarının $G_{opt}(kWh/m^2)$ verim üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 10: Fotovoltaik panellerin yüzde verim değerleri ile 2014-2019 yılları kış ayları günlük toplam ışıınım miktarı ile karşılaştırılması.

Şekil 10'da, panellerin verim değerlerinin ışıınım değerleri ile orantılı olarak değişmediği görülmüştür. Başka bir ifadeyle, ışıınım miktarının yüksek olduğu yıllarda panel verimlerinin düşük, ışıınım miktarının düşük olduğu yıllarda ise panel verimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, bu çalışmada panel verimliliklerinin sadece kasım-şubat aylarını yani kış aylarını içermesi ve dolayısıyla ölçülen ışıınım miktarı fazla bile olsa öncesinde yağan karın ölçüm yapılan zamanda panel yüzeylerini kaplamış olabileceği için verim değerlerinde düşüş yaşanabilmesidir.

Bununla birlikte, üç farklı tip fotovoltaik panelin verim değerleri yıllara göre Tablo 2'de listelenmiştir.

Tablo 2: Fotovoltaik panellerinin 2014-2019 yılları arasındaki kış ayları için ortalama yüzde verimleri.

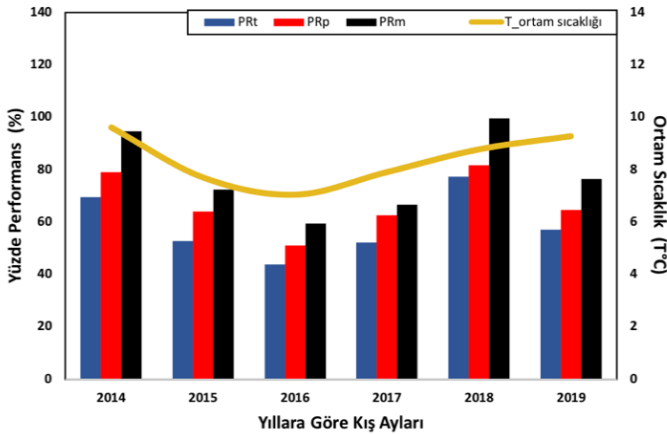
	Fotovoltaik Panel Tipine Göre Ortalama Yüzde Verimleri		
Yıl	a-Si (%)	p-Si (%)	m-Si (%)
2014	4,41	11,09	13,84
2015	3,34	9,00	10,58
2016	2,76	7,82	8,66
2017	3,31	8,79	9,74
2018	4,90	11,46	14,53
2019	3,62	9,06	11,19

Tablo 2’de görüldüğü gibi her üç panelinde veriminin en yüksek olduğu yıl 2018’dir. Bu durum, 2018 yılı kış aylarının diğer yılların kış aylarına kıyasla daha az yağışlı geçtiği yani güneşli gün sayısının daha fazla olduğu sonucunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerin verim değerlerinin yanı sıra performans değerleri de hesaplanmış ve bu değerlerin 2014-2019 yılları kış ayları için kıyaslaması yapılmıştır. Kullanılan fotovoltaik panellerin yıl boyunca üzerlerine düşen toplam ışıınım miktarlarını (I_T) hesaplamak için Eşt. (1) kullanılarak Eşt. (6)’da denklemleri verilen panellerin performans oranları (P_R), hesaplanmıştır (Elibol, Özmen, Tutkun, & Köysal, 2017) (Fesharaki, Dehghani, Fesharaki, & Tavasoli, 2011).

$$P_R = \frac{Y_f}{I_R} \quad (6)$$

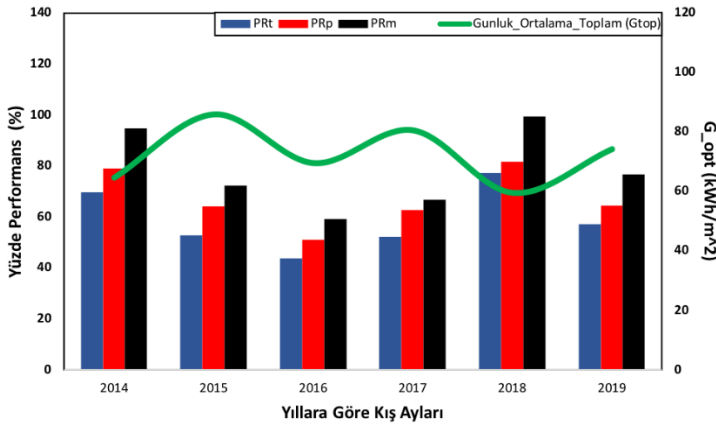
Bu eşitlikte; P_R performans oranı, Y_f referans verimi, I_R toplam ışıınının normalize hali, I_T ise yüzeye düşen toplam ışıınım miktarıdır. Eşt. (6) ve gerekli tüm parametreler kullanılarak m-Si, p-Si ve a-Si fotovoltaik panellerin 2014-2019 yılları kasım-şubat arası kış ayları için performansları hesaplanmış olup Şekil 11’de panellerin yüzde performanslarının panellerin maruz kaldığı ortam sıcaklığına bağlı grafiği verilmiştir.



Şekil 11: Farklı tip fotovoltaik panellerin yüzde performansını ile günlük ortalama sıcaklığının 2014-2019 yılları kış ayları için karşılaştırılması.

Şekil 11’de panellerin performans ve ortam sıcaklığı değerlerinin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Şekil 11 incelendiğinde, en düşük sıcaklığın 2016 yılı olduğu ve panellerin performans değerlerinin a-Si için % 43,6, p-Si için % 50,9 ve m-Si için % 59,2 olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın en yüksek olduğu yıllar, yaklaşık olarak hesaplandığında 2014, 2018 ve 2019 yıllarının birbirlerine yakın değerler aldığı görülmektedir. Yaklaşık aynı sıcaklıkta olan bu üç yılın görüldüğü gibi performans değerleri farklıdır. Bu durumun iki nedeni vardır: birinci nedeni, ısıtım miktarının 2018 yılında daha yüksek olmasıdır (Şekil 7’ye bakıldığında bunu görmek mümkündür). Ayrıca bu durumu günlük hayatta çokça tecrübe ederiz, bazı günler güneşli hava olmasına rağmen sıcaklık düşük olur, bazı günler ise hava kapalı ve bulutlu olur ama hava sıcaklığı yüksek olur. İkinci nedeni ise, 2014 ve 2019 yıllarının kasım-şubat aylarında panellerin üzerinin, 2018 yılından daha uzun süre karla kaplı kalmış olma ihtimalidir. Bu nedenler göz önüne alındığında sıcaklığın 2018 yılı performans değerlerini olumlu etkileme nedeni anlaşılmaktadır. 2018 yılı performans değerleri ise a-Si %77,1, p-Si %81,5 ve m-Si ise %99,3 olarak ölçülmüştür.

Bununla birlikte, Şekil 12’de ise, üç farklı tip fotovoltaik panellerin 2014-2019 yılları arasındaki kış ayları için yüzde performansları, panellerin üzerine düşen günlük ortalama ısıtım miktarı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 12: Farklı tip fotovoltaik panellerin yüzde verimi ile günlük toplam ısıtım miktarının 2014-2019 yılları kış ayları için karşılaştırılması.

Şekil 12’deki veriler kullanılıp fotovoltaik panellerin altı yıllık kış ayları boyunca toplam ortalama performansları hesaplandığında, a-Si için % 58,72, p-Si için % 67,05 ve m-Si için ise % 78,10 değerleri elde edilmiştir. Diğer yandan, fotovoltaik panellerin performans oranları yıllara ve panel tiplerine

göre Tablo 3’de özetlenmiştir. Gerek Şekil 12’de gerekse Tablo 3’te görüldüğü gibi m-Si fotovoltaik panelin performansının ölçüm yapılan yıldan bağımsız olarak diğer tip panellere kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Tablo 3: Fotovoltaik panellerinin kış ayları için ortalama yüzde performansları.

	Fotovoltaik Panel Tipine Göre Ortalama Yüzde Performansları		
Yıl	a-Si (%)	p-Si (%)	m-Si (%)
2014	69,5	78,8	94,6
2015	52,6	64,0	72,3
2016	43,6	50,9	59,2
2017	52,2	62,4	66,6
2018	77,1	81,5	99,3
2019	57,1	64,4	76,4

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Düzce Üniversitesi bünyesinde bulunan DÜBİT çatısında kurulu olan üç farklı tip (a-Si, p-Si, m-Si) fotovoltaik panellerin analizi yapılmıştır. Panellerin ortalama enerji değerleri, ısıtım miktarları, ortam sıcaklıkları, panel sıcaklıkları, verimleri ve performansları 2014-2019 yılları kış ayları (kasım-şubat) için değerlendirilmiştir. Çalışma için, özellikle bu aylarının (kasım, aralık, ocak ve şubat) seçilmesinin nedeni, Düzce ili için, genellikle kar yağışlı, kapalı ve yağmurlu geçmesidir. Amacımız bu tür hava koşullarında, fotovoltaik panellerin performans ve verim değerlerini gözlemlemektir. Bununla birlikte, fotovoltaik panellerin verim ve performans değerlendirme çalışmalarında, benzer özelliklere sahip şehirler ve ülkeler için örnek bir çalışma olması hedeflenmiştir.

Kasım-şubat aylarında seçilen altı yılın toplam günlük ortalama sıcaklığı 8,383°C olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık değeri her yıl için yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte 1-2 °C’lik değişim olduğu görülmektedir. Örneğin altı yıl içinde kasım-şubat aylarında en düşük sıcaklık değeri 7,0447°C ile 2016 yılı olduğu görülmektedir.

Sıcaklığın yanı sıra, altı yılın kasım-şubat ayları boyunca fotovoltaik panellerin ısıtım miktarına bakıldığında, toplam ısıtım miktarının 72,2888 kWh/m² olduğu hesaplanmıştır. 2015 yılında ısıtım miktarının 85,8035

kWh/m^2 değeri ile ele alınan yılların kış ayları için en yüksek ışınlıma sahip yıl olduğu, 2014 yılında ise, $64,5179 kWh/m^2$ ışınlımın değeri ile en düşük yıl olduğu sonucu elde edilmiştir.

Her bir panelin ürettiği enerjiyi karşılaştırmak istersek; 2014-2019 yıllarında toplam üretilen enerji ortalamaları sırasıyla; a-Si paneli için 3,363 kWh, p-Si panelinin 4,001 kWh ve m-Si panelinin ürettiği enerji ise 4,628 kWh olarak hesaplanmıştır.

Kullanılan fotovoltaik panellerin verimlerine bakıldığında, panellerin türlerine göre toplam üretilen enerji miktarı ile uyumlu sonucu görmek mümkündür. Altı yıllık kış-şubat ayları boyunca panellerin yüzde verimlerinin ortalama değerlerinin toplamı a-Si için % 3,72, p-Si için % 9,54 ve m-Si % 11,42 olarak hesaplanmıştır. Kış ayları için panellerin veriminin en yüksek olduğu yıl ise 2018 yılı olduğu tespit edilmiştir ve paneller; a-Si verimi % 4,90, p-Si panelinin verimi % 11,46 ve m-Si panelinin verimi ise % 14,53 olarak elde edilmiştir.

Paneller için altı yılın kış ayları boyunca toplam ortalama performanslarına bakıldığında, a-Si için % 58,72, p-Si için % 67,05 ve m-Si için % 78,10 olarak hesaplanmıştır. 2018 yılının verimde olduğu gibi, fotovoltaik panellerin performansı içinde en yüksek yıl olduğu sonucuna varılmıştır. 2018 yılının paneller için performans değerlerini ifade edecek olursak, a-Si % 71,2, p-Si % 81,5 ve m-Si % 99,3 olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak, üç farklı tip fotovoltaik panelin ışınlım, toplam enerji, verim ve performans değerleri 2014-2019 yılları kış ayları için karşılaştırıldığında, en yüksek verim ve performansın meteorolojik şartlar dolayısıyla 2018 yılında elde edildiği bulunmuştur.

Diğer yandan, yapılan tüm analizler ışığında, ele alınan üç farklı tip fotovoltaik panel içerisinde kış aylarının oldukça yağışlı ve bulutlu geçtiği Düzce ili için üretilen enerji miktarı, verimlilik ve performans açısından en yüksek olan panel m-Si fotovoltaik panel iken, en düşük olan ise a-Si panelidir. Elde edilen tüm sonuçlar, kış ayları yağışlı ve soğuk, güneşli gün sayısı az olan şehirler ve ülkeler için üç farklı tip (m-Si, p-Si ve a-Si) fotovoltaik panelin verim ve performans değerlerinin kıyaslanması için bir referans çalışma olma niteliğindedir.

5. Referanslar

- A. O. Özkan, & H. (2019). Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık ve Zenit Açısının Panel Güç Üretimine Etkisi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-9.

- Adak, S., Cangi, H., & Yılmaz, A. S. (2019). Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1), 316-327.
- Ahmad, Z., Touati, F., Muhammad, F. F., Najeeb, M. A., & Shakoor, R. A. (2017). Effect of ambient temperature on the efficiency of the PCPDTBT: PC 71 BM BHJ solar cells. *Applied Physics A*, 123(7), 1-6.
- Bigorajski, J., & D. Chwieduk. (2019). Analysis of a micro photovoltaic/thermal-PV/T system operation in moderate climate. *Renewable energy*, 137, 127-136.
- Cebesi, S. (2017). *Türkiye’de Güneş enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi Yıllık Değerlendirme Raporu*. Türkiye, : TC. Kalkınma Bakanlığı .
- Chapin, D. M. (1954). A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. *Journal of Applied Physics*, 25(5), 676-677.
- Düzce Ticaret Borsası. (2021, Nisan 5). *Düzce Ticaret Borsası*. Düzce Hakkında: <https://www.duzcetb.org.tr/icerik/duzce-hakkinda> adresinden alındı
- Ehsanul, K., Kumar, P., Kumar, S., A. Adelodun, A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900.
- Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., & Köysal, O. (2017). Outdoor performance analysis of different PV panel types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651-661.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. (2021, Nisan 5). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Plan: <https://www.enerji.gov.tr/merkeziteskilatlar> adresinden alındı
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. (2021, Nisan 5). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Merkezi Teşkilatlar: <https://www.enerji.gov.tr/merkeziteskilatlar> adresinden alındı
- Fesharaki, V. J., Dehghani, M., Fesharaki, J. J., & Tavasoli, H. (2011). The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. In *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation-ETEC*, (s. Iran). Tehran,.

- G. Makrides, B. Z. (2009). Temperature behaviour of different photovoltaic systems installed in Cyprus and Germany. . *Solar energy materials and solar cells*, , 93(6-7), 1095-1099.
- Husain, A. A., Hasan, W. Z., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 94, 779-791.
- Isler, Y. S., & M., S. (2019). Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 97-107.
- Kayrı, İ. (2017). Güneş panelleri ile üretilen enerjinin ortam bilgileri kullanılarak yapay sinir ağlarıyla tahmini/Prediction of power produced by solar panels with artificial neural networks by using environmental factors.Doktora Tezi, Elazığ, Türkiye: Fırat Üniversitesi.
- Koc, U. (2021). Güneş Enerjisi ve Ekonomik Büyüme. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 515-533.
- M. Azaza, & F. (2017). Multi objective particle swarm optimization of hybrid micro-grid system: A case study in Sweden. . *Energy*, , 123, 108-118.
- M. Boztepe. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler. *IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri*, , (s. 19-20.). İzmir.
- Meneses-Rodríguez, D., Horley, P. P., Gonzalez-Hernandez, J., Vorobiev, Y. V., & Gorley, P. N. (2005). Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures. *Solar energy*, 78(2), 243-250.
- Muhammad, F. F. (2018). Effect of thermal annealing on a ternary organic solar cell incorporating Gaq3 organometallic as a boosting acceptor. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, , 28(1), 102-109.
- Muhammad, F. F., Sangawi, A. W., Ghoshal, S. H., Abdullah, I. K., & Hameed, S. S. (2019). Simple and efficient estimation of photovoltaic cells and modules parameters using approximation and correction technique. *PloS one*, 14(5), e021620.
- Muhammad, F. F., Yahya, M. Y., Hameed, S. S., Aziz, F., Sulaiman, K., Rasheed, M. A., & Ahmad, Z. (2017). Employment of single-diode model to elucidate the variations in photovoltaic parameters under different electrical and thermal conditions. *PloS One*,, 12(8), e0182925.

- Mundo-Hernández, J., de Celis Alonso, B., Hernández-Álvarez, J., & de Celis-Carrillo, B. (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649.
- Necaibia, A., Bouraiou, A., Ziane, A., Sahouane, N., Hassani, S., Mostefaoui, M., & . Mouhadjer, S. (2018). Analytical assessment of the outdoor performance and efficiency of grid-tied photovoltaic system under hot dry climate in the south of Algeria. *Energy Conversion and Management*, 171, 778-786.
- Qiu, L., He, S., Ono, L. K., Liu, S., & Qi, Y. (2019). Scalable fabrication of metal halide perovskite solar cells and modules. *ACS Energy Letters*, 4(9), 2147-2167. *ACS Energy Letters*, 4(9), 2147-2167.
- R. Kayabaşı, & M. (2020). Fotovoltaik Modüllerde Faz Değiştiren Madde Kullanımı ve Verimlerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(2), 262-278.
- Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar energy*, 83(5), 614-624.
- Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Rahim, N. A., Jeyraj, A., & Selvaraj, L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 443-461.
- Yuan, H., Wang, W., Xu, D., Xu, Q., Xie, J., Chen, X., Liu, Y. (2018). Outdoor testing and ageing of dye-sensitized solar cells for building integrated photovoltaics. *Solar Energy*, 165, 233-239.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 15



**Evsel Katı Atıkların Değerlendirilmesi
(Abayhan Buran)**

Evsel Katı Atıkların Değerlendirilmesi

Abayhan Buran

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü
E-mail: a.buran@firat.edu.tr

1. Giriş

Atıkların önlenmesi ve değerlendirilmesi çevresel ve finansal açıdan oldukça önemlidir. Evsel Atık; evde üretilen sıradan ya da günlük faaliyetlerden kaynaklanan atıktır. Bu gıda veya mutfak atıkları, ambalaj, içecek kapları, gazeteler, dergiler, reklamlar, çocuk bezi ve hijyenik pedler, posta, çiçekler, kırık ev eşyaları ve oyuncaklar, küçük elektronik atıklar, eski giyim ve benzeri gibi atıkları kapsar (Akca ve Demir, 2017).

Evsel katı atıkların büyük bir yüzdesini atık gıdalar oluşturmaktadır. Küresel ölçekte sürdürülebilir tarım ve gıda israfının engellenmesi konularındaki çalışmalar düşünüldüğünde atıkların önlenmesi ya da değerlendirilmesi artık gündeme ilk sıralardan girmektedir. Değerlendirme işlemlerinin maliyeti ve gerektirdiği enerji de düşünüldüğünde, atıkları önlemek için yapılması gerekenler ve atık oluştuktan sonra izlenmesi gereken yollar vardır.

Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO, 2013) göre, insan tüketimi için üretilen tüm gıdanın tahmini üçte biri küresel olarak kayboluyor veya israf ediliyor. Tedarik zincirinin her aşamasında gıda kayıpları ve israfları meydana gelebilir. Hasat öncesi kayıplar temel olarak, uygun teknolojilerin ve girdilerin üretim aşamasında etkisiz kullanımından, olumsuz iklim koşullarından ve zamansız kültür uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Hasat sonrası kayıplar ise nakliye, depolama, işleme, paketleme, pazarlama ve tüketim aşamalarında ortaya çıkabilmektedir (Tatlidil vd. 2013).

2006 yılında yapılan katı atık kompozisyon belirleme çalışmasına göre ülkemizdeki belediye atıklarının %34'ünü mutfak atıkları oluşturmaktadır (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).

Gıda atıklarının değerlendirilmesiyle ilgili dünya genelinde pek çok ülkede gıda bankaları kurulmuştur. Ülkemizde de bu gıda bankalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Gıda bankaları üretim fazlası olan veya bağışlanan, sağlığa uygun her türlü gıdayı tedarik eden, uygun şartlarda depolayan ve bu ürünleri doğrudan veya değişik yardım kuruluşları aracılığıyla kâr amacı gütmeyen, açlık sınırında bulunan kişilere ve doğal afetlerden etkilenenlere

ulaştıran, dernek, vakıf veya belediyelerin oluşturduğu organizasyonlardır (Türkiye İşrafı Önleme Vakfı, 2004).

Tüm bu atıklar kaynağında ayrıştırma veya mekanik ayrıştırma ile geri dönüştürölerek, ısı değeri ya da biyolojik muhteviyatından faydalanılması yoluyla ekonomiye geri kazandırılabilir. Ülkemizde atıkların çoğunlukla karışık olarak toplanması; geri kazanma oranının düşmesine, yüksek maliyetli proseslerin oluşmasına neden olmaktadır.

Evsel katı atıkların bertarafı, politik, yasal, sosyo-kültürel, çevresel ve ekonomik nedenlerden etkilenen büyük bir teknik sorundur. Bu nedenle, katı atık miktarını azaltmak için, bazı yeni yöntemler uygulanmalıdır.

Ülkemizde organik evsel atıkların biyogaz üretiminde ya da kompostlama yönünde değerlendirilmesi konusunda eksiklikler devam etmektedir.

Kentsel katı atıkların kompozisyonu, nüfus artışı, yaşam standartlarındaki değişimler, yasal düzenlemeler gibi faktörlere bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir. Kentsel katı atığın kompozisyonu, ayrışma oranı ve oluşacak ürünleri etkilemektedir. Ancak ön işlemlerle atık kompozisyonu kontrol altına alınarak homojen bir atık kompozisyonu sağlanabilir. Kentsel katı atıkların kompozisyonu, ayrışma reaksiyonlarını aşağıdaki faktörlere bağlı olarak etkilemektedir.

- i. Organik madde, nütrient ve nem miktarını içeren kullanılabilir substratın olup olmaması,
- ii. Ortamda potansiyel inhibitörlerin bulunup bulunmaması,
- iii. Sıvı veya gaz tasınım fazından tamamen izole edilmiş “Mikro Ortamların” oluşması.
- iv. Düzenli depolama alanlarında depolanan atıklar, biyolojik olarak kolay ayrışabilen gıda ya da bahçe atıklarından çok, ayrışması daha zor kağıt, plastik türü atıklar içerebilmektedir.

Bununla birlikte endüstriyel alanlardan gelen atıklar yapılarında toksik maddeler bulundurabilir. Atık içeriğindeki bu tür maddeler özellikle anaerobik bozunma ile biyogaz eldesini olumsuz şekilde etkilemektedir (Öztürk ve Karalı, 2009).

2. Evsel Katı Atıkları Değerlendirme Yolları

Evsel atıkların önlenmesi ya da mevcut atıkların bertarafı için farklı stratejiler geliştirilmiştir. Çeşitli önceliklere göre seçenekler sıralanmıştır.

Üç temel atık azaltma-önleme stratejisi vardır (EPA, 2014):

- i. Atık oluşumunu önleme ya da atık azaltma

Nem, anaerobik mikroorganizmaların aktiviteleri için gerekli olduğundan anaerobik parçalanmanın verimliliğinde önemli bir parametredir (Igoni vd., 2008). Dolayısıyla bu durum araştırmacıları klasik depolama yerine biyoreaktör depolama konusunda araştırmalar yapmaya yöneltmiştir (Şekil 1). Klasik depolamanın aksine biyoreaktör depolamalarda, kontrollü koşullar altında depo gazı oluşumları maksimuma çekilmekte, yer altı sularına süzüntü sularının karışmasını minimize etmek amacıyla atık içerisinde suyun infiltre edilmesini arttıracak şekilde dizayn edilmektedir (Chiemchaisri vd., 2004).

Kentsel katı atıkların içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki organik atıklar yeterince oksijen bulunmaması durumunda bozunarak hoş olmayan kokulara ve çöple karışmış sıvıların oluşmasına neden olmaktadır. Organik maddeler %50-70 aralığında su içeriğine sahip olup, bakteri faaliyetleri için zorunlu elementlerdir. Bu maddeler konteyner, transfer istasyonu veya taşıyıcı araçlarda bekletildiğinde biyolojik bozunma sonucu istenmeyen koku emisyonlarına ve sızıntı sularına neden olurlar. Sıcak havalarda oluşan biyolojik parçalanma reaksiyonları hızlanmaktadır (Themilis ve Kim, 2002).

Biyoreaktör depolamalar, atıkların hızlı stabilizasyonu, daha fazla depolama gazı elde edilmesi, sızıntı suyu kirliliği potansiyelinin azaltılması, depolamanın hacimsel kapasitesinin hızla artırılması gibi avantajların yanında atığın degradasyonunun sağlanması için de uygun bir yöntem olarak uygulanmaktadır.

2.2. Katı Atıkların Kompostlanması

Endüstriyel ve evsel katı atıkların değerlendirilmesi gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Toplumsal kalkınmanın hızla arttığı günümüzde turizm endüstrisinin de aynı hızla gelişmesi turistik bölgelerde yeni ekolojik problemlerin doğmasına yol açmıştır. Katı atıkların bertarafı konusunda depolama ve yakmanın yanısıra, özellikle organik katı atıklar (biyoçöp) için önerilen kompostlama yöntemi gerek ekonomik olması gerekse ekolojik fayda sağlaması açısından en uygun yöntem olarak görülmektedir. Biyoçöp içerisinde bulunan organik maddelerin kompostlaştırma yolu ile ayrıştırılması, humuslaştırılması en akılcı ve en doğal ekonomik-ekolojik yöntem olarak tavsiye edilmektedir. Bakteri, mantar ve aktinomisellerin işbirliği ile bu organik bileşikler parçalanmakta, humuslaşmakta ve “doğaya dönerek” ekolojik dengenin tamamlanmasını sağlamaktadır. Uygun miktardaki oksijen ortamında ve uygun geçirgenlikte kolay ayrışan meyve kabuğu artıkları, sebze artıkları, çimen artıkları, yaprak artıkları, dal parçaları karbondioksit ve suya ayrışmakta ve bu işlemler sırasında ortama ısı yayılmaktadır.

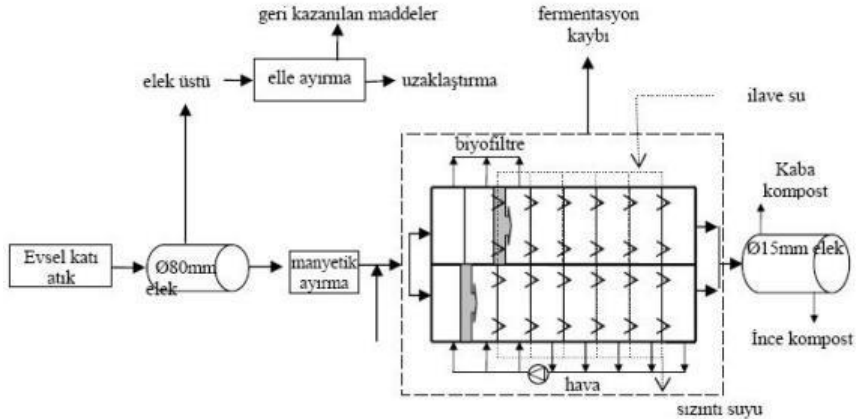
Kompostlamayla oluşan ürünler yararlıdır. Elde edilen bu kompost, bitki yetiştirmede takviye besin olarak, organik madde olarak toprak iyileştirmede ve bitki hastalıklarını önleyici olarak kullanılabilir.

Normal olarak kompostlama esnasında az miktarda azot oksit, metan ve sera gazları oluşmaktadır. Kompostlama esnasında meydana gelen kötü kokular kompostlama yöntemindeki en ciddi problemlerden biridir (Vining, 2002).

Kompostlama işlemi zengin organik madde içeren katı atıkların optimum koşullarda mikroorganizmalar tarafından aerobik olarak ayrıştırılması ile yürütülmektedir.

Kompost yapılacak malzeme uygun nem ve oksijen ortamında mikroorganizmalar tarafından parçalanmaktadır. Bu işlem sırasında CO₂ gazı oluşurken, ısı açığa çıkmakta ayrıca yeni mikroorganizmalar meydana gelmektedir.

Parçalanmış mikroorganizma artıkları, organik maddelerin kullanılmayan kısımları humus benzeri kompost malzemesinin oluşumunu sağlamaktadır. Kompostu oluşturan mikroorganizmalar toprak organizmalarıdır. Bu nedenle kompost yapılmaya başlamadan önce gerekli nem ve beslenecek oksijen miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca hava geçirgenliğini sağlayarak aerobik şartları oluşturacak poröz malzemelerin oluşacak kompostta eklenmesi gerekir. Şekil 2’de örnek olarak Kemerburgaz Geri Dönüşüm ve Kompost Tesisi’nin bir proses şeması verilmiştir.



Şekil 2: İBB Kemerburgaz Geri Dönüşüm ve Kompost Tesisi (Yıldız vd.,2009).

Kompostlama işleminin başlangıcında katı atıkta bulunan su içeriği nedeniyle biyolojik dönüşümler ve stabilizasyon oluşabilmektedir. Yeterli havalandırmanın sağlanması ile mezofilik ve termofilik koşullar oluşmaktadır. Aerobik koşullarda yapılan kompostlama işlemi ile organik maddeler bozunmaya uğrar ve sonuç olarak karbondioksit, su ve ısı açığa çıkmaktadır. Anaerobik koşullarda yapılan kompostlama işleminde ise metan, karbondioksit ve küçük molekül ağırlıklı organik asitler oluşabilmektedir. Koku problemi nedeni ile anaerobik kompostlama işlemi tercih edilmemektedir. Biyofiltreler birçok tesiste koku problemini gidermek için kullanılmaktadır (Şekil 2).

Çeşitli karıştırma ve havalandırma yöntemleriyle gerçekleştirilen aerobik kompostlama işleminde termofilik faaliyetler sonucu ısının yükselmesi ile patojenik organizmalar bertaraf edilebilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Kompostlama temel olarak 3 aşamadan oluşur (Scotland, 2000).

İlk aşama mezofilik büyüme aşaması; bakteriyal büyüme ve 25–40 °C arasındaki sıcaklıklarda bakteriyal büyüme.

İkinci aşamada bakteri, mantar ve aktinomisetler (birincil tüketiciler) 50–60 °C termofilik sıcaklıklarda selüloz, lignin ve diğer dayanıklı maddeleri parçalamaktadırlar. Bu yüksek sıcaklık seviyelerinde 24 saat kadar tutulması ile safsızlıklar ve patojenler yok edilmiş olur.

Son aşamada ise sıcaklık değişmez ve fermentasyon olayları meydana gelmektedir. Düşük karbon/azot oranına sahip bir ürün oluşturmak için nitrifikasyon ile humus oluşumu sağlanır (Scotland, 2000).

İyi bir kompostlama işlemi sonucu humus görünümünde stabil halde bir ürün elde edilir ve elde edilen bu kompost çeşitli tip arazilerde örtü toprağı veya toprak şartlandırıcısı olarak kullanıldığı gibi seracılıkta ve bahçecilikte çevre problemi yaratmadan kullanılabilir. Tarımsal amaçlı kullanımlarda zengin karbon, azot, fosfat ve mineral madde içeriğinden de faydalanılmaktadır ve bu nedenle toprağı verilecek olan suni gübreye takviye malzemesi görevi de yapmaktadır (Beckett, 1993).

2.3. Biyokurutma Prosesi

Kompostlama ve depolamadaki çevresel ve ekonomik sıkıntılar sebebiyle atıkların yakıt olarak değerlendirilmesi önemli ve kazançlı bir alternatif olarak düşünülmektedir. Atıkları yakmak çokça kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmasına nazaran yakılacak atık için atığın enerji içeriği büyük önem arz etmektedir. Evsel katı atıkların (özellikle organik atıkların) yüksek nem içerdikleri düşünüldüğünde erenji üretimi için kullanımında çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Biyokurutma işleminde hacmi ve nem

içeriğini düşürmek amacıyla havalandırma ve ısı etkisi kullanılan bir procestir (Sugni vd., 2005).

Biyokurutma proseslerinde kurutma oranları, biyolojik ısıının yanında zorunlu havalandırmanın yanında biyolojik ısı ile de artırılmaktadır.

Biyokurutma işlemi sırasında tüm atık karışımındaki atık maddelerin miktarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Gıda atıklarının biyokurutma prosesi ile diğer atık maddelerle birlikte kullanılması, alternatif atık yönetimi yaklaşımı sunulmasına ve biyobozunabilir atıkların bertaraf edilmesinden kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı olacaktır.

2.4. Evsel Katı Atıkların Biyogaz Üretiminde Değerlendirilmesi

Türkiye'nin yıllık biyogaz üretimiyle elde edebileceği enerji 2.5 milyon ton taş kömürüyle eşdeğer enerjiye sahiptir. Elbette bunun tamamını ekonomik olarak kullanmak mümkün değildir. Evsel atık içeriklerinin hayvan gübrelere eklenmesiyle biyogaz üretim potansiyeli daha da artmış olacaktır. Bu konu için ön büyük sıkıntıların başında hayvancılığın dağılık olarak yapılması ve bir biyogaz tesisi için gerekli olan finansal ve teknik desteğin bulunamamasıdır. Tesis boyutunun büyümesiyle birlikte daha teknik donanımlı biyogaz tesisleri yapmak mümkün olmaktadır. Kritik büyüklüğe sahip çiftliklerde uzmanlar tarafından işletilecek biyogaz tesislerinin kurulması, biyogaz üretimini daha cazip hale getirecektir (Türker, 2008).

2.4.1. Evsel Katı Atıklardan Mezofilik ve Termofilik Koşullarda Metan Gazı Üretimi

Katı atıkların türü ve miktarı her geçen gün artmakta ve bu atıkların uygun şekilde bertarafı, bu nedenle, daha fazla önem kazanmaktadır. Evsel katı atıkların içeriklerine bakıldığında genel anlamda önemli bir çoğunluğunun organik atıklar olduğu göze çarpmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda evsel katı atıkların neredeyse yüzdesel anlamda yarısının gıda ve bahçe atıkları benzeri organik atık içeriklerinden oluştuğu tespit edilmiştir (Metin vd. 2003).

Et, makarna ve salata gibi yemek artıkları ile yapılan bir çalışmada bu maddelerin belirli oranda karıştırılmasıyla biyogaz üretiminin gerçekleşeceği optimum koşullar sağlanmıştır (Garan ve Çelik, 2018).

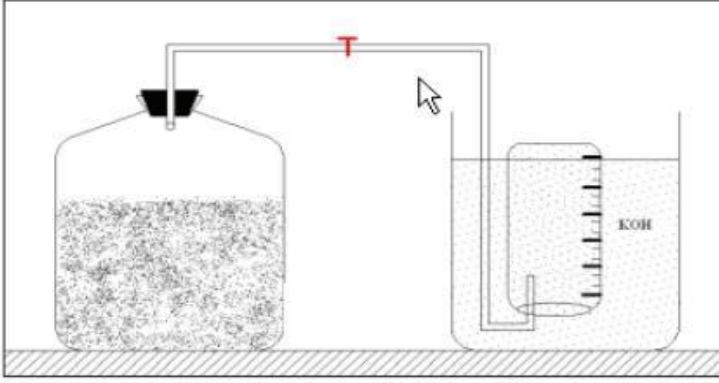
Reaktöre;

-25.6 g et, 6.5 g salata ve 6.5 g makarna,

-250 ml aşı,

-500 ml su eklenmiştir.

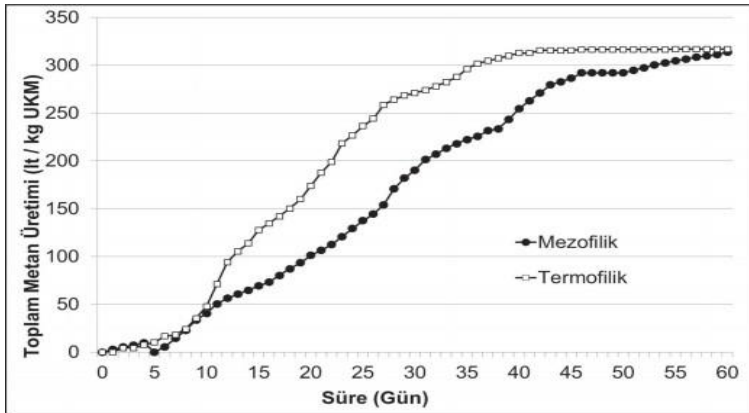
Çalışmalarında kullandıkları aşı maddesi Pakmaya firmasının metanojenik reaktöründen temin edilmiştir.



Şekil 3: Çalışmada kullanılan reaktör sistemi (Garan ve Çelik, 2018).

Reaktörde oluşan biyogazdan CO₂'nin uzaklaştırılması için gaz KOH çözeltisinden geçirilmiş ve metan gazı toplanmıştır. Bu çalışmada kesikli çalışan reaktör kullanılmışlardır (Şekil 3). Reaktörlerde oluşan metan gazı miktarları günlük olarak izlenmiştir.

60 günün sonundaki sonuçlara göre elde ettikleri metan gazı seviyesi mezofilik koşullarda 314 lt/kg UKM (uçucu katı madde) ve termofilik koşullarda 317 lt/kg UKM olarak kaydedilmiştir. Mezofilik koşullarda, metan gazı üretiminin %50'lik kısmı ilk 27 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 38 günlük süreçte gerçekleşmiştir. Bu sonuçların dışında termofilik koşullardaki metan gazı üretiminin %50'lik kısmı ilk 18 günlük süreçte ve %75'lik kısmı ise ilk 24 günlük süreçte (Şekil 4) elde edilmiştir (Garan ve Çelik, 2018).



Şekil 3: Reaktörde oluşan metan gazı miktarlarının karşılaştırmalı grafiği (Garan ve Çelik, 2018).

2.4.2. Biyogaz Üretim Prosesini Etkileyen Faktörler

Anaerobik parçalamada en önemli çevresel etkenler sıcaklık, nem içeriği, pH, atık içeriği ve toksinlerdir.

Anaerobik bozunum 6–8.5 gibi dar bir pH aralığında gerçekleşmektedir. Popülasyondaki her bir mikroorganizma grubunun optimum pH aralığı vardır (Türker, 2008).

Anaerobik arıtımda genel inhibitör olarak amonyak kullanılır. Yüksek azot içeren atıkların anaerobik arıtımında oluşan amonyak, oksijensiz ortamlarda üreyen metan oluşturuucu mikroorganizmaların inhibisyonuna neden olarak biyogaz üretiminde verimi önemli ölçüde aşağı çekmektedir (Eldem ve Öztürk, 2006).

Genel olarak tarımsal atıklar, hayvansal yan ürünler, evsel katı gıda atıkları ve endüstriyel atıklar anaerobik bozunmaya daha elverişli organik kökenli atıklar türleridir.

Katı atıkların değerlendirilmesinde anaerobik teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanması için yüksek hızlı anaerobik biyoreaktörlerin kullanılması ve geliştirilmesi gereklidir. Reaktörün dizaynı anaerobik parçalayıcının performansını etkilemektedir.

2.5. Evsel Katı Gıda Atıklarından Pigment Üretimi

Dünyamızda her geçen sene ortalama olarak 200 milyar ton olarak ortaya çıkan atıkların çoğu çöp olarak doğaya bırakılmaktadır. Bu miktarının az bir kısmı ise yakıt, hayvan gıda katkısı veya gübre olarak değerlendirilmektedir. Gıda atıklarının değerlendirilmesi artık tüm dünya çapında büyük önem arz etmektedir. Özellikle sürdürülebilir tarım ve sıfır atık projelerinin yoğun ilgi gördüğü şu günlerde atık gıdaların değerlendirilme yollarından birisi de pigment üretiminde değerlendirilmesidir. Gıda atıklarını büyük ölçüde patates, şeker pancarı, muz, elma, turunçgiller ve üzüm oluşturmaktadır (Nigam ve Pandey, 2009).

Pigmentlerin üretimi Yüzey Kültür Tekniği veya Katı Hal Fermantasyonu ve Batık Fermantasyon veya Derin Kültür Tekniği olmak üzere iki ayrı biyoteknolojik teknik ile yapılmaktadır. Derin kültür tekniği sıvı karakterli sentetik besiyerleri veya atık materyaller ile yapılmaktadır. Düşük ürün verimliliği, yüksek işletme maliyeti ve ayırma/saflaştırma işleminin yüksek maliyeti nedeniyle derin kültür tekniğinin endüstriyel uygulamalarda uygun olmadığı belirtilmektedir (Akyıl vd., 2016). Literatürdeki araştırmalarda ve çalışmalarda geniş alan bulan katı hal fermantasyonu teknolojisi ile pigment üretiminin endüstriyel ölçekte de üretimleri gerçekleştirilmeye başlamıştır (Bailey vd., 2010).

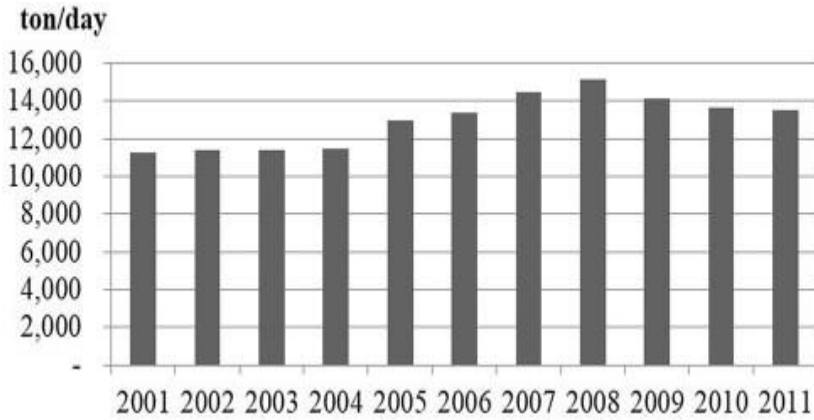
2.6. Evsel Gıda Atıklarının Hemiselüloz Bileşimi

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen doğa dostu son yıllarda dikkat çeken bir konu olmuştur. Doğada kendiliğinden yok olma özelliğine sahip bu plastikler, bu özellikleri nedeniyle “biyobozunur” olarak adlandırılmaktadır. Bitkiler biyobozunur plastikler için en önemli kaynaklardır. Bitkiler hücre duvarı yapılarından dolayı lignoselülozik biyokütle olarak ifade edilebilirler. Hemiselüloz, lignoselülozik biyokütlenin temel bileşenlerinden biridir. Bu sayede doğa dostu biyobozunur plastiklerin üretiminde kullanılabilecek önemli bir kaynaktır. Genel anlamda fazlaca gıda üretimi ve yüksek oranda gıda tüketimi vesilesiyle ortaya çıkan gıda atıklarının katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülerek değerlendirilmesi de oldukça önem taşımaktadır.

Toker ve Kocabaş (2014), ülkemizde evlerde günlük olarak tüketilen ve evsel katı gıda atığı olarak sınıflandırılabilen çay dem atığı, mısır koçanı, fındık dış kabuğu, portakal ve muz meyvelerinin kabukları, ay çekirdeği ve kabak çekirdeği kabukları gibi evsel gıda atıklarının değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmaya göre, evsel gıda atıklarının hemiselüloz bileşimleri %10 KOH ile alkali özütleme yöntemiyle taranmışlardır. En yüksek hemiselüloz verimini atık mısır koçanından (%24,3±0,6) elde etmişlerdir. Bu çalışmalarıyla evsel gıda atıklarının hemiselüloz verimlerinin temel alınması ve biyoplastik üretim potansiyellerinin belirlenmesini hedeflemişlerdir.

3. Evsel Atık Gıdanın Geri Dönüşümünde Güney Kore Örneği

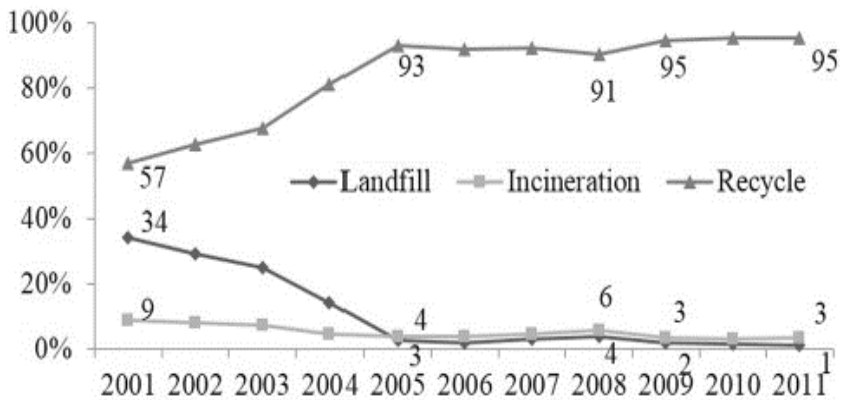
Şekil 5 ve Şekil 6, Güney Kore'de 2001–2011 döneminde gıda atığı üretimi ve artımı ile ilgili resmi verileri göstermektedir. Bu veriler, hane halkı ve ticari sektörü içerir ancak endüstriyel sektörü içermez. Sıkı geri dönüşüm politikasının uygulandığı 2005 yılından bu yana, atık üretimi 2008 yılına kadar biraz artmıştır (Şekil 5). Gıda atıkları geri dönüştürülmüş olsa da, geri dönüşüm süreçleri de büyük miktarlarda para ve enerji gerektirir. Bu nedenle, hükümet aynı zamanda atık azaltma politikaları da uygulamıştır. Sonuç olarak, 2009'dan beri gıda atığı üretim eğiliminin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5: Güney Kore'nin evsel ve endüstriyel gıda atığı miktarı (Ju vd., 2016).

Güney Kore Çevre Bakanlığı'nın 2008 yılı geri dönüşüm tesisi istatistiklerine göre gıda atıkları ağırlıklı olarak hayvan besleme (% 45,2) ve kompost (% 44,9) yöntemleriyle geri dönüştürülmüştür. Anaerobik sindirimi içeren diğer yöntemler, kullanımda biraz artmış, ancak yine de geri dönüştürülen toplam miktarın yalnızca % 10'unu işlemiştir.

Geri dönüşüm oranı 2005 yılından bu yana % 90'ın üzerinde kaydedilmiştir (Şekil 6). Burada geri dönüşüm oranı, geri dönüşüm tesislerine giren miktarın, üretilen gıda atığına oranıdır.



Şekil 6: Güney Kore'de gıda atığı arıtma dağıtımı (Ju vd.,2016).

Şekil 6'da gösterilen sonuçlara göre, kamu tesisleri, her ikisi de uzun süre depolanabilen geri dönüştürülmüş ürünler üreten kuru yem üretimi veya kompostlama konusunda bir tercih göstermiştir. Tersine, özel tesisler yaş yem üretimini veya kompostlamayı tercih etme eğilimindedir ve bunun nedeni, inşaat ve işletme için düşük maliyet olarak tahmin edilebilir (Ju vd., 2016).

4. Sonuç

Türkiye'de özellikle son yıllarda illerimizdeki belediyelerin büyük bölümünde belediye atıkları için düzenli depolama alanlarının kurulduğu ya da bu depo alanlarının sayısının arttığı görülmektedir. Özellikle bazı büyükşehir belediyelerimizin daha ileri teknolojiye sahip, biyogaz üretimi yapabilen, kompost oluşturma yoluyla çevreye daha az zarar verecek, enerji üretimi sağlayacak ve böylelikle atıkları kar edecek seviyede değerlendirmeyi sağlayan tesisler oluşturulmaktadır. Karbondioksit (CO₂) gazından yirmi bir kat daha zararlı olduğu bilinen metan (CH₄) gazının, entegre katı atık bertaraf tesislerinde depolanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi sera gazı emisyonlarının azaltılması ve insan sağlığının korunmasına önemli katkı sağlamaktadır.

AB'deki tüketiciler satın aldıkları gıdanın% 53'ünü israf etmektedir. Ancak, insanları eğitmek gıda israfını azaltmayabilir çünkü bilmek ve değer vermek, sadece dolaylı olarak gıda israfına bağlı normları ve uygulamaları değiştirmek için yeterli değildir.

Araştırmalar, yaş ve cinsiyetin gıda atığı miktarlarını etkilediği konusunda hemfikir - yaşlılar gençlerden daha az ve kadınlar erkeklerden daha fazla atık oluşturuyor. (Lyndhurst, 2007; Melbye vd., 2016; Quested vd, 2013; Secondi vd., 2015). WRAP'ın İngiltere'de 2008'de yaptığı kapsamlı bir araştırmaya göre, tek kişilik haneler kişi başına en fazla yiyeceği israf etmektedir. Bu sonuç, Avustralya (Baker vd., 2009), Finlandiya (Koivupuro vd., 2012) ve AB'deki (Canali, 2014) araştırmalardan elde edilen sonuçlarla uyumludur. Genç gıda tüketicilerinin gıda uygulamaları, zevk, doğaçlama ve sosyal aktivite ile değil, aynı zamanda bunun sadece bir gereklilik ve sağlığa katkı olarak görülmesi ile karakterize edilir. Hanssen ve Möller (2013), 40 yaşın üzerindeki Norveçlilerin bir sorun olarak gıda israfının daha fazla farkına vardıklarını ve atıklarını azaltma olasılıklarının daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Literatürde ve piyasada gıda atığının çeşitli maddi ve manevi faktörlerini ele almaya çalışan tasarım müdahaleleri vardır, ancak bunların gıda atığı seviyeleri üzerindeki fiili veya potansiyel etkileri hakkında çok az bilgi

vardır. Dolayısıyla, mevcut uygulamalara daha derin bir şekilde meydan okuyabilecek daha yenilikçi düşünme için büyük bir potansiyel vardır.

Yiyecekler buzdolaplarında ve derin dondurucularda, dolaplarda, kaplarda, ambalajlarda ve çekmecelerde saklanır. Gıdanın nasıl depolandığı, raf ömrü ve dolayısıyla ne kadar yenildiği veya israf edildiği açısından önemlidir.

Ülkelerdeki politikalar ve düzenlemeler büyük ölçüde gıda atıklarının geri dönüştürülmesini ve gıda atıklarının çöplüklerden uzaklaştırılmasını, örneğin düzenli depolama vergisi, yakma vergisi ve "attığın kadar öde" (Pay As You Throw-PAYT) yoluyla artırmayı amaçlamaktadır. Ağırlığa dayalı faturalama sistemi veya PAYT'nin İsveç'te geri dönüşümü artırdığı kanıtlanmıştır (Dahlén ve Lagerkvist, 2010). Bununla birlikte, gıda israfını azaltma üzerindeki etki özel olarak araştırılmamıştır ve bunun gıda atığı miktarına da etkisi olması beklenmektedir.

Hükümet müdahalesi çoğunlukla tüketici bilincini artırmak için bilgi ve bilgiyi dağıtma şeklinde gelir. Etkileri ölçmek zor olduğundan, bu yaklaşım iyimserlik ve bir miktar güçsüzlük sergiliyor. Bununla birlikte, hem WRAP hem de ForMat, bilgi ve farkındalığı artırma çabaları sırasında Birleşik Krallık'ta ve Norveç'te tüketici gıda atıklarında bir düşüş olduğunu bildirmekte ve bu sonucu kısmen kendi çalışmalarına atfetmektedir (Stensgård ve Hanssen, 2016). Bu şekilde atık gıda oluşumunu önlemek için uygulanan politikaların verimliliğini de belirtmekte fayda vardır.

Türkiye'de Çevre Kanunu'nun 11. Maddesine göre büyükşehir belediyeleri ve belediyeler evsel katı atık bertaraf tesislerini kurmak, kurdurmak, işletmek veya işletmekle yükümlü kılınmıştır. Ülkemizde yeni yeni başlayan evsel katı atık gıdaların geri dönüşümü projeleri tüm illerimizde belediyelerce ve özel şirketlerce desteklenmekte, özel ve kamusal geri dönüşüm tesislerinin sayısı hızla artmaktadır. Bununla birlikte geri dönüşüm ve bertaraf tesislerinin maliyetleri, harcayacakları enerji ve çevreye etkileri de etraflıca düşünülmelidir.

Ülkemizde en fazla nüfusa sahip şehir olan İstanbul özelinde evsel atıkların çeşitli yöntemlerle değerlendirilmesi İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Birçok konumda, özellikle evsel gıda ve restoran atıklarının değerlendirilmesi için biyobozunur atıkların organik komposta dönüşmesini sağlayan ve çevreye kötü koku-sıvı sızıntısını minimize eden kapalı sistem kompost cihazlarının bulunduğu görülmektedir. Örnek olarak Beşiktaş'ta haftalık ~400 kg organik atık ve ~100 kg pelet beslemesi ile 125~150 kg kompost eldesi sağlayan cihazlar 2015'ten beri kullanılmaktadır. Aynı zamanda sisteme dahil edilen bir biyofiltre ile kötü kokuların çevreye yayılmaları da engellenmektedir (cevre.besiktas.bel.tr).

Evsel katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan atık yönetim uygulamalarının uygulama alanlarının geliştirilmesi, finansal ve teknik açıdan projelerde desteklenmesi gerekmektedir. Son zamanlarda en sık kullanılan yöntemlerin başında düzenli atık depolama sahaları (landfill), atık yakma (incineration), kompostlama (composting) ve anaerobik bozunma yoluyla değerlendirme gelmektedir.

Düzenli atık depo alanları, koku ve sızıntı problemlerini de yanında getirir. Depolama yönteminin kullanılması çevresel ve sıhhi sorunlara sebebiyet verdiği için tavsiye edilmemektedir. Yakma yoluyla katı atıkların önemli bir miktarı bertaraf edilebilir ancak bu yöntem yüksek karbon emisyonlarına neden olmaktadır. Bir yandan da katı atıkların yakılması yöntemiyle de endüstriyel alanda kullanılabilecek bir ısı enerjisi elde edilebilir. Çevresel ve ekonomik sınırlar gözetildiğinde atıkları oluşmadan önlemek en önemli ve az maliyetli seçenek olarak görülmektedir. Sonuç olarak, üretim-tüketim zincirinde yapılacak planlamalarla birlikte evsel katı atıkların önemli boyutlarda azalmanın yaşanmasının mümkün olduğu görülmektedir.

5. Referanslar

- Ağdağ, O. & Sponza, D., (2004). Katı Atıkların Simüle Biyoreaktörlerde Ayrışmasını Etkileyen Faktörler: "Katı Atıkların Sıkıştırılması ve Parçalanması". Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(3):83-95.
- Akca, L. & Demir, A., (2017). Katı atık yönetimi ve teknolojileri. Atalay Matbaacılık, Ankara, s.1026.
- Akyıl, S., İltar, I., Koç, M. ve Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/biyolojik uygulama alanları. Akademik Gıda, 14(4):418-423.
- Bailey, R., Madden, K.T. ve Trueheart, J. (2010). Production of carotenoids in oleaginous yeast and fungi. US Patent No. US 7,851,199 B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Baker, D., Fear, J. ve Denniss, R., (2009). What a waste: an analysis of household expenditure on food. The Australian Institute. Policy Brief, 6.
- Beckett, K.A. (1993). Growing Under Glass, The RHS Encyclopedia of Practical Gardening, The RHS, London.

- Beşiktaş Belediyesi. “Atık Yönetimi/Organik Atıklar” besiktas.bel.tr <http://cevre.besiktas.bel.tr/Menu/SubContent/organik-atiklar>, Erişim: 09.01.2021
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2014). Geri Dönüşüm Strateji Belgesi Ve Eylem Planı 2014-2017. T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Canali, M., (2014). Drivers of Current Food Waste Generation, Threats of Future Increase and Opportunities for Reduction. FUSIONS report.
- Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Nonthapund, U. ve Sittichoktam, S., (2004). Acceleration of solid waste biodegradation in tropical landfill using bioreactor landfill concept [online], Kasetsart University.
- Dahlén, L., & Lagerkvist, A., (2010). Pay as you throw: strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. Waste Manag. 30, 23-31.
- Eldem, N.Ö. & Öztürk, İ., (2006). “Anaerobik arıtmada pH ve amonyak inhibisyonu”, itüdergisi/d mühendislik, 5, 1, 1, s.3-14.
- EPA, (2014). A Guide to Conducting and Analyzing a Food Waste Assessment.
- FAO, (2013). Food Wastage Footprint Impacts on Natural Resources Summary Report.
- Garan, S. & Çelik, F.D. (2018). Yemek Atıklarından Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Metan Gazı Üretim Düzeylerinin araştırılması. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 8(2):428-432.
- Hanssen, O.J. & Møller, H., (2013). Matsvinn I Norge 2013-Status Og Utviklingsstrek 2009-13 [Food loss in Norway 2013 e Status and Development 2009-2013]. Report from The ForMat project. Østfoldforskning.
- Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T. ve Probert, S.D., (2008). “Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste”, Applied Energy 85:430-438.
- Ju, M., Bae, S.J., Kim ve J.Y. (2016). Solid recovery rate of food waste recycling in South Korea. J Mater Cycles Waste Manag 18:419–426.

- Koivupuro H.K., Hartikainen H., Silvennoinen K., Katajajuuri J.M., Heikintalo N., Reinikainen A. ve Jalkanen L. (2012). Influence Of Socio-Demographical, Behavioural and Attitudinal Factors On The Amount Of Avoidable Food Waste Generated In Finnish Households. *International Journal of Consumer Studies*, 36:183-191.
- Lyndhurst, B. (2007). Food behaviour consumer research findings from the quantitative survey (Briefing Paper UK: WRAP).
- Melbye, E.L., Onozaka, Y. ve Hansen, H., (2016). Throwing it all away: exploring affluent Consumers' Attitudes toward wasting edible food. *J. Food Prod. Mark.* Published Online.
- Metcalf & Eddy, Inc, Tchobanoglous, G., Burton, F.L., (1991). "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", McGraw Hill Companies.
- Metin, E., Eröztürk, A. ve Neyim, C. (2003). Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. *Waste Man.*, 23:425-432.
- Nigam, P.S. & Pandey, A. (2009). *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilization*. Springer Science+Business Media B.V. ISBN 978-1-4020-9941-0.
- Öztürk, M. & Karali, D., (2009). Çöp depolama alanlarında biogaz üretimi [online].
- Quested, T.E., Marsh, E., Stunell, D. ve Parry, A.D., (2013). Spaghetti soup: the complex world of food waste behaviours. *Resour. Conserv. Recycl.* 79:43–51.
- Scotland, R., (2000). "Composting technologies and systems: possibilities for the advancement of scottish waste treatment", A synopsis on behalf of The REMADE Programme, Project Reference: Org01-1, Research Contractor: Caledonian Shanks Centre for Waste Management Glasgow Caledonian University, 2.
- Secondi, L., Principato, L. ve Laureti, T., (2015). Household food waste behaviour in EU- 27 countries: a multilevel analysis. *Food Pol.* 56:25-40.
- Stensgård, A. & Hanssen, O.J., (2016). *Matsvinn I Norge. Status Og Utviklingstrekk 2009-2015* [Food Loss in Norway e Status and Development 2009-2015]. Report from The ForMat project. Østfoldforskning.

- Sugni M., Calcaterra E. ve Adani F., (2005). Biostabilization -biodrying of municipal solid waste by inverting air-flow, *Bioresource Technology*, 96:1331-1337.
- Tatlídil, F.F., Dellal, İ. ve Bayramoğlu, Z., (2013). Food Losses and Waste İn Turkey-Country Report.
- Themilis, N.J. & Kim, Y.H., (2002). “Material and energy balances in a large-scale aerobik bioconversion cell”, *Waste Management and Research* 20:34-242.
- Toker, Ş. & Kocabaş, D. (2014). Evsel Gıda Atıklarının Hemiselüloz Bilesimlerinin Taranması. *Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi. Özet.*
- Türker, M., (2008). “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi”, 1. baskı, Çevkor, s.10- 70.
- Türkiye İsrافی Önleme Vakfı, (2004). Açlığın Önlenmesinde Gıda Bankacılığı, Türkiye'nin Sorunlarına Çözüm Serisi: 12, Ankara.
- Vining, M.A., (2002.) “Bench-scale compost reactors system and the self-heating capabilities”, Master Thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Yalçinkaya, S. ve Kemirtlek, A., (2009). “Katı Atık Toplama ve Taşıma Optimizasyonu: Kağıthane Örneği”, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu (TÜRKAY)*, s.17-23.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 16



**Salda Gölü (Burdur) Güney Bölgesi Sediman Örneklerinin
Element Beraberlikleri
(Betül Coşkun Önal, Zeynep Özdemir)**

Salda Gölü (Burdur) Güney Bölgesi Sediman Örneklerinin Element Beraberlikleri

Betül Coşkun Önal¹, Zeynep Özdemir²

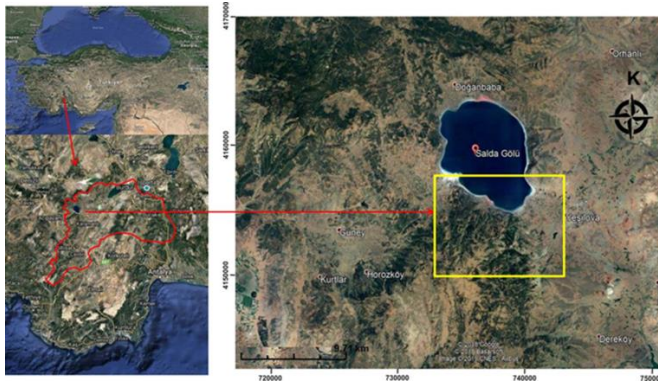
¹Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Yenişehir/Mersin

E-mail: cbetul86@gmail.com

²Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Yenişehir/Mersin

1. Giriş

Doğada bulunan kayaç, sediman, su, toprak ve canlıların (çoğunlukla bitki) bileşimindeki bazı element veya element gruplarının eser miktarlarının ölçülmesi ile bu ölçülen element veya element gruplarının oluşturduğu anomaliler dikkate alınarak bir cevher yatağının yeri jeokimyasal prospeksiyon yardımıyla saptanabilmektedir. Genellikle bir cevher yatağının yerinin saptanmasında aranılan cevher yatağında ekonomik değeri olan belirtgen elementlerin kullanılmasının yanında bu elementlerin analiz edilmesi güç, hareketliliği az veya verilerin yorumlanması zor ise ekonomik değeri bulunmayan ancak cevher yatağının bulunmasına yardım eden iz sürücü elementler de kullanılmaktadır. Bazı durumlarda iz sürücü elementlerin oluşturduğu anomali, cevher elementlerinin oluşturduğu anomaliden daha belirgin ve daha kolay yorumlanabilmektedir [1]. Bu nedenle saptanması olası olan bazı element veya element gruplarının beraberlikleri özellikle maden yataklarının aranmasında oldukça önemlidir. Bu çalışma ile de Salda Gölü (Burdur) güney bölgesindeki sediman örneklerinin element konsantrasyonları ile beraberlikleri araştırılmış ve bölgenin jeolojisi dikkate alınarak yorumlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanı yer bulduru haritası

2. Jeoloji

Salda Gölü çevresi genel hatlarıyla allohton ve otokton birimlerden oluşmaktadır. Orta Triyas-Liyas yaşlı Dutedere Kireçtaşları, Dunit Üyesi, Kretase yaşlı Marmaris Peridotiti ve Üst Senoniye yaşlı Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu allohton birimleri, güncel sedimanların oluşturduğu alüvyonlar ise otokton birimi temsil etmektedir. Çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 2’ de, litolojik birimleri Tablo 1’ de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1: İnceleme alanındaki litolojik birimler ve yaşları [2]

Zaman	Devir	Devre	Birimler	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner		Alüvyon	Kum, çakıl, çamur ve blok birikintileri.
MESOZOYİK	Kretase	Üst Senoniye	Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu	Serpantin, serpantinleşmiş harzburjit, dunit, radyolarit, çört, bazik volkanit, neritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, dolomit vb.
			Marmaris Peridotiti	Yer yer serpantinleşmiş ultrabazik kayalar, harzburjit, serpantin.
			Dunit Üyesi	Bol olivinli serpantinleşmiş dunitler.
	Jura	Liyas	Dutedere Kireçtaşları	Yersel megaladonlu rekristalize kireçtaşları.
	Triyas			

2.1. Dutedere Kireçtaşları

Şenel [3] tarafından Dutedere Kireçtaşları olarak tanımlanan birim, yer yer megalodontlu, rekristalize kireçtaşlarından meydana gelmiştir. Aşınma yüzeyleri gri, açık gri, kırılma yüzeyleri ise bej, krem, beyaz, kirli beyaz, açık gri, gri renklidir. Orta-kalın tabakalı ve yersel masif olan birimin üst düzeyinde bulunan kireçtaşları ise krem ve gri renkli olup kırmızı-pembe renkli, yer yer çörtlü ve yumru kireçtaşlarının altında yer almaktadır.

2.2. Dunit Üyesi

Dunitler, Salda Gölü güneyinde yer alan Niyazlar ve çevresinde Marmaris peridotitinin bir üyesi olarak aynı birim içindeki harzburjitlere oranla daha düz topoğrafyalarda yoğun olarak gözlenmektedir. Açık yeşil, yeşilimsi gri

ve kahverengimsi renklerde gözlenen birim genel olarak serpantinleşmiş olup olivin ve seyrek piroksen kristalleri içermektedir.

2.3. Marmaris Peridotiti

Bölgenin temel birimini temsil eden Marmaris Peridotiti, genel olarak peridotit, serpantinit ve serpantinleşmiş peridotitlerden ve yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşmaktadır. Bölge Sarp [4] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve Çapan [5] tarafından adlandırılmıştır. Birimin alt kısmında yaygın olarak bulunan tektonitler, harzburjitlerin oluşturduğu kütleler tarafından temsil edilmektedir. Kırılma yüzeyleri siyahımsı yeşil, koyu yeşil, yeşilimsi gri ya da koyu gri, aşınmış yüzeyleri ise genellikle kırmızı, kırmızımsı kahve ve yeşilimsi gri, renklere sahiptir. Orta - iri taneli bu kayalarda piroksen gümüş renkli kristallerinin parlaklıkları ile olivin ise özellikle yeşil rengi ile dikkat çekmektedir. Serpantinleşme sonucu parlaklığını kaybeden olivinlerde matlaşma ve ağ doku gözlenmiştir. Tektonikler üzerine tektonik dokanakla gelen ve daha az yaygın olan kümülatlar, serpantinleşmiş bir görünüme sahiptirler. Serpantinitler bazen tektonik hatlarda daha belirgin ve geniş yayılım gösterirler. Dunit, verlit, gabro gibi kaya türlerine, ayrıca hem tektonitleri hem de kümülatları kesen diyabaz ve piroksenitlere birim içerisinde oldukça sık rastlanılmaktadır. Birimin üst kısmını ise altere olmuş bazik karakterli volkanitler oluşturmaktadır.

2.4. Kızılcadağ Ofiyolitli Melanj ve Olistostromu

Ofiyolitli melanj ve olistostromla temsil edilen birim Poisson [6] tarafından adlandırılmış, Sarp [4] ve Poisson [6] tarafından Üst Senoniyen olarak yaşı belirtilmiştir. Marmaris ofiyolit napının bir parçasını oluşturan birim genellikle mavimsi, yeşilimsi, kırmızımsı ve kahverengimsi renkleri içeren alacalı görünümlüdür [7]. Birimin yumuşak topoğrafya gösteren kesimleri ise serpantinit ve volkanik bileşenlerden oluşmuştur [8]. Ayrıca Permian, Triyas, Jura, Kretase yaşlı karbonatlar ve yaşı belirlenememiş olan radyolarit-çört, çörtlü/neritik kireçtaşları ile bazalt, tüf, gabro, diyabaz vb. bloklar serpantinitler içerisinde bulunmaktadır [9].

2.5. Alüvyon

Bölgede geniş bir alanı kapsayan güncel sedimanların oluşturduğu Kuvaterner yaşlı alüvyonlar; gevşek yapıdaki birimlerin taşınması ile göle yakın alanlarda geniş yayımlı kırıntılı tortullardan meydana gelmiştir [10]. Ayrıca, Salda Gölü çevresi ile Yeşilova ilçesini kapsayan düzlük alanların yanı sıra derelere yakın alanlarda güncel düşey hareketlerin kontrol ettiği bir yayılım sunmaktadır.

3. Materyal Ve Yöntemler

3.1. Sediman Örneklerinin Kimyasal Analizi

Salda Gölü güney bölgesinde sediman örneklemeleri üç ayrı lokasyonda (Değirmen Dere (20 adet), Kuru Dere (10 adet), Salda Gölü güney kıyı şeridi boyunca (5 adet)) yapılmış olup toplam 35 adet sediman örneği alınmıştır (Şekil 2). Araziden yaklaşık 2 kg ağırlığında alınan sediman örnekleri Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarına getirilmiş ve burada 70 °C de etüvde kurutulduktan sonra 75 µm (-200 mesh) elek boyutlarında elenmiştir. Her bir sediman için yaklaşık 10 gr kuru örnek tartılarak poşetlenip numaralandırılmış ve element içeriklerinin kimyasal analizi için ACME Analitik Laboratuvarlarına (Kanada) gönderilmiştir. Kimyasal analize gönderilen sediman örnekleri ise 0.5 g tartılarak eşit miktarda konsantre HCl, HNO₃ ve deiyonize H₂O' dan oluşan kral suyunda çözündürülmüş ve 10 ml hacme kadar seyreltik HCl asit ile tamamlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin element konsantrasyonları (Fe, Ca, P, Mg, Ti, Al, Na, K, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, As, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, B, W, Hg, Sc, Tl, Ga, Se, Te, Au) ise ICP-MS (Perkin Elmer modeli ELAN 9000) cihazı ile belirlenmiştir. Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre istatistiksel değerler hesaplanmış ve bölgenin temel birimini peridotitlerin oluşturmasından dolayı ortalama ultrabazik kayaç değerleri [11] göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca sediman örneklerinin element konsantrasyonlarının birbirleriyle istatistiksel anlamda pozitif ve negatif ilişkisini saptamak için SSPS 26.0 programı kullanılmıştır.



Şekil 2: Çalışma alanı jeoloji haritası [12] ve sediman örnekleri alım noktaları

4. Bulgular Ve Tartışmalar

4.1. Sediman Örneklerinin Ana Element Konsantrasyonları

Salda Gölü güney bölgesindeki sediman örneklerinin ana element ortalama birikim düzeyleri elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre Değirmen Dere sedimanlarında $Mg > Fe > Al > Ca > K > Ti > P$ ve Na, Kuru Dere sedimanlarında $Mg > Fe > Al > Ca > Ti > K > Na$ ve P, Salda Gölü güney kıyı sedimanlarında $Mg > Fe > Ca > Al > Ti > K > Na$ ve P şeklinde sıralanmaktadır. S konsantrasyonu (% 0.05) ise dedeksiyon limiti altında kaldığı için değerlendirmeye alınamamıştır. Ayrıca elde edilen kimyasal analiz sonuçları bölgenin temel birimi dikkate alınarak ortalama ultrabazik kayaç değerlerine [11] göre değerlendirildiğinde; Mg ve Fe elementlerinin belirtilen standart sınır değerler içerisinde, Na elementinin tüm örneklerde belirtilen standart sınır değerinin altında, Ca elementinin tüm örneklerde, Al, K, Ti ve P elementlerinin ise özellikle Değirmen Dere ve Kuru Dere sediman örneklerinde belirtilen standart sınır değerlerin üzerinde olduğu gözlenmiştir (Tablo 2).

4.2. Sediman Örneklerinin İz Element Konsantrasyonları

İncelenen sediman örneklerinin iz element ortalama birikim düzeyleri elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre Değirmen Dere sedimanlarında $Ni > Mn > Cr > Co > Zn > Ba > V > Sr > Cu > Pb > Sc > La > Ga > Th$ ve As, Kuru Dere sedimanlarında $Ni > Mn > Cr > V > Co > Zn > Cu > Ba > Sr > Sc > Ga > La > Pb > Th$ ve As, Salda Gölü güneyi sedimanlarında $Ni > Mn > Cr > V > Sr > Ba > Co > Zn > Cu > Sc > Pb$ ve Th şeklinde sıralanmaktadır (Tablo 3). Bununla birlikte Mo (0,1 ppm), Ag (0,1 ppm), Cd (0,1 ppm), Sb (0,1 ppm), Bi (0,1 ppm), B (20 ppm), W (0,1 ppm), Tl (0,1 ppm), Se (0,5 ppm), Te (0,2 ppm), Hg (0,01 ppm) ve Au (0,5 ppb) konsantrasyonları ise dedeksiyon limiti altında kaldıkları için değerlendirilememiştir. Elde edilen kimyasal analiz sonuçları ortalama ultrabazik kayaç değerlerine [11] göre değerlendirildiğinde; Ni, Co, Mn ve Cr konsantrasyonları belirtilen standart sınır değerlere uygun olarak belirlenmiştir. Pb, Ba, Sr ve Th konsantrasyonları ile Cu, Zn, V ve Sc konsantrasyonları Kuru Dere örneklerinin tümünde, Değirmen Dere ve Salda Gölü güney kıyı sediman örneklerinin birkaçında belirtilen standart sınır değerlerin üzerinde saptanmıştır. As ve Ga konsantrasyonları ise Değirmen dere ve Kuru Dere örneklerinde belirtilen standart sınır değerinin üzerinde gözlenirken Salda Gölü güney kıyı sedimanlarında dedeksiyon limiti altında olduğu için gözlenememiştir. La konsantrasyonu için ultrabazik kayalara ait ortalama sınır değeri bulunamadığı için değerlendirme yapılamamıştır (Tablo 3).

Tablo 2: Sediman örneklerine ait ana element konsantrasyon değerleri

Lokasyon	Örnek No	Mg %	Fe	Al	Ca	K	Ti	P	Na
Değirmen Dere	1	6,61	5,26	2,23	0,83	0,17	0,064	0,114	0,014
	2	10,06	4,79	1,47	1,10	0,17	0,058	0,042	0,019
	3	8,28	4,77	1,72	1,15	0,14	0,089	0,028	0,021
	4	9,28	4,02	1,18	2,14	0,07	0,093	0,022	0,019
	5	10,54	4,09	1,00	0,57	0,05	0,092	0,020	0,019
	6	9,11	3,99	1,08	0,58	0,05	0,111	0,020	0,021
	7	10,39	4,18	1,21	0,46	0,07	0,081	0,024	0,019
	8	12,69	5,16	1,02	0,60	0,07	0,076	0,023	0,013
	9	13,07	4,55	1,07	1,05	0,07	0,062	0,030	0,014
	10	16,76	3,03	0,76	0,85	0,06	0,047	0,015	0,017
	11	7,72	5,25	2,26	1,31	0,12	0,090	0,016	0,020
	12	9,92	4,54	1,41	0,50	0,08	0,089	0,019	0,018
	13	7,72	4,94	2,02	0,74	0,15	0,064	0,033	0,014
	14	8,70	5,36	1,98	0,48	0,11	0,081	0,022	0,015
	15	12,57	4,92	1,34	1,08	0,17	0,064	0,042	0,014
	16	10,22	3,98	1,36	1,26	0,09	0,075	0,024	0,016
	17	10,65	3,91	1,15	1,29	0,11	0,077	0,032	0,019
	18	9,34	4,35	1,41	1,43	0,14	0,051	0,080	0,016
	19	14,51	5,09	0,81	0,32	0,05	0,045	0,019	0,009
	20	14,29	3,78	0,91	1,38	0,06	0,078	0,021	0,014
	Max.	16,76	5,36	2,26	2,14	0,17	0,111	0,114	0,024
	Min.	6,61	3,03	0,76	0,32	0,05	0,045	0,015	0,009
	Ort.	10,62	4,5	1,37	0,96	0,1	0,074	0,032	0,016
	S. Sapma	2,61	0,62	0,45	0,45	0,04	0,017	0,024	0,003
Kuru Dere	1	7,23	4,09	1,32	0,59	0,06	0,182	0,008	0,046
	2	8,65	4,03	1,36	0,74	0,06	0,145	0,009	0,028
	3	9,00	4,34	1,47	0,56	0,06	0,096	0,009	0,020
	4	2,96	4,40	3,70	0,74	0,12	0,112	0,015	0,014
	5	3,32	9,34	3,15	0,33	0,21	0,123	0,011	0,008
	6	5,86	4,85	1,12	0,64	0,05	0,192	0,007	0,018
	7	6,71	4,79	1,21	0,61	0,05	0,169	0,007	0,022
	8	7,48	4,75	1,32	0,58	0,05	0,175	0,008	0,024
	9	6,01	5,15	1,08	0,56	0,03	0,189	0,008	0,017
	10	3,56	5,29	3,17	0,89	0,07	0,172	0,019	0,043
	Max.	9,0	9,34	3,7	0,87	0,21	0,192	0,019	0,046
	Min.	2,96	4,03	1,08	0,33	0,03	0,096	0,007	0,008
	Ort.	6,08	5,1	1,89	0,62	0,08	0,155	0,01	0,024
	S. Sapma	2,17	1,55	1,02	0,15	0,05	0,03	0,004	0,012
Salda Gölü güney kıyısı	1	14,67	0,50	0,21	2,21	0,02	0,011	0,006	0,015
	2	8,93	4,29	1,55	0,52	0,09	0,110	0,008	0,039
	3	14,24	2,19	0,96	1,05	0,05	0,073	0,006	0,032
	4	16,46	0,53	0,15	0,86	0,02	0,006	0,004	0,024
	5	17,45	0,57	0,29	3,56	0,02	0,009	0,012	0,011
	Max.	17,45	4,29	1,55	3,56	0,09	0,110	0,012	0,039
	Min.	8,93	0,5	0,15	0,52	0,02	0,006	0,004	0,011
	Ort.	14,35	1,62	0,63	1,64	0,04	0,042	0,007	0,024
	S. Sapma	3,30	1,66	0,61	1,25	0,03	0,047	0,003	0,012
Ultrabazik kayalarda ort.[11]		25,9	9,85	0,45	0,02	0,03	0,03	0,017	0,57

Tablo 3: Sediman örneklerine iz element konsantrasyon değerleri

Lokasyon	Örnek No	Ni ppm	Co	Mn	Cr	Cu	Pb	Zn	As
Değirmen Dere	1	1283,3	90,9	1346	303	31,2	16,4	86	1,2
	2	1386,2	90,3	1035	276	21,8	9,8	54	3,1
	3	1444,5	83,3	871	285	32,6	16,1	126	1,6
	4	1219,4	64,0	657	266	14,5	5,1	36	1,4
	5	1364,7	68,2	777	251	14,9	3,7	31	1,1
	6	1219,3	64,4	789	269	17,5	11,3	32	1,0
	7	1437,2	93,9	1127	264	18,6	10,0	34	1,2
	8	1523,3	81,3	1036	316	16,4	4,8	38	0,8
	9	1547,4	77,2	859	303	16,6	4,6	36	1,4
	10	1080,7	49,7	636	199	9,9	4,2	26	1,0
	11	1467,4	104,2	1575	279	42,7	9,2	41	2,4
	12	1484,7	103,6	1211	276	44,8	9,2	37	1,0
	13	1402,2	82,2	962	266	28,1	27,8	54	1,6
	14	1549,2	95,4	880	282	21,8	9,8	45	1,4
	15	1485,9	82,9	878	305	24,6	7,0	55	2,0
	16	1225,0	65,2	1042	255	25,4	4,0	40	1,1
	17	1302,7	64,0	724	273	22,8	9,5	105	1,5
	18	1216,7	70,8	550	270	15,2	13,1	148	3,4
	19	1577,9	71,3	788	295	13,7	2,9	35	0,5
	20	1180,8	55,5	634	269	13,7	4,0	30	1,0
	Max.	1577,9	104,2	1575	316	44,8	27,8	148	3,4
	Min.	1080,7	49,7	550	199	9,9	2,9	26	0,5
	Ort.	1369,9	77,9	918,8	275,1	22,3	9,1	54,4	1,5
	S. Sapma	144,9	15,4	874,5	24,9	9,5	5,9	34,3	0,7
Kuru Dere	1	750,3	49,4	490	205	26,8	2,9	34	0,5
	2	777,8	49,5	527	211	27,4	2,8	34	0,7
	3	1090,1	60,8	507	241	29,1	2,6	39	1,1
	4	421,3	37,6	918	140	73,1	2,6	51	0,7
	5	1703,3	141,9	1653	346	39,1	4,7	69	1,4
	6	655,6	53,0	599	224	23,3	2,2	36	<0,5
	7	721,8	54,7	556	233	24,7	2,9	34	<0,5
	8	804,5	52,7	564	239	27,2	3,3	36	<0,5
	9	680,1	51,4	569	242	23,3	1,5	34	<0,5
	10	671,3	56,6	1281	176	56,5	2,1	46	0,5
	Max.	1703,3	141,9	1653	346	73,1	4,7	69	1,4
	Min.	421,3	37,6	490	140	23,3	1,5	34	0,5
	Ort.	827,6	60,8	766,4	225,7	35,0	2,8	41,3	0,8
	S. Sapma	349,1	29,1	398,2	53,4	16,8	0,8	11,3	0,4
Salda Gölü güney kıyısı	1	119,7	7,4	88	33	3,0	1,6	5	<0,5
	2	943,9	57,2	535	222	27,8	2,0	36	0,6
	3	475,7	30,5	347	121	14,6	1,5	20	<0,5
	4	177,5	9,0	98	36	2,3	1,5	5	<0,5
	5	155,4	10,9	146	43	3,3	2,3	6	0,6
	Max.	943,9	57,2	535	222	27,8	2,3	36	-
	Min.	119,7	7,4	88	33	2,3	1,5	5	-
	Ort.	374,4	23	242,8	91	10,2	1,8	14,4	-
	S. Sapma	348,6	21,3	194,0	81,7	11,1	0,36	13,6	-
Ultrabazik kayalarda ort.[11]		2000	200	1500	2000	20	0,1	30	0,5

Tablo 3: Devamı.

Lokasyon	Örnek No	Ba ppm	V	Sr	La	Sc	Ga	Th
Değirmen Dere	1	63	35	26	9	9,1	5	3,8
	2	62	40	30	6	6,9	4	1,9
	3	60	39	43	7	7,6	4	2,1
	4	43	38	30	6	5,4	3	1,4
	5	30	39	14	4	4,9	3	0,8
	6	29	51	14	4	5,1	3	0,9
	7	50	42	14	5	6,1	3	1,1
	8	28	37	15	4	6,7	3	0,9
	9	33	28	25	4	6,5	3	1,1
	10	19	19	32	4	4,6	2	1,0
	11	97	52	37	13	9,5	5	3,6
	12	55	46	15	6	7,1	4	1,5
	13	53	39	26	8	8,4	5	2,2
	14	51	41	16	7	9,1	5	2,1
	15	52	35	24	6	7,7	3	1,4
	16	51	34	43	5	6,1	3	1,4
	17	45	39	42	5	5,6	3	1,1
	18	49	36	31	5	6,6	3	1,4
	19	19	21	10	3	6,3	2	0,6
	20	33	34	50	5	5,6	2	1,0
	Max.	97	52	50	13	9,5	5	3,8
	Min.	19	19	10	3	4,6	2	0,6
	Ort.	46,1	37,2	26,8	5,8	6,7	3,4	1,6
	S. Sapma	18,1	8,1	11,8	2,3	1,4	1,0	0,9
Kuru Dere	1	18	89	20	2	6,0	3	0,4
	2	22	80	28	2	7,1	3	0,5
	3	24	50	25	3	8,4	3	0,9
	4	56	59	60	5	19,6	7	1,1
	5	34	76	18	10	23,1	7	3,4
	6	17	112	18	2	5,2	3	0,4
	7	19	109	20	2	5,9	3	0,4
	8	20	96	20	2	6,8	3	0,5
	9	16	109	17	2	5,3	3	0,3
	10	51	126	28	4	16,1	7	0,8
	Max.	56	126	60	10	23,1	7	3,4
	Min.	16	50	17	2	5,2	3	0,3
	Ort.	27,7	90,6	25,4	3,4	10,3	4,2	0,9
	S. Sapma	14,6	24,5	12,8	2,5	6,7	1,9	0,9
Salda Gölü güney kıyısı	1	20	96	71	<1	1,2	<1	0,2
	2	16	109	21	2	7,5	3	0,7
	3	51	126	41	2	4,7	2	0,6
	4	24	8	33	<1	1,1	<1	0,2
	5	20	60	126	1	1,5	<1	0,3
	Max.	51	126	126	-	7,5	-	0,7
	Min.	16	8	21	-	1,1	-	0,2
	Ort.	26,2	79,8	58,4	-	3,2	-	0,4
	S. Sapma	14,1	46,8	42,1	-	2,8	-	0,2
Ultrabazik kayalarda ort.[11]		1	40	10	-	5	2	0,005

4.3. Sedimanların Ana Element Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Değirmen Dere sedimanlarına ait ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Mg elementi Al elementi ile çok önemli negatif korelasyon (n: 20; -0,82; $p<0.01$); Fe, K ve Ti elementleri ile orta önemli negatif korelasyon (n: 20; -0,46; -0,52; -0,46; $p<0.05$) göstermektedir. Fe elementi Al elementi ile önemli pozitif korelasyon (n:20; 0,65; $p<0.01$), K elementi ile orta önemli pozitif korelasyon (n:20; 0,51; $p<0.05$) göstermektedir. Al elementi ile K elementi (n:20; 0,72), K elementi ile P elementi (n: 20; 0,64) ve Ti elementi ile Na elementi (n:20; 0,66) arasında önemli pozitif korelasyon söz konusudur ($p<0.01$) (Tablo 4).

Tablo 4: Değirmen Dere sedimanlarının ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu (n: 20, ** % 99 ($p<0.01$), *%95 ($p<0.05$))

	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>Ti</i>	<i>P</i>	<i>Na</i>
<i>Mg</i>	1	-0,46*	-0,82**	-0,12	-0,52*	-0,46*	-0,40	-0,43
<i>Fe</i>		1	0,65**	-0,27	0,51*	-0,07	0,29	-0,35
<i>Al</i>			1	0,05	0,72**	0,12	0,43	0,14
<i>Ca</i>				1	0,22	0,05	0,13	0,27
<i>K</i>					1	-0,29	0,64**	0,02
<i>Ti</i>						1	-0,37	0,66**
<i>P</i>							1	-0,19
<i>Na</i>								1

Kuru Dere sedimanlarına ait ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Mg elementi Al elementi ile çok önemli negatif korelasyon (n:10; -0,83; $p<0.01$), P elementi ile önemli negatif korelasyon (n:10; -0,68; $p<0.05$) göstermektedir. Fe elementi Ca elementi ile önemli negatif korelasyon (n:10; -0,64; $p<0.05$) gösterirken K elementi ile çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (n:10; 0,82; $p<0.01$). Al elementi ise K elementi ile önemli pozitif korelasyon (n:10; 0,73; $p<0.05$), P elementi ile de çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (n:10; 0,86; $p<0.01$) göstermektedir (Tablo 5).

Tablo 5: Kuru Dere sedimanlarının ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu (n: 10, ** % 99 ($p < 0.05$))

	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>Ti</i>	<i>P</i>	<i>Na</i>
<i>Mg</i>	1	-0,55	-0,83**	-0,08	-0,62	0,06	-0,69*	0,22
<i>Fe</i>		1	0,45	-0,64*	0,82**	-0,19	0,16	-0,47
<i>Al</i>			1	0,18	0,74*	-0,50	0,86**	-0,14
<i>Ca</i>				1	-0,46	0,17	0,56	0,56
<i>K</i>					1	-0,56	0,36	-0,44
<i>Ti</i>						1	-0,28	0,42
<i>P</i>							1	0,23
<i>Na</i>								1

Salda Gölü güneyi kıyı sedimanlarına ait ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Mg elementi Al, Ca, K ve Ti elementleri ile çok önemli negatif korelasyon (n:5; -0,93; -0,90; -0,94; -0,89; $p < 0.05$) göstermektedir. Fe elementi ile P elementi arasında çok önemli negatif korelasyon (n:5; -0,89; $p < 0.05$) vardır. Al elementi Ca, K ve Ti elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (n:5; 0,99; 0,99; 0,98; $p < 0.01$), P elementi ile de çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (n:5; 0,89; $p < 0.05$). Ca elementi ile K ve Ti elementleri arasında çok önemli pozitif korelasyon vardır (n:5; 0,99; 0,99; $p < 0.01$). K elementinin Ti elementi (n:5; 0,98; $p < 0.01$) ve P elementi (n:5; 0,89; $p < 0.05$) ile arasında çok önemli pozitif korelasyon, Ti elementi ile P elementi arasında da çok önemli pozitif korelasyon söz konusudur (n:5; 0,90; $p < 0.01$) (Tablo 6).

Tablo 6: Salda Gölü güneyi kıyı sedimanlarının ana element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu (n:5, ** % 99 ($p < 0.05$))

	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>Ti</i>	<i>P</i>	<i>Na</i>
<i>Mg</i>	1	0,64	-0,93*	-0,90*	-0,94*	-0,89*	-0,818	0,09
<i>Fe</i>		1	-0,62	-0,57	-0,62	-0,62	-0,89*	0,72
<i>Al</i>			1	0,99**	0,99**	0,98**	0,89*	0,06
<i>Ca</i>				1	0,99**	0,99**	0,87	0,10
<i>K</i>					1	0,98**	0,89*	0,05
<i>Ti</i>						1	0,90*	0,02
<i>P</i>							1	-0,35
<i>Na</i>								1

4.4. Sedimanların İz Element Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Değirmen Dere sedimanlarına ait iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Ni elementi Co ve Cr elementi ile önemli pozitif korelasyon (0,69; 0,69; $p < 0.01$), Sc elementi ile orta önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,52; $p < 0.05$). Co elementi Mn, Sc ve Ga elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,80; 0,79; 0,76; $p < 0.01$); Cu, Ba, La ve Th elementleri ile önemli pozitif korelasyon (0,74; 0,72; 0,62; 0,61; $p < 0.01$); Cr ve V elementleri ile orta önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,49; 0,53; $p < 0.05$). Mn elementi Cu elementi ile çok önemli pozitif korelasyon (0,77; $p < 0.01$); Ba, La, Sc, Ga ve Th elementleri ile önemli pozitif korelasyon (0,72; 0,70; 0,67; 0,67; 0,71; $p < 0.01$); V elementi ile de orta önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,47; $p < 0.05$). Cr elementi ile Sc elementi arasında orta önemli pozitif korelasyon vardır (0,53; $p < 0.05$). Cu elementi Ba elementi ile çok önemli pozitif korelasyon (0,80; $p < 0.01$); La, Sc, Ga ve Th elementleri ile önemli pozitif korelasyon (0,74; 0,69; 0,72; 0,69; $p < 0.01$); V elementi ile orta önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,57; $p < 0.01$). Pb elementi La, Sc ve Th elementleri ile orta önemli pozitif korelasyon (0,49; 0,54; 0,54; $p < 0.05$); Ga elementi ile önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,69; $p < 0.01$). Ba elementi La, Sc, Ga ve Th elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,91; 0,75; 0,77; 0,84; $p < 0.05$); V elementi ile önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,61; $p < 0.01$). V elementi La (0,51; $p < 0.05$) ve Ga (0,57; $p < 0.01$) elementleri ile orta önemli pozitif korelasyon göstermektedir. La elementi Sc, Ga ve Th elementleri ile (0,80; 0,81; 0,93; $p < 0.01$); Sc elementi Ga ve Th elementleri

ile (0,86; 0,83; $p < 0.01$); Ga elementi ise Th elementi ile (0,85; $p < 0.01$) çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (Tablo 7).

Kuru Dere sedimanlarına ait iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Ni elementi Co, Cr, Pb ve Th elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,94; 0,90; 0,77; 0,83; $p < 0.01$), As elementi ile çok önemli pozitif korelasyon (0,88; $p < 0.05$), Zn ve La elementleri ile önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,64; 0,72; $p < 0.05$). Co elementi Cr, Pb, Zn, La ve Th elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,86; 0,78; 0,79; 0,85; 0,92; $p < 0.01$); As elementi ile çok önemli pozitif korelasyon (0,82; $p < 0.05$); Mn elementi ile önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,75; $p < 0.05$). Mn elementi Zn, La, Sc, Ga ve Th elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,93; 0,91; 0,91; 0,90; 0,85; $p < 0.01$); Ba elementi ile önemli pozitif korelasyon göstermektedir. Cr elementi ile Pb, Sr ve Th elementleri arasında önemli pozitif korelasyon (0,64; 0,67; 0,64; $p < 0.05$); As elementi ile çok kuvvetli pozitif korelasyon vardır (0,85; $p < 0.05$). Cu elementi Ba, Sr, Sc ve Ga elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,98; 0,85; 0,79; 0,87; $p < 0.01$). Zn elementi La, Sc, Ga ve Th elementleri ile (0,99; 0,95; 0,85; 0,95; $p < 0.01$); Ba elementi Sr, Sc ve Ga elementleri ile (0,77; 0,83; 0,91; $p < 0.01$); La elementi Sc, Ga ve Th elementleri ile (0,91; 0,79; 0,98; $p < 0.01$); Sc elementi Ga ve Th elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,95; 0,83; $p < 0.01$) (Tablo 8).

Salda Gölü güneyi kıyı sedimanlarına ait iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu incelendiğinde; Ni elementi ile Co, Cu ve Sc elementleri arasında çok önemli pozitif korelasyon (0,99; 0,98; 0,98; $p < 0.01$) vardır. Co elementi ile Cu ve Sc elementleri arasında çok önemli pozitif korelasyon (0,99; 0,99; $p < 0.01$); Th elementi ile de çok önemli pozitif korelasyon (0,89; $p < 0.05$) vardır. Mn elementi Cr ve Zn elementleri ile çok önemli pozitif korelasyon (0,99; 0,99; $p < 0.01$) gösterir. Cr elementi de Zn elementi ile çok önemli pozitif korelasyon göstermektedir (0,99; $p < 0.01$). Cu elementi ile Sc elementi (0,95; $p < 0.05$), Pb elementi ile Th elementi (0,96; $p < 0.05$), Sc elementi ile Th elementi arasında çok önemli pozitif korelasyon söz konusudur (0,94; $p < 0.05$) (Tablo 9).

Tablo 7: Değirmen Dere sedimanlarının iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu

(n: 20, ** % 99 ($p < 0.01$), *%95 ($p < 0.05$))

	Ni	Co	Mn	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Ba	V	Sr	La	Sc	Ga	Th
Ni	1	0,69**	0,41	0,69**	0,33	0,03	-0,10	-0,06	0,19	0,12	-0,49	0,13	0,51*	0,33	0,08
Co		1	0,80**	0,49*	0,74**	0,36	0,05	0,26	0,72**	0,53*	-0,32	0,62**	0,79**	0,76**	0,60**
Mn			1	0,33	0,77**	0,23	-0,15	0,04	0,72**	0,47*	-0,11	0,70**	0,67**	0,66**	0,70**
Cr				1	0,26	0,08	0,18	0,04	0,21	0,17	-0,22	0,15	0,52*	0,282	0,22
Cu					1	0,43	0,17	0,17	0,80**	0,57**	0,12	0,74**	0,68**	0,72**	0,68**
Pb						1	0,47	0,31	0,44	0,35	0,05	0,48*	0,53*	0,68**	0,53*
Zn							1	0,55	0,31	0,05	0,37	0,17	0,24	0,21	0,27
As								1	0,57**	0,27	0,29	0,38	0,31	0,32	0,35
Ba									1	0,61**	0,31	0,91**	0,75**	0,77**	0,83**
V										1	-0,06	0,51*	0,32	0,56**	0,37
Sr											1	0,28	-0,01	-0,03	0,23
La												1	0,80**	0,81**	0,92**
Sc													1	0,85**	0,83**
Ga														1	0,84**
Th															1

Tablo 8: Kuru Dere sedimanlarının iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu

(n: 10, ** % 99 ($p < 0.01$), *%95 ($p < 0.05$))

	Ni	Co	Mn	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Ba	V	Sr	La	Sc	Ga	Th
Ni	1	0,94**	0,54	0,90**	-0,20	0,77**	0,63*	0,88*	-0,10	-0,31	-0,43	0,71*	0,41	0,20	0,83**
Co		1	0,74*	0,86**	-0,03	0,77**	0,79**	0,82*	0,06	-0,14	-0,34	0,85**	0,58	0,42	0,92**
Mn			1	0,34	0,56	0,51	0,92**	0,43	0,65*	0,02	0,13	0,91**	0,90**	0,89**	0,84**
Cr				1	-0,49	0,64*	0,41	0,85*	-0,41	-0,06	-0,67*	0,50	0,12	-0,06	0,64*
Cu					1	0,02	0,57	-0,20	0,98**	-0,23	0,85**	0,47	0,78**	0,87**	0,31
Pb						1	0,65*	0,78	0,06	-0,37	-0,11	0,69*	0,50	0,30	0,78**
Zn							1	0,66	0,62	-0,30	0,25	0,99**	0,94**	0,85**	0,95**
As								1	-0,15	-0,53	-0,28	0,73	0,44	0,15	0,83*
Ba									1	-0,18	0,77**	0,53	0,83**	0,91**	0,37
V										1	-0,47	-0,32	-0,31	-0,10	-0,36
Sr											1	0,16	0,49	0,53	0,03
La												1	0,91**	0,79**	0,98**
Sc													1	0,95**	0,82**
Ga														1	0,66*
Th															1

Tablo 9: Salda Gölü güneyi kıyı sedimanlarının iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle korelasyonu

(n:5, ** % 99 (p<0.01), *%95 (p< 0.05))

	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ba</i>	<i>V</i>	<i>Sr</i>	<i>Sc</i>	<i>Th</i>
<i>Ni</i>	1	0,99**	0,27	0,34	0,98**	0,73	0,35	-0,25	0,61	-0,29	0,98**	0,88
<i>Co</i>		1	0,27	0,33	0,99**	0,74	0,34	-0,23	0,64	-0,25	0,99**	0,89*
<i>Mn</i>			1	0,99**	0,43	-0,44	0,99**	0,13	0,64	-0,54	0,15	-0,18
<i>Cr</i>				1	0,48	-0,39	0,99**	0,04	0,60	-0,58	0,20	-0,13
<i>Cu</i>					1	0,62	0,49	-0,18	0,71	-0,34	0,95*	0,80
<i>Pb</i>						1	-0,38	-0,28	0,20	0,20	0,82	0,96*
<i>Zn</i>							1	0,06	0,62	-0,59	0,21	-0,12
<i>Ba</i>								1	0,39	-0,21	-0,18	-0,17
<i>V</i>									1	-0,15	0,61	0,44
<i>Sr</i>										1	-0,18	0,03
<i>Sc</i>											1	0,94*
<i>Th</i>												1

Çalışma alanında üç farklı lokasyonda (Değirmen Dere, Kuru Dere, Salda Gölü güney kıyı) yer alan sediman örneklerinin ana ve iz element konsantrasyonlarının birbirleriyle istatistiksel olarak %99 ve %95 anlamlılıkla pozitif ve negatif ilişkisi özet olarak Tablo 10’ da verilmiştir.

Tablo 10: Sediman örneklerine ait element konsantrasyonlarının birbirleriyle istatistiksel anlamda pozitif ve negatif ilişkisi

Anlamlılık	Değirmen dere	Kuru dere	Salda gölü güneyi
(+) %99 p<0.01	- Al – Fe, K - Ti – Na - Ni – Co, Cr - Co – Mn, Cu, Ba, La, Sc, Ga, Th - Mn – Cu, Ba, La, Sc, Ga, Th - Cu – V, Ba, La, Sc, Ga, Th - Ba – As, V, La, Sc, Ga, Th - La – Sc, Ga, Th - Sc – Ga, Th - Ga – Pb, V, Th	- Fe – K - Al – P - Ni – Co, Cr, Pb, Th - Co – Cr, Pb, Zn, La, Th - Mn – Zn, La, Sc, Ga, Th - Cu – Ba, Sr, Sc, Ga - Pb – Th - Zn – La, Sc, Ga, Th - Ba – Sr, Sc, Ga - La – Sc, Ga, Th - Sc – Ga, Th	- Al – Ca, K, Ti - Ca – K, Ti - K – Ti - Ni – Co, Cu, Sc - Co – Cu, Sc - Mn – Cr, Zn - Cr – Zn
(+) %95 p<0.05	- K – Fe, P - Co – Cr, V - Mn – V - Sc – Ni, Cr - Pb – Sc, La, Th - V – La	- Al – K - Ni – Zn, As, La - Co – Mn, As - Mn – Ba - Cr – Pb, As, Th - Pb – Zn, La - Th – As, Ga	- P – Al, K, Ti - Co – Th - Cu – Sc - Pb – Th - Sc – Th
(-) %99 p<0.01	Mg – Al	Mg – Al	
(-) %95 p<0.05	Mg – Fe, K, Ti	- Mg – P - Fe – Ca - Cr – Sr	- Mg – Al, Ca, K, Ti - Fe – P

5. Sonuçlar

Salda Gölü (Burdur) güney bölgesi sediman örneklemeleri üç ayrı lokasyonda (Değirmen Dere (20 adet), Kuru Dere (10 adet), Salda Gölü güney kıyı şeridi boyunca (5 adet)) yapılmış olup toplam 35 adet sediman örneğinin element konsantrasyonları (*Fe, Ca, P, Mg, Ti, Al, Na, K, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, As, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, B, W, Hg, Sc, Tl, Ga, Se, Te, Au*) ICP-MS cihazı ile analiz edilmiş ve elementlerin birbirleri ile beraberlikleri araştırılmıştır. Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre istatistiksel değerler hesaplanmış ve bölgenin temel birimlerini peridotitlerin oluşturması nedeniyle ortalama ultrabazik kayaç değerlerine [11] göre değerlendirilmiştir. Ayrıca element konsantrasyonlarının birbirleriyle

istatistiksel anlamda pozitif ve negatif ilişkisi araştırılmış ve yorumlanmıştır. Ultrabazik kayalarda ortalama yüksek bolluk değeri veren Mg, Cr, Fe, Ni ve Co elementlerinin çalışma bölgesindeki sediman örneklerindeki dağılımı incelendiğinde; Mg ve Fe elementlerinin bolluk derecesi en yüksek ana element; Ni, Mn, Cr ve Co elementlerinin bolluk derecesi en yüksek iz element konsantrasyonları olarak yer aldıkları saptanmıştır.

Ayrıca, bölgenin jeolojik özellikleri dikkate alındığında ofiyolitlere bağlı gelişmiş çok sayıda küçük ölçekli Cr yataklarının varlığı nedeniyle ortamdaki element konsantrasyonlarının belirlenmesi ile özellikle ultrabaziklere bağlı gelişen Cr yataklarının aranması ve bulunmasında Ni, Fe ve Mg elementlerinin iz sürücü element olarak kullanılması önerilebilir.

Teşekkür

Yazarlar, 2018-2-TP3-2965 nolu Proje kapsamında gerçekleşen bu çalışma için mali desteklerinden dolayı Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (MEÜBAP)' ne teşekkürlerini sunarlar.

6. Kaynaklar

- [1] Köksoy, M., *Uygulamalı Jeokimya. Hacettepe Üniversitesi yayınları*, A-64, s. 366, 1991.
- [2] Varol S., Davraz A., Şener Ş., Aksever F., Şener E., Kırkan B. ve Tokgözlü A., *Salda Gölü Sulak Alanı Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İzlenmesi ve Kirlilik Durumunun Tespiti*, TÜBİTAK ÇAYDAG proje raporu, Proje No: 114Y084, 2017.
- [3] Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbaş, A., Örcen, S. ve Bilgin, C., Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) dolayının jeolojisi, MTA raporu, no.9761, 1989.
- [4] Sarp, H. (1976). *Etude Geologique Et Mine'ralogie Du Corteg'e Ophiolitique De l'a Re'gion Situeu Au NW de Yeşilova (Burdur, Turquie)*, The'se Univ. Gene've, s. 373, 1976.
- [5] Çapan, U., *Toros Kuşağı ofiyolit masiflerinin iç yapıları, petrolojisi ve petrokimyasal yaklaşımlar*, H.Ü., Yer Bil. Enst., Doktora Tezi, s.400, 1980.
- [6] Poisson, A., *Recherches Géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie)*, These dock d'etat, Université Paris, XI-Örsay, s. 795, 1977.

- [7] Şenel, M., *1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Denizli-M23 Paftası*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayımlanmamış), 1997.
- [8] Döğen, A., *Tefenni (Burdur) Civarının Jeolojisi ve Kromit Yatakları*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, s. 56, 1992.
- [9] Bilgin, A. ve Özpınar, Y., *Babadağ ve Acıpayam (Denizli) dolaylarındaki ofiyolitik kayaçların başkalaşımalarında etken olan fiziksel koşullar*, C. Ü. Müh. Fak. Derg., Yerbilim, C.6, 7, s. 81-96, 1990.
- [10] Şentürk, M., *Acıgöl ve Burdur Gölleri Arasındaki Bölgenin Sismotektonik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 96, 2003.
- [11] Vinogradov A.P., *Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust*, Geochemistry, 7, s. 641-664, 1962.
- [12] Varol, S., Küçük, M., Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Aksever, F., Kırkan, B. ve Tokgözlü, A., *Salda Gölü Havzası Güneyinin (Yeşilova/Burdur) Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelemesi*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), s. 74 – 90, 2020.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 17



**Examination of Ilkhanid Period Tombs and Mausoleums
(Filiz Karakuş)**

Examination of Ilkhanid Period Tombs and Mausoleums

Filiz Karakuş

*Ankara Yıldırım Beyazıt University,
Faculty of Architecture and Fine Arts, Department of Architecture,
E-mail: ferdemir06@gmail.com*

1. Introduction

The Ilkhanate State is the Mongolian state founded by Hulagu Khan, the grandson of Genghis Khan, who captured Baghdad in 1258 and destroyed the Abbasid caliphate (Spuler, 2011: 62-63). Especially Hulagu, Abaka and Argun khans, although they were Buddhists, were interested in Christianity and they destroyed cities and science centers by creating a great danger for Muslims. In the first periods, they worshiped in tent churches in Iran and Azerbaijan, and after they settled down, they built Buddhist temples and churches. The Ilkhanate administration, which became Islamized during the Gazan Khan period, started an intensive development activity in the lands under its administration, especially in Iran and Southern Azerbaijan. Tabriz, Meraga, Sultaniye, Lincan, Veramin and Natanz in Iran; Ilkhanid works can be seen in the cities of Erzurum, Amasya, Tokat and Niğde in Anatolia (Beksaç and Çobanoğlu, 2000: 105).

Ilkhanids protected the Great Seljuk tradition in architecture and continued this tradition in design, architectural details and decoration. Within the scope of this study, tombs and mausoleums of the Ilkhanid period were discussed in terms of their architectural features.

2. Ilkhanid Period Tombs and Mausoleums

The tombs of this period were large and domed in order to be superior to the huge tomb that Seljuk Sultan Sencer had built for himself in Merv, and over time, they turned into complexes consisting of mosques, madrasas and other buildings clustered around the tomb. These are the predecessors of the complexes known as "kulliye" during the Ottoman Empire (Blair, 2002: 123).

2.1. Tombs of Gazan Khan and Vizier Reşidüddin:

Gazan Khan's most important project is the mausoleum complex located in Şenb-i Gazan (Fig. 1), west of Tabriz. Argun Khan found and settled in this area before, and then Gazan Khan settled in this area and decided to build a kulliye here (Sadeghnezhad, 2014: 72). The early Ilkhanate rulers hid the tombs, following the Mongol burial habits. Gazan Khan, on the other

hand, adopted Iranian Islamic traditions. This complex consists of an almshouse (imarethane), hospital, library, fountain, pavilion and two madrasas for Hanafi and Shafi students. Only bricks and tiles remained from this complex. In the texts, the tomb is described as “a structure with twelve sides, a semi-buried crypt (mausoleum), burial chamber and a dome” (Fig. 2) (Blair & Bloom: 1995: 6).

Vesaf says that the summer and winter quarters built here are very nice, and compared to Hüsrev's palace, Hüsrev's palace is just garbage. The walls of the mausoleum are 33 bricks thick and the total height of the dome is 77,80 m, the initial height of the dome is 59,5 m with the cornice, which is 4,6 m high, and the perimeter of the structure is 700 m long. How the exterior is decorated can be understood from the tile mosaic pieces found in the area. Navy blue stone is used for decoration and the inscription frieze is gold. This is probably a gilded plaster relief (Pope, 1969: 1055).

According to Godard (1937), although the structure is dodecagonal, it resembles the towers in Merage more than Sultan Sencer Tomb and Sultaniye Tomb. It is thought that the reason why the building was made of dodecagon is the belief of Isna'aşer'iyye (Twelverism), one of the Shiite sects (Godard, 1937).

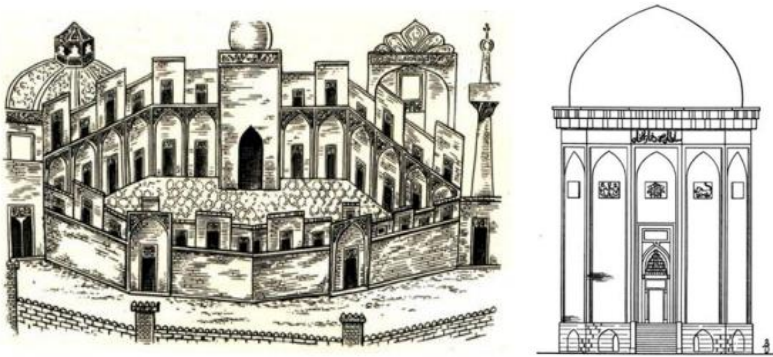


Figure 1. The image of Shenb-i Gazan (Sadeghnezhad, 2014)

Figure 2. Restored facade of Gazan Khan Tomb (Wilber, 1955)

Reşidüddin ordered his own tomb to be built in the east of Tabriz. Inside a solid wall behind a monumental portal are four buildings: an imarethane, hankah, hospital and mausoleum with mosque (Blair & Bloom, 1995: 6).

2.2. Sultan Olcayto Tomb, Sultaniye:

The Tomb of Sultan Olcayto (Fig. 3) takes the name of Sultaniye (meaning empire) between Tabriz and Kazvin, which the Mongols chose as the capital. The massive octagonal structure measures 125 feet across, is 80

feet in diameter and 165 feet high, and is crowned by a massive dome surrounded by eight minarets (Fig. 4). There is a rectangular hall measuring 50*65 feet in the south. This building has been the prototype of the imperial tombs built by the Mongols for centuries (Blair, 2002: 124).

This tomb is an octagonal structure covered with a pointed profile dome (Figure 5). From the outside, on each face of the octagon, there is a door with a low pointed arch enclosed in rectangular frames. The octagonal siege wall consists of two parallel walls, forming a corridor connected to each other by arches. Three pointed-arched windows were opened on each of the eight sides of this corridor, the middle ones being wider. Above these windows, at the level where the dome begins, there is a cornice with muqarnas and kufic inscriptions surrounding the building. As in the tomb of Sultan Sencer in Merv, the dome was built with two walls, one inside the other, and it was divided into partitions. Thus, both the weight of the dome was reduced and it was strengthened against earthquakes. The outside of the dome was covered with turquoise blue tiles. The inside of the dome is also covered with tiles (Yetkin, 1959: 247).

The volumes that fit into each other with a clever design are completed with vaults with galleries (Fig. 3). Two dozen vaults display carved plaster motifs painted in red, yellow, green and white. The interior of the tomb was decorated in two stages: bricks and tiles were made in the first stage, and painted plaster was placed on them in the second stage. Although this situation is primarily attributed to the re-ornamentation of the Safavid period, it was later attributed to the transition of Olcayto to Shiism. The exterior decorations were completed in 1310, and the interior decorations with brick and tiles were completed in 1313. Painted plaster interior decorations were ordered in 1316 before the death of the Sultan (Blair & Bloom, 1995: 8).



Figure 3. Sultan Olcayto Tomb exterior view (URL 1) and vault (URL 2)

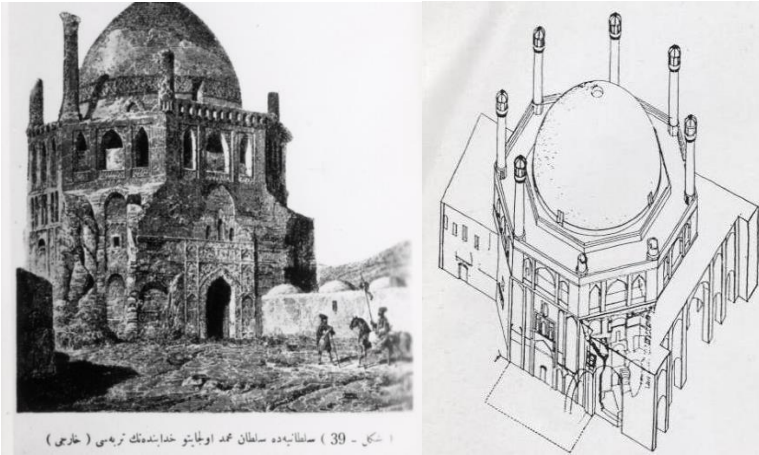


Figure 4. Engraving of Sultan Olcayto Tomb (URL 3) and axonometrik view (Blair & Bloom, 1995)

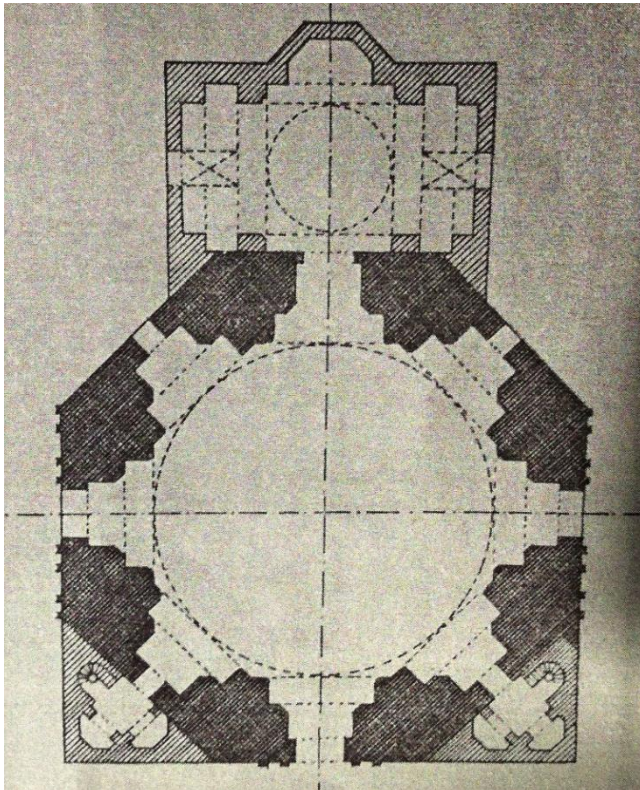


Figure 5. Plan of Sultan Olcayto Tomb (Godard, 1937)

Hillenbrand (2005) states that the building, whose high and pointed dome appears to rise directly from the octagonal room below, but actually sits on a

magnificent vaulted gallery, has the most advanced construction technology of the period structurally (Hillenbrand, 2005: 206).

2.3. Sheikh Mohammed Ibn Bakran (Tomb of Pir-i Bakran), Linjan:

Among the historical ruins in Pir-i Bakran village of Linjan, 18 miles southwest of Isfahan, are an ancient plane tree, a historical Jewish cemetery known as Esther Hatun, and the Pir-i Bakran Tomb (Fig. 6) after which the village is named (Kashani, 2004: 1358). The fact that the building was built near a cemetery containing Jewish graves and the reuse of this area shows an example of religious unification in the Ilkhanid period. The Pir-i Bakran Tomb took the form of a monumental iwan – a rectangular, vaulted hall open on one side and decorated with fine and elaborate plaster ornaments from the Ilkhanate period (Blair, 2002: 115).

The building was built in 1303 and expanded in 1312 (Fig. 7). All the features of this structure reflect Sassanid traditions and construction techniques, as it was built not of brick but of well-formed stone. A high and wide iwan was added to the domed room sitting on four arches. The building is placed in such a way that the arch appears to rise entirely from a cornice, giving it the impression of higher. There are new decorations inside and outside. Plaster arch ornaments enriched the exterior of the iwan arch. Inside, the star and turquoise tiles are faced with stripes of paint, the altar wall points to the vault decorations and underline the interior faces or arches or the interiors of the alcoves (Fig. 8) (Pope, 1969: 1077-79).



Figure 6. Pir-i Bakran Tomb (URL 4)

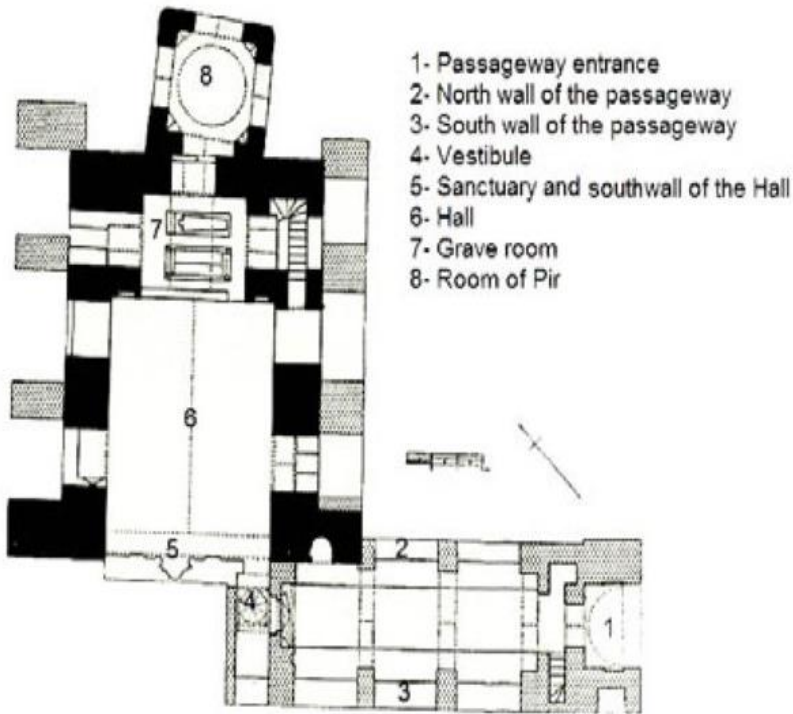


Figure 7. Pir-i Bakran Tomb ground floor plan (Behboodi 2011)



Figure 8. Stucco decorations and the volute of the mihrab and Stucco decorations of the blind arches and walls of the hall (Zarei and etc, 2012)

2.4. Bayezid Bastami Tomb, Bastam-Bistam:

Complexes were built around the tombs for charity purposes, not only for the Ilkhanid sultans and viziers, but also for the memory of Sufi sheikhs. In the north of Iran, the Bayezid Bastami Tomb (Fig. 9) has magnificent cut and painted plaster decorations (Fig. 10) and a fluted tomb tower. The inside diameter of this tower is over six meters and is broken into 25 grooves, which makes the tower's true height seem higher than it actually is (the height is only 13.58 m from the base to the top of the cornice) (Fig. 11). The layout of the tower in Bistam indicates a new development. Since the tower is behind the qibla wall of the mosque, the shrine becomes the focal point of all who gather there, a development also seen in contemporary Mamluk architecture (Blair & Bloom, 1995: 10).

There is actually a building complex in this area (Fig. 12). The tomb of a saint, a Seljuk minaret, fragment of the wall of a Seljuk mosque, the Tomb of Imamzade Muhammad Bistam Mirza, two other tombs, an entrance and corridor with a beautiful iwan dating to 1313, another entrance door that is currently nowhere to be found, and on one side It has an entrance to a madrasa built by Shah Rukh (Fig. 13). A few hundred yards to the south are the remains of other 14th-century buildings. There is a mosque, a small monastery and a tomb here (Pope, 1969: 1081).



Figure 9. Bayezid Bastami Complex (URL 5)



Figure 10. Entrance door detail (URL 6)



Figure 11. The dome cornice of the tomb (Wilber, 1955)



Figure 12. Mausoleum Complex of Sheikh Bayezid Bastami (URL 7)

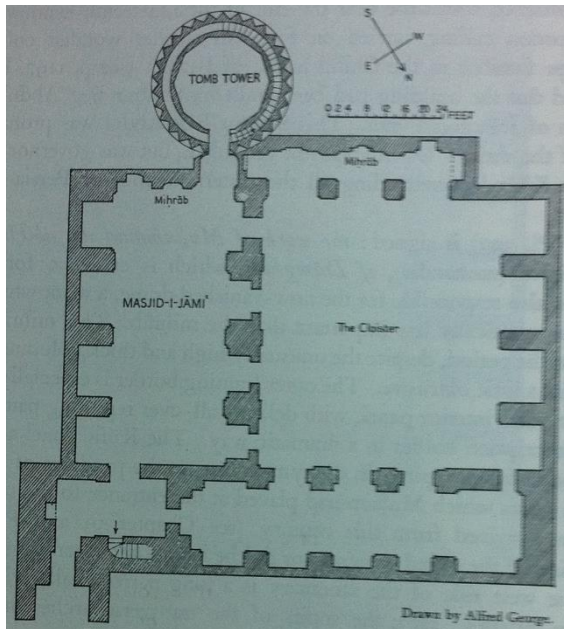


Figure 13. Bistam Complex ground floor plan (Pope, 1969)

2.5. Abd al-Samad (Sheikh Abdussamed Isfahani) Tomb, Natanz:

Abdussamed was the leading Suhrawardi sheikh of his time at Natanz in central Iran, and his tomb became an important tomb complex in the ten

years following his death (Fig. 14). Vizier Zeyned-din Mastari refurbished the city's mosque and built a tomb, a minaret and an almshouse next to it. These separate structures were tried to be combined behind a slightly curved façade. Tile (glazed tile), plaster (stucco), baked brick (terracotta) were used for decoration (Fig. 15). The irregular depths of the iwans in the mosque, the bumpy ground levels and the haphazard organization of the interior indicate that the builders were constrained by the topography of the land and other structures on it. The tomb room is approximately 6 meters square and was built on the land where Abdussamed's house was located. Although the shape is traditional, its interior is decorated with beautiful accessories provided by Vizier Zeyned-din. The walls are covered with a pair of bird-like strips of glossy 1,35-metre tiles now in museums around the world, their heads defaced by their iconoclasts. Regular, bright tiles also decorated the mihrab and the mausoleum (Fig. 16), and the room is extraordinary with its 12 rows of stalactite vaults. Eight-grid windows let in soft light and reveal the sculptural richness of the vault and illuminate the beautifully designed carved plaster inscription band that flanks the base of the dome. An inscription on the northern iwan of the mosque bears the signature of the master carver Haydar (who built the altar in the Isfahan Mosque) (Blair & Bloom, 1995: 10). A part of the mosque was completed in 1304, a part in 1309, the Tomb of Sheikh Abdüssamed in 1307, the hankâh, whose magnificent façade is today, was completed in 1316, and the 37.5 m high minaret was completed in 1316 (Pope, 1969: 1086).

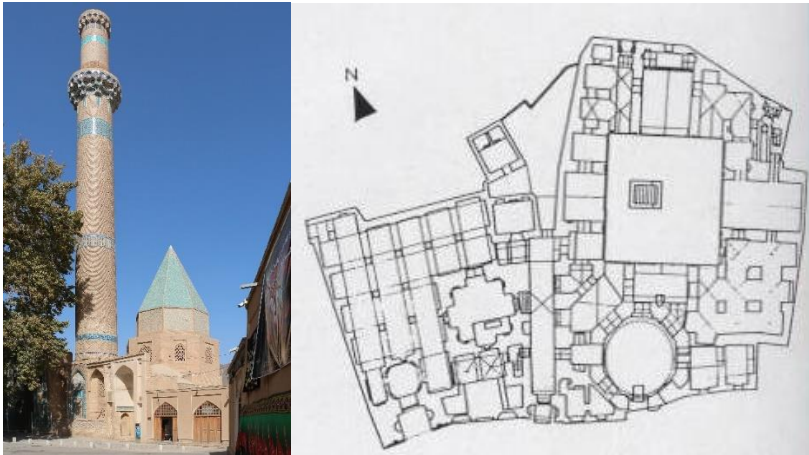


Figure 14. Sheikh Abdussamed Tomb exterior view (URL 8) and plan (Blair & Bloom, 1995)



Figure 15. Sheikh Abdussamed Tomb double bird frieze (Blair & Bloom) and muqarnas dome (URL 9)

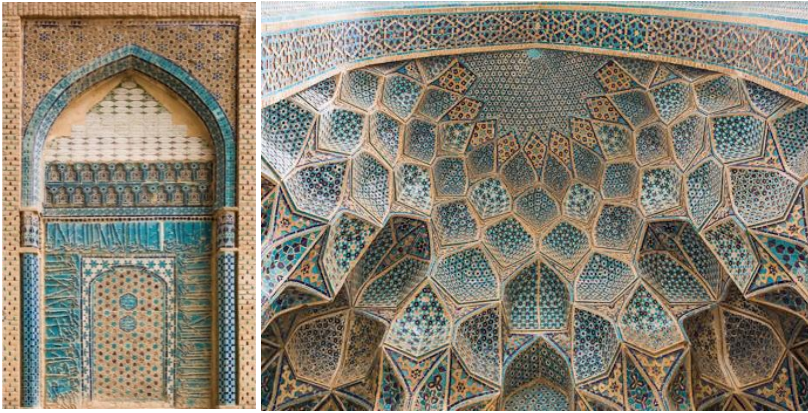


Figure 16. Abdüssamed Tomb decoration details (URL 9)

2.6. Barak Baba Tomb, Sultaniye:

Olcayto ordered that a mausoleum (Fig. 17) be built for Barak Baba in Sultaniye in 1310. Despite the strange qualities and behavior of the sheikh, the mausoleum is a typical octagonal structure and served as the model for the mausoleum built in Isfahan in 1325 to honor the tomb of Imamzadeh Jafar (Blair, 2002: 126).



Figure 17. Barak Baba Tomb (URL 10)

2.7. Imamzadeh Jafar Tomb, Isfahan:

Not all Ilkhanid buildings are on a monumental scale. The tradition of stand-alone shrine towers has continued, and we see a good example of this in the Imamzadeh Jafar Tomb (Fig. 18) in Isfahan. The octagonal tomb is seven meters in diameter and eleven meters in height. The terracotta and tricolor tiles adorning the exterior have undergone a heavy repair. The thinned proportions of the outer row of blind arches show the point Ilkhanid architecture has reached in this period (Blair & Bloom, 1995: 11).

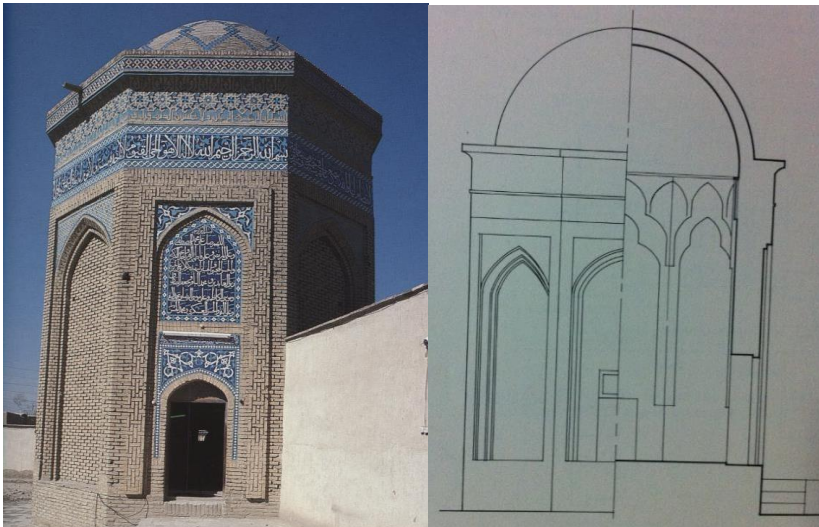


Figure 18. Imamzadeh Jafar Tomb (Blair & Bloom, 1995) and façade with assembled section (Wilber, 1955)

2.8. Celebioglu Tomb, Sultaniye:

The Çelebioğlu Tomb (Fig. 19-21), which is very similar in appearance and architectural details to the Imamzade Cafer Tomb in Isfahan, was built for Sufi sheik Burak and the workers who built the two tombs are probably the same. It is known that good artists went from one region to another during this period. The interiors of these small tombs are decorated with bright tiles and various pieces were added by different rulers at different times (Blair & Bloom, 1995: 11). Built in 1310, the mausoleum is one of the few surviving structures of the magnificent city of Sultaniye. It is an octagonal structure like the Imamzadeh Cafer Tomb built in Isfahan in 1341 (Fig. 20) (Pope, 1969: 1099).



Figure 19. Celebioglu Tomb (Sadeghnezhad, 2014)

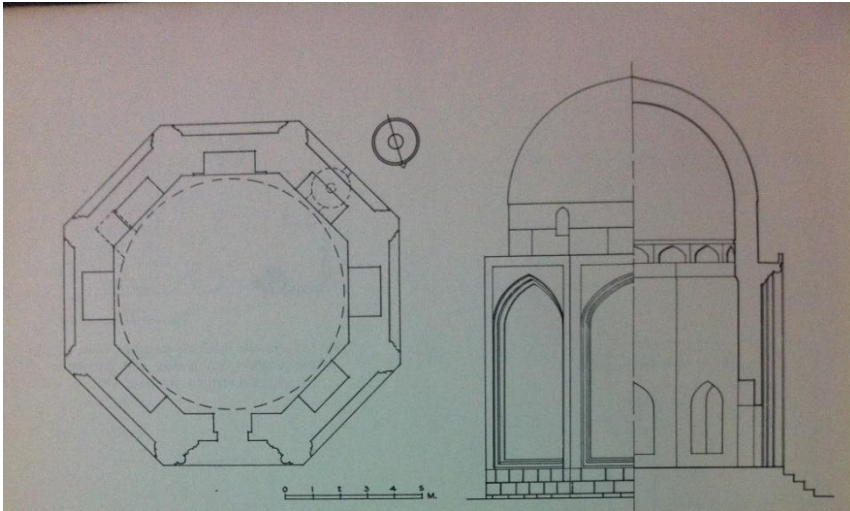


Figure 20. Celebioglu Tomb, plan and combined section and facade (Wilber, 1955)



Figure 21. Detail from the tomb (URL 11)

2.9. Tomb in Tus and Serahs:

The Tus Tomb (Fig. 22) is the only living witness to the glory of Tus, one of the oldest and most beautiful cities in Iran. Today it is called Haruniye by the locals and is considered the Tomb of Harun ar-Rashid. It is more plausible to describe it as Ghazali's Tomb, as it has been noted by various ancient authors that his tomb is here. There are various similarities between the Sultan Sencer Tomb and this building, but this is insufficient to prove that they are contemporary. In both, the squint is concealed by the addition of a second floor with a gallery at the corners. In addition, the pulley is surrounded by a portico consisting of blind niches in both monuments. These features and other features of the tomb are typical for the 13th century. For example, the great monumental portal is framed by a wide band, which is equal to the entire height of the façade. Niches around the pulley are deep in Sultan Sencer Tomb, and those in Tus Tomb are more superficial. The interior decoration is stable enough to date to the 14th century. There is a new type of squint quite different from the Seljuk period. Plaster ornaments bear the striking characteristics of the 14th century style: natural leaves, typical lotus flowers, a four-petaled medallion. The structure also has a double-layered dome. Although the outer shell collapsed, the findings in the parapets provide sufficient evidence for the 2nd shell. The double-shell dome for such wide openings was also very rare in the Seljuk period (Pope, 1969: 1072-74).

The real similarity of this tomb is with the tomb at Serahs (Fig. 23). This tomb is also double domed, similar to Tus Tomb in terms of proportion and

application. The entrance arch is framed by a three-dimensional geometric shape in the form of a ring. A historical source states that the building was built in 1356 for Sheikh Muhammed Ibn Muhammed Lokman. This tomb is decorated with beautifully carved gypsum panels that also enrich the entire iwan vault. These structures indicate that the architects of eastern Iran were relatively independent of the plaster and tile coverings that were abundantly used in western and central Iran (Pope, 1969: 1076-77).

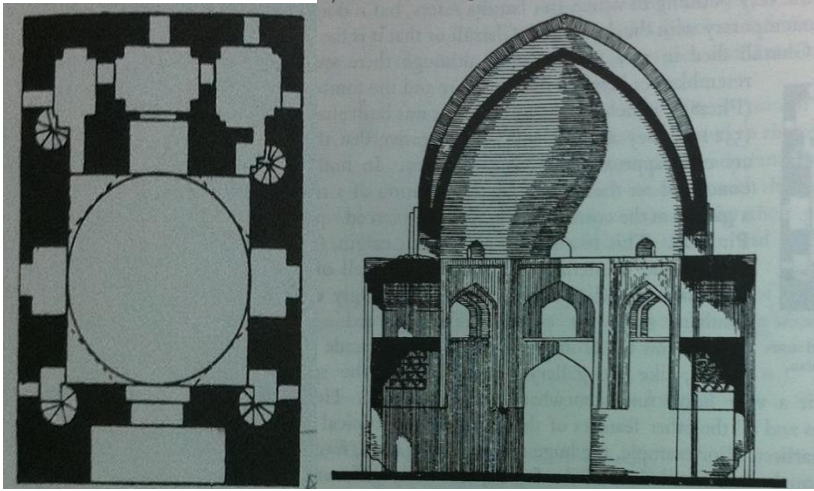


Figure 22. Tus Tomb ground floor plan (Pope, 1969)

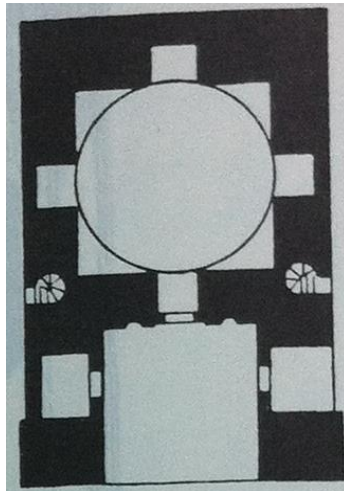


Figure 23. Serahs Tomb ground floor plan (Pope, 1969)

2.10. Shamseddin Tomb, Yazd:

It is a remarkable example of the general type in this period. A narrow forecourt leads to a high vaulted iwan, which opens into a domed rectangular mausoleum. The courtyard is long enough for the visitor to look back for a moment, while perceiving the full beauty of the long iwan arch. The arch of the iwan is surrounded by walls high enough to give a sense of peace and get away from the turmoil outside. The courtyard walls are covered with rich mosaic tiles (*çini*), which make beautiful reflections in the pool. The iwan arch has perfect outlines (Pope, 1969: 1090).

2.11. Esther and Mordecai Tomb, Hamadan:

Like the art performed by the Armenians, the art performed by the Jews in Iran during the Ilkhanate period also took on the characteristic features of the environment. This is clearly seen in the wooden mausoleum at Hamadan. It features a geometric design, vase-shaped capitals, and small altar-like niches similar to carvings made by Muslims, although there is a Hebrew inscription here. Since the mausoleum is in very good condition, it can be thought that the old one was later replaced with a new one. The tomb may also be an old structure restored by the vizier Reşidüddin. Rashid is a native of Hamadan, whose interest in Judaism is well known and later converted to Islam (Blair, 2002: 115).

3. Evaluation and Conclusion

After the Mongols settled in the Iranian region, they were influenced by the architectural works of the states that ruled in the Iranian region before them. The Seljuks and Khwarezmians had many tombs and mosques built in Iran. In addition to seeing and recognizing these examples, the Ilkhanids abandoned their tradition of keeping their relatives, elders, and the places of those who were sanctified after their death secret, after they settled in Iran, and started to build large shrines for them, like the Shiites in Iran.

The traces of the Seljuks are quite evident in the Ilkhanid buildings. It is correct to say that Seljuk architecture is the proto-form of Ilkhanid architecture. The materials used in this period are the same as in previous periods. However, the proportions of the spaces have been changed compared to the Seljuk structures: spaces tend to be higher compared to their horizontal dimensions. While the façades of the Seljuk iwans were wider and more massive, the iwans were narrower and higher in the Ilkhanid period. There is always an emphasis on verticality in Ilkhanid buildings. Seljuk transition elements were simplified over time, and the weight of decoration shifted from brickwork to tiles over time. During the Ilkhanid period, great care was

taken in the construction of tombs, and larger and more magnificent tombs were built.

Among the tombs of the Ilkhanid period examined in this study, Sultan Olcayto Tomb, Sheikh Abdussamed Tomb, Barak Baba Tomb, Isfahan Imamzadeh Jafar Tomb and Celebioglu Tomb have an octagonal plan, dodecagonal plan in Gazan Han Tomb, circular plan diagram in Bayezid Bastami Tomb, rectangular plan scheme is seen in Piri Bakran Tomb and Şemseddin Tomb, and square plan scheme is seen in Tus and Sarakhs Tombs. When we look at the cover systems, it is seen that the tomb of Sheikh Abdussamed is covered with a cone, the domes of the Tus and Sarakhs tombs are double-shelled, while the others are covered with a high and pointed dome. Unlike the others, there are 25 grooves on the exterior of the Bayezid Bastami Tomb.

In these structures, we see the central plan scheme and the dome referencing the sky, and the mandala scheme emphasizing the four directions in Tus and Sarakhs. Mandala, which is a diagram symbolizing the unity of earth and sky, is the expression of place and space (Akın, 1990: 33).

When we look at the general characteristics of Ilkhanid architecture, the prevalence of windows in the tombs of the Ilkhanid period and the rich plaster and tiled mihrabs attract attention as typical elements. High iwan, high and double-shelled domes, arches, the growth of the scale of the building, and the diversity of decoration are other characteristic features of the period.

4. References

- Akın, G. (1990). *Asya Merkezi Mekân Geleneği*, Ankara: Başbakanlık Basımevi.
- Behboodi, N. & Akbar K. (2011). The study of Islamic-national identity of Iranians in the creation of the tomb monument Pir-i Bakran. *Journal of the Iranian Studies (In Persian)*, 20: 53-70.
- Beksaç, E., Çobanoğlu, A., V. (2000). İlhanlı Sanatı, *Türk Diyanet Vakfı Ansiklopedisi*, (c. 22, 105-108). İstanbul: TDV Yayınları.
- Blair, S., S., Bloom, J., M., (1995). *The Art and Architecture of İslam 1250-1800*, New Hawin and London: Yale University Press.
- Blair, S., S. (2002). *The Religious Art of The İlkhaniids, The Legacy of Genghis Khan*, Newyork: The Metropolitan Museum of Art, 105-133.

- Godard, A. (1937). *Archaeological Museum of Iran*. Tahran: Archaeological Museum of Iran.
- Hillenbrand, R. (2005). *İslam Sanatı ve Mimarlığı*, İstanbul: Homer Kitabevi.
- Kashani, M., Taghi, M. (2004). *Collected Papers (on Archaeology) (In Persian)*. Edited by Mahdi Sadri. Tehran: Anjoman-e Asarva Mafakher-e Farhangi Press.
- Pope, A., U. (1969). *A Survey of Persian Art From Prehistoric Times To The Present*, London and New York: Oxford University Press.
- Sadeghnezhad, M. (2014). *Iran, Zencan/Sultaniye Şehrindeki İlhanlı Dönemi Mimarisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü.
- Spuler, B. (2011). *İran Moğolları Siyaset, İdare ve Kültür İlhanlılar Devri, 1220-1350*, Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Yetkin, S., K. (1959). *İslam Mimarisi*, Ankara: Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Türk ve İslam Sanatları Tarihi Enstitüsü Yayınları.
- Wilber, D. (1955). *The Architecture of Islamic Iran The Ilkhanid Period*, New Jersey: Princeton University Press.
- Zarei, M., E., Mortazaei, M., Behboodi, N. and Tahani L. (2012). An Analytical View on the Stucco Decorations of Ilkhanid Religious Buildings: A Case Study of Pir-i Bakran, Isfahan, Iran, *Iranian Journal of Archaeological Studies*, 2(2): 95-108.
- URL 1. <https://tarihiyapi.net/olcaytu-turbesi/>
- URL 2. <https://tr.pinterest.com/pin/326299935480855904/>
- URL 3. <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/90455>
- URL 4. https://stringfixer.com/tr/Pir_Bakran
- URL 5. <https://en.imna.ir/news/409947/Bastam-historical-complex>
- URL 6. https://www.toiran.com/en/city-shahroud/historical_sites/ Baya-zid- Bastami-Complex/ 8519
- URL7. https://www.omnia.ie/index.php?navigation_function=2&navigati on_item=9acf25eeebd1a826a54b2ff53302faae&repid=2

URL 8. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shrine_Complex_of_Sheikh_%27Abd_al-Samad,_Natanz_02.jpg

URL 9. <https://zamankaybolmaz.tumblr.com/post/181241811192>

URL 10. http://sultaniyya.org/?page_id=3650

URL 11. <https://www.picuki.com/location/the-chalabi-ughlu-monastery-mausoleum---256652688376624>.

**Natural and Technology
Sciences**

CHAPTER 18



**Bitkisel Sütlerin Elde Edilme Kaynakları ve Üretim
Yöntemleri
(Melek Zor, Menekşe Bulut)**

Bitkisel Sütlerin Elde Edilme Kaynakları ve Üretim Yöntemleri

Melek Zor¹, Menekşe Bulut²

¹*Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, 04100, Ağrı, Türkiye, E-mail: mzor@agri.edu.tr*

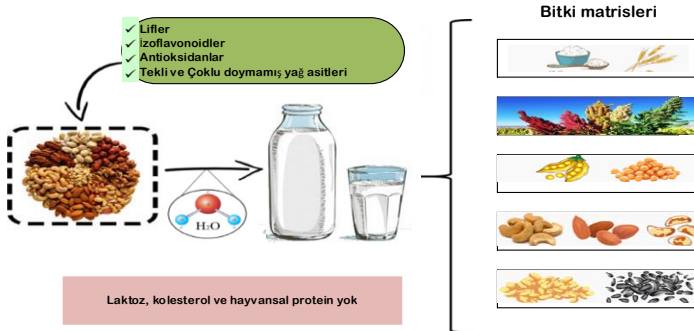
²*Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Iğdır Üniversitesi, 76000, Iğdır, Türkiye, E-mail: menekse.bulut@igdir.edu.tr*

1. Giriş

İnsanlar son yıllarda veganlık, vejetaryenlik, sağlıklı yaşama bilincinin gelişmesi ve çevreye duyarlılığın artması gibi nedenlerden dolayı tahıl, baklagiller, kabuklu yemişler, meyve ve sebze içeren bitki bazlı bir beslenme tarzına yönelmişler ve bu nedenlerle inek sütüne alternatif olabilecek bitkisel süt içeceklerinin popülerliği ve bu içeceklerle olan talep artmıştır (Penha ve ark., 2021; Gram, 2021). Günümüzde hayvansal süte alternatif olarak kullanılan içecekler; bitkisel bazlı süt içeceği/bitkisel sütler (plant-based milk/like beverages) ya da alternatif süt içecekleri (milk alternative beverages) olarak adlandırılmaktadır (Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva., 2022). Bitki bazlı süt alternatifleri, örneğin Çin'de soya sütü ve İspanya'da horchata (yer bademi sütü) gibi tarihsel olarak birçok gıda kültürünün parçası oldukları için tamamen yeni bir ürün kategorisi değildir (Vaikma ve ark., 2021). Bitki bazlı süt ya da bitki bazlı süt alternatifleri; tahıllar, sözde tahıllar, tohumlar, sebzeler ve kuruyemişler gibi bitki matrislerinin çözünür özünden parçalanarak, hammaddenin boyutu küçültülerek, suda ekstrakte edilerek ve ardından homojenize edilerek elde edilen inek sütüne benzeyen içeceklerdir. Ayrıca bitkisel süt, kaynaklarda “baklagiller, yağlı tohumlar veya tahılların, inek sütünün görünümüne benzeyen su özütleri” olarak tanımlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, baklagiller (kinoa, soya fasulyesi), tohumlar (ayçiçek, susam, kenevir, kavun çekirdeği, karpuz çekirdeği), sert kabuklu meyveler (badem, antep fıstığı, ceviz, fındık, yer fıstığı, Hindistan cevizi) ve tahıllar (yulaf, kinoa, kavuzlu buğday, pirinç, maş fasulyesi, börülce) bitkisel süt üretiminde kullanılmaktadır (Ersan ve Topçuoğlu 2019; Silva et al., 2020; Erol, 2020; Astolfi ve ark., 2020; Oduro ve ark., 2021a; Karımdastjerd and Konuskan, 2021).

Tüketiciler bitki bazlı içeceklerin besinsel faydalarını talep ettikleri için, dünya tüketim modelindeki değişikliklere paralel olarak bu içeceklerin üretimleri giderek artış göstermektedir. Bitki bazlı içecek talebinin ortaya çıkmasıyla, bu ürünlerin küresel pazarda yeri artmıştır. Pazardaki değerlerin 2024 yılına kadar yıllık %4.91 artışla 12.1 milyar ABD dolarının üzerine

çıkacağı, 2018 yılında pirinç, yulaf, Hindistan cevizi ve bademli içeceklerin büyük payı nedeniyle pazarın %51.5 büyüdüğü ve 2018 yılında pazarın yaklaşık %90'ına tekabül eden ana ürün soya fasulyesi bazlı içecekler olsa da, önümüzdeki yıllarda diğer bitkisel kaynaklardan üretilen içeceklerin artacağı beklenmektedir. Pirinç, badem, tahıl ve tohum gibi soya fasulyesi bazlı olmayan bitki bazlı içecekler için; toplam tüketiminin 2022 yılına kadar 10.5 milyon litreden 30.1 milyon litreye çıkacağı tahmin edilmektedir (Penha ve ark., 2021). Bitkisel sütlerin pazar paylarını %64 badem sütü, %13 soya sütü, %12 Hindistan cevizi sütü ve %11 diğer bitkisel sütlerin oluşturduğu belirtilmiştir (Ersan ve Topçuoğlu, 2019). Dondurma, yoğurt, kaymak, tereyağı ve salata sosu gibi bitkisel bazlı süt ürünlerinden oldukça yüksek gelir elde edildiği bildirilmiştir. Bitki bazlı süt ikamelerinin tüketiminin faydalarına ek olarak, bu içeceklerin üretimi, daha az sera gazı yayarak iklim değişikliğine olumlu katkı ve ekotoksosite potansiyelini azaltma gibi çok sayıda olumlu çevresel etkiye sahiptir (Haas ve ark., 2019; Aydar ve ark., 2020; Oduro ve ark., 2021b; Vaikma ve ark., 2021; El-Sattar ve ark., 2021).



Şekil 1. Bitki bazlı süt üretiminde kullanılan bitkisel hammaddeler (Bocker ve Silva, 2022).

Röös ve ark., (2016), İsveç süt çiftliğinde yaptıkları bir çalışmada inek sütü yerine yulaf içeceği üretiminin iklim değişikliği üzerindeki etkiyi azaltmak için muazzam bir potansiyel gösterdiğini ve aynı zamanda otlatma için biyolojik çeşitliliğin korunmasını sağladığını bildirmişlerdir. İnek sütü yerine, yulaf içeceği işleyerek ekotoksosite potansiyelinin zararlarını azaltma fırsatı da bildirilmiştir. Buna ilaveten, bitkisel kaynaklı süt atıkları antioksidan, biyoaktif bileşik ve uçucu yağ içermekte ve bitki bazlı atık üründen antimikrobiyal ajan, katma değeri yüksek yüzey aktif ajan, diyet lifi ve renklendirici elde edilerek geri dönüşüm sağlanmakta ve çevre sorununun azaltılmasına yardımcı olunmaktadır (Aydar ve ark., 2020). Bazı araştırmacılar dengeli bir bitki bazlı diyetin günlük yaşam için ihtiyaç duyulan tüm besin maddelerini sağlayabileceğini savunmuş olsa da, bitki bazlı diyetlerin besinsel içeriklerinin hayvansal ürünleri içeren diyetlerden

daha düşük olduğunu belirtmişlerdir (Oduro ve ark., 2021b). Ayrıca bitki bazlı diyetin kardiyovasküler hastalıkları azaltma özelliğine ek olarak, fındık ve soya fasulyesi gibi bitki kaynaklı gıdalarca zengin bir beslenmenin, Alzheimer hastalığı gibi nörodejeneratif bozukluk (Alzheimer hastalığı vb) riskini azalttığı bildirilmiştir (Gram, 2021). Bu ürünler, doğal laktoz, kolesterol ve hayvansal protein yokluğunun yanı sıra yüksek oranda lif, izoflavonoid, antioksidan, tekli ve çoklu doymamış yağ içeriğine sahiptir. Ayrıca, bitki bazlı içecekler süte benzer organoleptik ve reolojik özellikler gösterebilir (Silva ve ark., 2020; Oduro ve ark., 2021b; Bocker and Silva 2022). Tüketicilerin bitki bazlı süt ikamelerini tercih etmesinin nedenleri; inek sütü protein alerjisi, laktoz intoleransı, kalori ve hiperkolesterolemi sıklığı gibi sağlık nedenleri ile yaşam tercihi olarak sayılabilir (Silva ve ark., 2020; Karımdastjerd ve Konuskan, 2021). Bitkisel sütlerin inek sütüne göre faydaları; sindirilebilirliğinin yüksek olması, inek sütü proteini içermemesi, kolesterolün olmaması, laktoz içermemesi, düşük doymuş yağ, lif, izoflavonlar, vitaminler, mineral bileşikler ve yüksek doymamış yağ asitlerini içermesi olarak sayılabilir. Bitkisel sütlerin dezavantajları ise alerjiye neden olabilen diğer proteinler içermesi, düşük mikro besin içeriği, düşük protein içeriği, antibesin içermesi (fitik asit, tripsin inhibitörleri, inositol fosfatlar) ve düşük tüketici kabul edilebilirliği olarak sayılabilir (Dhakal ve ark., 2014; Silva ve ark., 2020). Bitkisel sütlerde bulunan diğer beslenme karşıtı bileşikler, fitat ve oksalat, vitamin ve minerallerin biyoyararlanımını olumsuz etkilemektedir. Isıl işlem oksalatı bozabilir, ancak fitat üzerinde etkili değildir. Bitkisel kaynaklı sütlerde fitat miktarını azaltmak için fermentasyon veya fitaz enzimi etkin bir şekilde kullanılabilir (Karımdastjerd ve Konuskan, 2021). Silva ve ark., (2020) bitki bazlı suda çözünür özütün, inek sütü için bir ikame olarak kabul edilebileceğini, ancak bileşimi ve besin kalitesi açısından zenginleştirilmesine ihtiyaç olduğunu bildirmiştir. Bu takviyenin, katkı maddelerini ekleyerek veya iki veya daha fazla bitki bazlı süt ikamesini birleştirerek yapılabileceği bildirilmiştir. Ek olarak, bitki bazlı içecekler, genellikle inek sütüne ve ürünlerine alternatif ürünlerin kabul edilmesini engelleyen bazı özelliklere sahiptir. Bunlar; kötü tatlar (soyadan fasülye aroması, tohumlardan acılık) ve zayıf doku (yüksek nişasta içeriğinden kaynaklanan emülsiyon kararsızlığı) özellikleridir. Bazı kötü tatlara, baklagil bazlı içeceklerde heksanal ve heksanol veya fındık bazlı içeceklerde hekzanal ve pentanal gibi lipidlerin oksidasyonundan oluşan uçucu bileşikler neden olmaktadır. Acı tatsızlık genellikle bitki fenoller, flavonoidler, terpenler ve glukozinolatlarla ilişkilidir. Besinsel açıdan, bitki proteinleri, hayvansal proteinlere kıyasla daha düşük besin kalitesine sahiptir ve bu nedenle bu süt ikameleri genellikle vitaminler, mineraller, proteinler ile desteklenir. Takviyeler de nihai ürünün lezzetini etkileyebilmektedir (Vaikma ve ark., 2021). Zhou ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada inorganik veya

organik nanopartiküllerin, gastrointestinal özelliklerinde değişikliğe neden olmadan fizikokimyasal özelliklerini değiştirmek için bitki bazlı sültere eklenebileceğini bildirmişlerdir. Ancak gelecekte, bu etkilerin hayvan veya insan çalışmaları gerektirecek daha gerçekçi gastrointestinal koşullarda da görülüp görülmediğini belirlemenin önemli olduğu vurgulanmış, ayrıca, bu nanoparçacıkların potansiyel toksisitesini gıdalarda normal olarak bulunan seviyelerde belirlemenin önemi üzerinde durulmuştur.

Bitki bazlı süt ikameleri, kardiyovasküler hastalıklar, kanser, ateroskleroz ve diyabet riskini azaltan zengin antioksidan aktivite ve yağ asidi nedeniyle olumlu etkilere sahiptir. Bununla birlikte, bitki bazlı süt ikame ürünlerinin de protein içeriği eksikliği, mineral ve vitaminlerin düşük biyoyararlanımı ve ağız sağlığı sorunları gibi çeşitli olumsuz sağlık etkileri vardır. Bir problem olan; bazı anti-besinler ve polifenoller nedeniyle vitamin ve minerallerin düşük biyoyararlanımının, fermentasyon ile üstesinden gelinebildiği belirtilmiştir. Diğer bir problemin ise, bitki bazlı süt ikame maddelerini tatlandırmak için ve tüketici kabulünü artırmak için kullanılan şekerin eklenmesi ile şeker alımının dış çürükleri üzerinde ağız sağlığına olumsuz etki gösterdiği belirtilmiştir. Bu sebeple bu içeceklerin ya da şekerli yiyeceklerin sınırlandırılması gerektiği vurgulanmıştır (Aydar ve ark., 2020). Endüstride, lipoksijenaz aktivitesi nedeniyle "fasyelyemsi" veya "boyalı" kötü tada sahip nihai bir ürün ve çözünmeyen büyük partiküllerin neden olduğu kireçli bir ağız hissi olmak üzere iki sorun gözlemlenmiştir. Ayrıca, bitkisel süt ikamelerinin üretim maliyeti daha yüksek olduğundan, bitkisel süt ikamelerinin fiyatı inek sütünden daha yüksektir. Bu nedenle bitkisel süt ikamelerinin lezzeti, tüketicilerin tercihlerine cevap verecek, ancak sağlık yararlarını koruyacak şekilde geliştirilmelidir (Aydar ve ark., 2020). Vegan ve vejetaryen tüketicilere alternatif süt ürünleri üretebilmek için bitki bazlı sültere probiyotik mikroorganizmalar eklenerek fermente süt ürünleri (yoğurt, peynir vb) üretilmektedir (Erk ve ark., 2019). Bitki bazlı süt ikameleri, veganlar için farklı bitkisel sülterden elde edilen yoğurt, peynir, kefir, krema, tereyağı, dondurma, çikolata, gibi birçok vegan gıda ürününü için temel bir bileşen olarak kullanılmasıından dolayı, bitkisel sülter vegan gıda endüstrisi için yeri doldurulamaz gıda kaynaklarından biri olmuştur (Isanga ve Zheng, 2008; Gatade ve ark., 2009; Ersöz, 2012; Haas ve ark., 2019; Erol, 2020; Erk, 2021; Gram, 2021).

2. Bitkisel süt elde edilen kaynaklar

2.1. Badem (*Prunus amygdalus*)

Badem (*Prunus amygdalus*), Rosaceae (gülğiller) familyasının *Prunoideae* alt familyasından, ağaçta yetişen sert kabuklu bir meyvedir. Anavatanı Batı ve Orta Asya olan badem Hindistan, İran ve Pakistan'da

doğal olarak yetişmiş ve bu ülkelerden Akdeniz Bölgesi'ne yayılış göstermiştir (Akalin, 2020; Erol, 2020). Bugün A.B.D'nin Kaliforniya eyaletinde dünyanın en yüksek badem üretimi gerçekleştirilmektedir (Esfahlan ve ark., 2010). Badem bileşen olarak, protein, yağ, mineral, karbonhidrat ve diyet lifi açısından zengin bir meyve olarak bilinmektedir (Maria ve Victoria, 2018; Silva ve ark., 2020). Erol (2020). 100 g badem tüketildiğinde vücuda 21 g protein alınmaktadır. Günlük protein ihtiyacımızın 50-60 g olduğu düşünüldüğünde günlük protein ihtiyacımızın yaklaşık yarısını 100 g badem tüketerek karşılayabilmemiz mümkün olmaktadır (Akalin, 2020; Bocker ve Silva 2022). Bademin hiperlipidemik deneklerin diyetlerinde kullanıldığında, koroner kalp hastalığı faktörlerini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Esfahlan ve ark., 2010; Erol, 2020). Badem kalsiyum, potasyum, selenyum, magnezyum, çinko, bakır ve fosfor gibi besinler açısından zengindir ve arabinoz varlığı nedeniyle prebiyotik özelliklere sahiptir (Silva ve ark., 2020). Glisemik indeksi yüksek gıdalarla birlikte badem tüketilmesinin bu gıdalardaki glisemik indeksin azaltılmasına ve dolayısıyla kandaki şekerin düştüğü belirlenmiştir (Erol, 2020). Çoklu doymamış yağ asitlerinin yüksek konsantrasyonu nedeniyle bozulmaya yatkın bir yapıya sahip olması da olumsuz özelliklerindendir (Bocker ve Silva, 2022). Badem, tüm bu özelliklerinin yanı sıra serum kolesterol seviyesini düşürmeye yardımcı olan arabinoz içeriği nedeniyle prebiyotik olarak adlandırılabilir. Ancak bademlerin bireylere karşı alerji potansiyeli vardır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Badem meyvesi bütün çiğ ya da kavrulmuş çerez olarak tüketilebildiği gibi özellikle fırıncılık ve şekerleme ürünlerinde olmak üzere çeşitli işlenmiş gıdalarda aperatif yiyecekler ve bileşenler olarak kullanılmaktadırlar (Esfahlan ve ark., 2010; Ersan ve Topçuoğlu, 2019). Bunların yanı sıra son yıllarda süt ikamesi olarak badem sütü şeklinde de tüketimi yaygınlaşmıştır (Akalin, 2020). Ayrıca son zamanlarda yaygın olarak kullanılan soya sütünün sahip olduğu fasülyemsi aroma ve bazı besin bileşenlerinin eksikliği sebebiyle badem sütü soya sütüne tercih edilmeye başlanmıştır (Erk ve ark., 2019). Badem sütünden yoğurt (Rai ve ark., 2018), probiyotik yoğurt (Ersan ve Topçuoğlu, 2019) ballı, muzlu kefir (Erol, 2020) ve vegan peynir benzeri ürünler (Erk, 2021) üretilmektedir.

Badem sütü üretiminde meyveler suda ıslatılıp öğütüldükten sonra filtre edilmesi ya da meyvelerin ıslatılmadan öğütülerek un haline getirilip su ilave edilmesi gibi iki farklı yöntem kullanılabilir (Ersan ve Topçuoğlu, 2019). Sezgin (2021), kabuklu meyvelerle (findık, ceviz, badem, Hindistan cevizi) yaptığı çalışmada, bitkisel süt eldesi için; meyveleri 30 °C'de 24 saat kurutmuş, ardından meyvelerin kabuklarını kırmış ve kabuklar ayrılmıştır. Yumuşaması için, kuruyemişlere içme suyu ilave edilerek 120 dakika suda bekletilmiştir. Meyveler ağırlıklarının 6.6 katı sıcak (50 °C) içme suyu ile

kariştirilmiş ve homojenize edilmiştir. Daha sonra bulamaç, çift katlı tülbenkten süzölmüş ve hazırlanan badem sütleri cam şişelere doldurularak 4 °C'de saklanmıştır. Badem sütünün süreye bağılı olarak faz ayrılmasını önleyerek emülsiyon kararlılığının artırılması dolayısıyla stabilitesinin korunması amacıyla formölasyonda modifiye nişasta, agar, lesitin gibi çeşitli stabilizatörlerin yanı sıra ultrason uygulamalarının kullanıldığı bildirilmiştir (Çelik, 2019). Üretilen badem sütü vejetaryenlere, laktoz intoleransı olanlara, yaşlılara, kalp damar hastalarına ve diyabet hastalarına alternatif bir içecek olarak sunulmaktadır (Ceylan, 2013). Badem sütü yüksek kaliteli protein, düşük glisemik indeksli karbonhidratlar, doymamış yağ asitleri, vitaminler, mineraller, diyet lifi, fenolik asitler ve flavonoidler içerir ve bunların tümü günlük tüketim için gerekli besinlerdir ve probiyotik bakteriler için uyarıcı besinler olabilmektedir (Ersan ve Topçuoğlu, 2021). Badem sütünün kalp hastalıkları riskini azaltması, kansızlığı önlemesi, müshil etkisi göstermesi ve serbest radikallere karşı koruyarak antioksidan etkisi sağlığa olumlu faydaları olarak sayılabilir (Karımdastjerd ve Konuskan 2021). Güçlü bir antioksidan olan E vitamini, serbest radikal reaksiyonlara karşı koruyucu bir rol oynayabilmektedir (Chalupa-Krebzdak ve ark., 2018). Laktoz intoleransı olan hastalara badem sütü bir alternatiftir. Ancak badem sütünde, içeriğindeki çoklu doymamış yağ asitlerinin sebebiyet verdiği oksidasyon ile acılaşıma görölmektedir. Bu oksidasyon gıda proseslerinin uygun bir şekilde planlanması ile ortadan kaldırılabilmektedir (Sezgin, 2021). Tamamen kalori açısından bakıldığında, şekersiz badem sütü, düşük kalorili bitki bazlı süt alternatifi için en iyi seçenektir. Bununla birlikte, badem sütü aynı yaş grubu için önerilen günlük protein alımının yalnızca %10'unu sağlarken, benzer bir porsiyon inek sütü, önerilen günlük protein alımının yarısından fazlasını sağlar. Çocuk katı bir vejetaryen veya vegan diyetini sürdürüyorsa, B12 tamamen bulunmadığından ve badem sütünde küçük miktarlarda folat bulunduğundan, çocuğun diyet veya takviye yoluyla yeterli B12 ve folat almasına dikkat edilmelidir (Collard ve McCormick, 2021).

Badem sütü (%60) ve soya sütü (%40) ile hazırlanan soya-badem sütü karışımının, duysal ve besleyici özellikler bakımından yüksek skora sahip olduğu görölmüştür (Kundu ve ark., 2018). Bitki bazlı sütlerin probiyotik ürün geliştirmek için kullanılması ile beslenme ve sağlığa yararlı etkilerine ek olarak içeriğinde bulunan prebiyotiklerden dolayı, sinbiyotik bir üründe oluşmaktadır. He ve Hekmat (2014), çalışmalarında soya, badem ve fıstık sütü örnekleri ile formölasyon hazırlamışlar ve her biri duysal analizinde probiyotik içecek olarak en çok probiyotik badem sütünün beğenildiği bildirilmiştir. Bernat ve ark., (2015a) yaptıkları çalışmada badem sütünü *L. reuteri* ve *St. thermophilus* ile fermente ettikten sonra sütün viskozitesinde artış meydana geldiğini ve badem sütünde probiyotik mikroorganizmanın yüksek bir popölasyon ($>10^7$ KOB/mL) gösterdiğini belirtmişlerdir.

Maghsoudlou ve ark., (2016), tarafından badem sütünde ultrason uygulamasının, modifiye nişasta, lesitin ve agar kullanılması ve ultrason uygulaması ile badem sütünün partikül boyutundaki azalmanın stabiliteyi arttırmanın en iyi yolu olacağı bildirilmiştir. Aynı çalışmada, badem sütünde şeker (%8), yapay tatlandırıcı (% 0.55) ve aroma sağlayıcı olarak gül suyunun kullanılmasının duyuşal açıdan yüksek bir beğeni oluşturduğu ortaya konulmuştur.

2.2. Soya (*Glycine max*)

Soya (*Glycine max* L.), Leguminosae takımının Papilionata familyasına ait bir bitkidir. Dünyada en çok yetiştirilen bitkiler arasında olan ve Asya ülkelerinde uzun yıllardır tüketilen en önemli besin kaynaklarından biridir (Taşdemir, 2020). Soya fasulyesi karbonhidratlar, proteinler ve lipitler açısından zengindir. Soya proteini, çoğu insanlar için gerekli olan miktarlarda bulunan temel amino asitlerden oluşmaktadır (Silva ve ark., 2020). İnsan tüketiminde elzem olan esansiyel aminoasitlerden izoleüsin, lösin, lizin, metionin+sistin, fenilalanin+tirosin, treonin ve valinin tamamını bulunduran soya sütünün, inek sütüne ikame olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Taşdemir, 2020). Fitokimyasallar açısından zengin ve izoflavonlar, saponinler, fitik asit, tripsin inhibitörleri, fenolik asitler ve lektinlerdir, kolesterol seviyelerini düşürürler, bazı kanserler, kardiyovasküler hastalık, nörodejeneratif bozukluklar, dermatolojik hastalıklara karşı, osteoporoz ve diğer kronik bulaşıcı olmayan dejeneratif hastalık riskini azaltırlar (Silva ve ark., 2020; Karımdastjerd ve Konuskan, 2021). Soya aminoasit ve protein içeriği dışında, fonksiyonel gıda olarak kabul edilen soyada biyoaktif bileşenler (proteaz inhibitörleri, fitosteroller, saponinler, fenolik asit, fitik asit, tanenler ve izoflavonlar) bulunmakta ve bu bileşenlerin kanser, kalp-damar rahatsızlıkları ve osteoporoz riskini azalttığı bildirilmektedir (Taşdemir, 2020). Ayrıca soya tüketimi ile vücuda alınan antioksidanların kötü kolesterol miktarını düşürdüğü ve iyi kolesterol miktarını koruduğu rapor edilmiştir (Erk, 2021).

Soya sütü, soyanın su ile ekstraksiyonundan elde edilen, Çin’de yıllardan beri tüketilmekte olan, tripsin inhibitörü gibi anti-besin öğelerinin aktivitelerini durdurmak ve gıda güvenliğini sağlamak için ısıtıl işlem uygulanan bir üründür. Ayrıca soya sütüne bitkisel yağlar, tatlandırıcılar, tuz, baharatlar, zenginleştirici veya aroma bileşikleri de ilave edilebilmektedir. Soya sütü, %8-10 toplam kuru madde içerir ve bu kuru maddenin %3.6’sı protein, %2.0’si yağ ve %2.9’u karbonhidrattan oluşmaktadır. Soya sütünden çikolata (Gatade ve ark.,2009) ve vegan peynir benzeri ürünler (Erk, 2021) üretilebilmektedir. Soya sütünün ilk prosedürü ham maddeyi belirlemektir. 100 gram soya fasulyesi tohumları ayıklanır ve daha sonra genişleyene kadar 12 saat boyunca ıslatılır. Soya fasulyesi ve su arasındaki oran 1:5’tir. Bir

sonraki prosedür kiri ve epidermisi temizlemektir. Daha sonra pişene kadar kaynatılır ve ardından kir ve epidermis yine temizlenir. Daha sonra, 500 ml su ilavesiyle bir blender kullanarak parçalama işlemi yapılır ve pamuklu bir bezle süzülür. Elde edilen soya sütü sonrasında 80 °C'de 5 dakika ısıtılır (Mayasari ve ark., 2021). Soya sütü aromalı, kondanse ve rekonstitüe olarak da üretilmektedir (Taşdemir, 2020). Soya sütününün sindirilebilme oranının %91 olması onu beslenmede değerli kılmaktadır (Taşdemir, 2020). Soya sütünün beslenme açısından inek sütüne en iyi alternatif olabileceği bildirilmektedir (Nilüfer ve Boyacıoğlu 2008; Erk ve ark. 2019). İnek sütüne göre kolesterol ve laktoz içermemesi ve 0.25 mg/g toplam izoflavon (özellikle glisit, genistein ve daidzein gibi izoflavonlar) içermesi soya sütünün temel üstünlükleri olarak sayılabilir. Soya sütü, insan ve inek sütüne göre daha yüksek protein, doymamış yağ asitleri, niasin ve demir içerirken, yağ, karbonhidrat ve kalsiyum miktarları daha düşüktür (Nilüfer ve Boyacıoğlu 2008; Taşdemir, 2020; Bocker ve Silva 2022). Magnezyum, demir ve bakır iyonlarının yüksek mevcudiyeti, proteinlerinin amfipatik doğası nedeniyle orta derecede emülsifiye edici özelliklerinin olması, fitik asit, saponinler ve steroller gibi fitokimyasalların bileşiminde olması ve önemli miktarda çoklu doymamış yağ asitleri (linoleik asit, linolenik asit vb) bulundurması soya sütünün olumlu özelliklerindendir (Bocker ve Silva 2022). Weidner ve ark., (2008) yaptıkları çalışmada bir bitki sterolu ile zenginleştirilmiş soya içeceğinin günlük tüketiminin, toplam kolesterolü önemli ölçüde azalttığını ve bu nedenle hiperkolesterolü yönetmede ilginç ve kullanışlı bir yardımcı olduğunu bildirmişlerdir. Soya sütü FDA tarafından sağlıklı bir gıda olarak onaylanmıştır. Soya sütü soya tohumlarının hemen hemen tüm bileşenlerini (proteinler, lipidler ve sakkaritler) içerir; ayrıca protein bileşimi, inek sütüne benzemektedir. Yüksek kaliteli proteinlerin yanı sıra soya sütü ayrıca çeşitli besinler, çoklu doymamış yağ asitleri, saponinler ve ayrıca fitosteroller, soya lesitinleri ve izoflavonlar içerir. Bu özellikler soya sütünü çok yönlü olumlu etkiye sahip işlevsel bir içecek haline getirmektedir (Battisti ve ark., 2021).

Laktoz, kolesterol içermeyen ve çok sayıda besleyici bileşiğe sahip olan soya sütünün sindirilebilirliği yüksektir ve maliyeti düşüktür. Ancak soya, alerjik reaksiyonlara neden olabilen farklı proteinler içerdiği için inek sütü alerjisi olan kişilerde de reaksiyon gösterebilmektedir. Soya sütü, mineral katyonlarla reaksiyon sonucu çözünmeyen bileşikler oluşturan fitat, oksalat ve saponinler gibi bazı anti-besin maddeleri nedeniyle vitamin ve mineral biyoyararlanımını azaltması sebebiyle sağlık üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Karımıdastjerd ve Konuskan 2021; Bocker ve Silva, 2022). Diğer olumsuz özellikleri antinutrientlerin yüksek içeriği (tripsin inhibitörleri), kötü tatlar (fasulye aromaları ve burukluk), metionin ve sistein sınırlayıcı amino asitlerin varlığı olarak sayılabilir (Bocker ve Silva 2022). Soya fasülyesinin

ıslatılmasıyla ortaya çıkan daidzein ve genisteinin sebep olduğu hoşagitmeyen tat ve kokunun uzaklaştırılmasında, renk ve aroma gelişiminde aktif karbon kullanımı önerilmektedir (Taşdemir, 2020). Başka bir yöntem olarak, soya içeceğinin hazırlanmasından önce soyanın haşlanması, nihai ürünlerdeki hoş olmayan tattan sorumlu olan tripsin inhibitörlerini ve lipoksijenazı inaktive etmek için tavsiye edilmektedir (Giri ve Mangaraj, 2012). Nardi ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada, soya bazlı süt alternatiflerine genç subkronik maruziyetin erkek sıçanlarda endokrin bozulmasına yol açtığını ve bunu fitoöstrojenlerin varlığıyla ilişkilendirdiğini göstermiştir.

Soya sütü, süt ürünlerine alternatif olarak artan bir ilgiye sahip olmasına rağmen, rafinoz ve stachyose gibi sindirilemeyen oligosakkaritlerin varlığı, tüketimini sınırlandırmaktadır. İnce bağırsakta bulunan enzimler, α -galaktosidaz aktivitelerinden yoksun olduklarından, bu oligosakkaritleri sindiremezler (Battistini ve ark., 2018; Xia ve ark., 2019). Bununla birlikte, α -galaktosidazları üreten probiyotikler, bu beslenme karşıtı faktörleri değişen derecelerde hidrolize edebilmektedir. α -galaktosidaz aktivitesine sahip olan *St. thermophilus*, *L. acidophilus* La-5 ve *B. animalis* Bb-12, ve fermente soya sütündeki stakioz ve rafinoz içeriğini sırasıyla %29 ve %40 oranında azaltmıştır (Battistini ve ark., 2018). Donkor ve ark., (2007), ise *S. thermophilus*'un soya sütündeki rafinozu %64.5 oranında azalttığını, değerlendirilen suşların çoğu için stakiozun %40'ın üzerinde metabolize olduğunu bildirmiştir. Hou ve ark., (2000) *Bifidobacterium*'un soya sütünün 48 saatlik fermentasyonundan sonra rafinozu %39 ve stachyose'u %65 azalttığını gözlemlediğini bildirmiştir.

Bitki kaynaklı sütlerde probiyotik mikroorganizmalar için teşvik edici rol oynayan doğal antioksidan maddeler ve prebiyotikler bulunmakta ve bu ürünlerin yapısının oluşumunda katkı sağlamaktadırlar. Jayarathna ve ark., (2014), yaptıkları çalışmada agar agar içeren (%0.2) soya sütünü, yoğurt starterleri ve *L. acidophilus*+*Bifidobacterium* spp.'leri kombine ederek fermente etmiştir. Yapılan duyuusal değerlendirme sonucunda, sadece yoğurt starter kültürleri ve *Bifidobacterium* spp. kullanılarak üretilen soya sütü yoğurtlarının lezzet ve doku bakımından beğenildiği ve iki haftalık süreç içerisinde soyanın içeriğinde bulunan oligosakkaritlerden dolayı inek sütü ile yapılan yoğurtlardan daha yüksek duyuusal puan aldığı bildirilmiştir. Da Silva Fernandes ve ark., (2017) soya sütünü kefir kültürü ile fermente etmişlerdir. Bu çalışmada kefir ile fermente edilmiş soya içeceğinin [aglikon](#) izoflavon ve diğer fenolik bileşikler açısından zengin olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada, soya sütüne *Bifidobacterium infantis* CCRC 146333 ve *B. longum* B6 bakterilerinin ilavesi ile elde edilen fermente soya sütü ürününde depolama ile söz konusu bakterilerin canlı kalabilme oranları incelenmiş ve farklı sıcaklıklarda yapılan 10 günlük depolama sonucunda,

canlı popülasyonlarında kaybın 5 °C'de daha az olduğu belirtilmiştir. Fermente soya sütünde bakterilerin azalmasını, sakaroz ilave edilmesinin artırdığı bildirilmiştir (Chou ve Hou, 2000). Wang ve ark., (2018) çalışmalarında laktik asit bakterileri tarafından fermente edilmiş susam kalıntısı ile zenginleştirilmiş soya fasulyesi sütü ortamının kan basıncını düzenleyerek antihipertansif etki gösterdiğini bildirmişlerdir.

Tofunun (soya fasülyesi ürünü), karotenoidler, E ve C vitaminleri, fenolik bileşikler, tiyol bileşikler ve esansiyel amino asitler gibi değerli antioksidanları içerdiği bildirilmiştir (Erk, 2021).

2.3. Fındık (*Corylus avellana*)

Sert kabuklu bir meyve olan Fındık (*Corylus avellana*) Betulaceae familyasında yer alan, dünya çapında tüketimi yaygın olan bir meyvedir (Alasalvar ve ark., 2009). Türkiye dünyada fındık üretiminde en büyük üretici ve en güçlü ihracatçı konumundadır. Türkiye'den sonra fındık yetiştiriciliğinin en fazla olduğu ülkeler İtalya, İspanya, Portekiz, Fransa, Yunanistan, ABD, Yeni Zelanda, Çin, Azerbaycan, Şili, İran ve Gürcistan olarak sıralanmaktadır (Karaosmanoğlu ve Üstün 2017). Fındık, içerdiği karbonhidrat, protein, lipid, vitamin, lif, fenolik bileşikler, mineraller, tokoferoller, fitosteroller, fenolik bileşikler ve skualen nedeniyle insan sağlığı ve beslenmesi için önemli bir rol oynamaktadır (Silva ve ark., 2020). 100 g fındık 640 kcal enerji vermektedir. Fındık yaklaşık %62 yağ içeren ve proteince zengin (10-24 g/100 g) bir kaynaktır. Fındığın protein içeriğinin sindirilebilirlik değeri %73-83 arasında değişmektedir. Fındık, bitkisel kaynaklı besinler içinde 3.4-5.8 mg/100 g demir miktarı ile demiri en fazla içeren gıdalardan biridir. Fındığın Ca miktarı ise 209 mg/100 g'dır. Bu iki mineralin vücuda emilimi için C vitamini kaynağı gıdalar ile tüketilmesi önerilmektedir (Çelik, 2019). Fındık, amino asitler, organik asitler gibi fındığı daha kabul edilebilir ve tüketilebilir kılan bazı aktif bileşikler içerir. Ancak triptofan fındıkta sınırlayıcı bir amino asittir. Esansiyel olmayan amino asitler, serbest amino asit içeriğinin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Esas olarak oleik aside dayanan fındığın lipid profilinin E vitamini içerisindeki yüksek içeriğinin, kolesterolü ve dolayısıyla kardiyovasküler hastalıklara yakalanma riskini düşürücü etki gösterdiği bildirilmiştir (Akalin, 2020). Fındık, yaygın olarak bütün bir kuruyemiş olarak tüketilmekte olup, aynı zamanda oldukça arzu edilen tat, aroma ve gevrek dokusu nedeniyle atıştırmalık ve şekerleme ürünlerinde de kullanılabilmektedir (Tsai ve ark., 2018).

Fındık sütü üretimi prosesinde, ilk önce fındık 35±2 °C sıcak hava fırını ile 24 saatte kurutularak fındığın kabukları soyulduktan sonra, çekirdekler bir laktoz kaynağı olan peynir altı suyu ile karıştırılmıştır (1:20) (w/v). Daha

sonra bir blender ile parçalanarak bulamaç haline gelen karışım çift katmanlı tülbenitten süzülerek, 70 °C bir su banyosu kullanarak 15 dakika pastörize edilmiştir (Maleki ve ark., 2015). Diğer farklı bir şekilde fındık sütü üretimi için, soğuk pres fındık keki bir blender kullanılarak 10 dakika öğütülmüş ve öğütülmüş fındık (100 g) 10 dakika boyunca 1 L su ile 10.000 rpm'de bir homojenleştirici kullanılarak karıştırılmıştır. Yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi, 0, 25, 50, 75, 100 ve 150 MPa basınçlarda bir yüksek basınçlı homojenleştirici ile gerçekleştirilmiştir. Fındık sütü numuneleri homojenizatöre 15 °C'de konulmuş ve homojenizasyondan sonra numuneler, hızlı bir şekilde buz banyosu ile soğutulmuştur (Gul ve ark., 2017). Bernat ve ark., (2014) *L. rhamnosus* GG ve inülin kullanılarak elde edilen fermente fındık sütlerinde 4 °C'de 28 gün depolama sonunda %25 oranında serum ayrılması olduğunu saptamışlardır. Bu duruma bitkisel sütlerde yağ-su emülsiyonlarında emülgatör olarak görev yapan protein içeriğinin düşük olmasının sebep olduğunu bildirmişlerdir. Ürünün, son depolama süresinde sinerez sergileyen zayıf bir jel oluşumuna rağmen raf ömrü boyunca duysal olarak oldukça beğenildiği belirlenmiştir. Fındık sütünden kefir (Maleki ve ark., 2015) ve dondurma (Atalar et al., 2021) üretimi gerçekleştirildiği belirtilmiştir

2.4. Acı bakla (*Lupinus albus*)

Fabaceae familyasının *Lupinus* cinsine ait olan acı bakla (*Lupinus albus*) geleneksel olarak gıda, toprak ıslahı ve hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Nispeten yüksek protein içeriğine sahiptirler ve genellikle soya fasulyesi gibi benzer gıda uygulamalarında kullanılmaktadır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021; Laaksonen ve ark., 2021). Acı bakla proteinleri albümin, globülin, prolamin ve glutelin olmak üzere dört grup olarak bildirilmektedir. Aynı zamanda konglutin olarak da adlandırılan globülinler, toplam proteinin yaklaşık %87'sini oluşturmaktadırlar (Çetiner ve Bilek, 2018). Acı bakla tohumları yüksek protein içeriğine ek olarak yüksek miktarda lif, az yağ ve nişasta içerir. Acı bakla tohumları bir mineral, vitamin ve polifenol (tanenler ve flavonoidler) kaynağı olarak bilinir. Ayrıca soya fasulyesinin aksine tripsin inhibitörleri içermezler. Bu faydalı özellikler, acı bakla tohumlarını inek sütü alternatifi üretimi için umut verici bir ürün haline getirmektedir (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Acı bakla proteinlerince zengin gıdalar, erken doyma hissi ile obeziteyi önleme, enerji verici etkileri, özellikle γ -konglutin proteinin (toplam proteinin %5'i) insülini bağlayarak glukoz seviyesini kontrol etmesi ile glisemik indeksi düşürücü etki göstermesi, kan lipidlerini yenileme hipertansiyonu düşürücü etkisi ve bağırsak sağlığına olumlu etkileri bulunması nedeniyle önem taşımaktadır (Çetiner ve Bilek 2018; Akalın, 2020; Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Acı bakla proteininin zengin amino asit içeriğinin olması ve üstün su bağlama ve

emülsiyon oluşturma gibi fonksiyonel özellikler göstermesi gıda ürünlerinde fonksiyonel bileşen olarak kullanımına olanak sağlamıştır. Ancak acı baklanın bünyesinde bulunan tripsin inhibitörleri ve insanlar için toksik olan kinolizidin alkaloidleri, tüketimde büyük bir sorun oluşturmaktadır. Acı baklanın ısı ile muamele işlemi ile kinolizidin alkaloidlerin miktarı ve protein sindirilebilirliğini engelleyen tripsin inhibitörlerin aktivitesi azaltılabilmektedir (Çetiner ve Bilek, 2018). Avrupa mavi acı baklası (*Lupinus angustifolius* L.), diğer birçok acı bakla türünden daha düşük alkaloid içeriğine sahiptir ve ayrıca diğer türlere kıyasla daha soğuk yetiştirme koşullarına daha iyi uyum sağlar. Alkaloidleri uzaklaştırmak için uygulanan acı çekme işlemi, acı baklalardaki çeşitli besinlerin kalitesini etkileyebilir. Acı bakla ayrıca, kullanımlarını kısmen sınırlayabilen fitatlar ve saponinler gibi diğer antibesinleri de içerir, ancak fenolik bileşikler açısından zengindirler (Laaksonen ve ark., 2021).

Yapılan bir çalışmada, acı bakla sütü üretiminde ilk olarak acı bakla tohumlarına kabukların kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi için ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isı ve suyun etkisiyle kabukları uzaklaştırılan tohumlar tohumun kendine has acılığını uzaklaştırmak için 16 saat 0.06 M NaHCO₃ sulu çözeltisinde bekletilmiştir. Süre sonunda suyu uzaklaştırılan tohumlar durulama suyuyla durulanmıştır. Daha sonra kotiledon oluşumunu engellemek ve tohum içi aktivitesini durdurmak için 20 dakika boyunca 100 °C ısıl işleme tabi tutulmuştur. Soya sütü çıkarma makinasında su katılarak acı bakla sütü elde edilmiştir (Elsamani ve Ahmed, 2014).

2.5. Ceviz (*Juglans regia* L.)

Ceviz (*Juglans regia*) Fagales takımının ve Juglandaceae familyasının geniş yayılım göstermiş olan tek evcikli ağaç türü olup, coğrafyaya göre çok farklı türleri vardır (Cui ve ark., 2013; Sezgin, 2021). Gıda endüstrisinde ekonomik olarak yüksek oranda ilgi gören bir gıdadır. Ceviz genellikle kuruyemiş olarak tüketilmekte veya çeşitli şekerlemelerde kullanılmaktadır. Ceviz yüksek oranda protein, magnezyum, bakır, folik asit, potasyum, diyet lifi ve E vitamini içerir. Aynı zamanda yüksek kaliteli protein kaynağıdır ve kuru ağırlık bazında %18-24 protein içermektedir (Sezgin, 2021; Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021).

Ceviz sütü, inek sütüne kıyasla daha yüksek yağ ve daha düşük protein içeriğine sahiptir (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Ceviz sütünün farklı konsantrasyonlarının bazı kanser hücrelerinin inhibe edilmesinde etkin olabileceği, antioksidan ve prebiyotik etkinliği sayesinde ise bağışıklığı artırıcı rol oynayabileceği bildirilmiştir (Gidemen 2021). Gidemen (2021) yaptığı çalışmada ceviz sütünün farklı konsantrasyonlarının sitotoksik ve prebiyotik etkinliğe ve antioksidan aktiviteye sahip olduğunu belirlemiştir.

Yapılan bir çalışmada, yıkanıp temizlenen kabuklu ceviz 30 °C' de 24 saat kurutulmuş, ardından kabukları kırılarak uzaklaştırılmıştır. Kuruyemişler yumuşaması için 12 saat boyunca suda bekletilmiştir. Meyveler ağırlığının 6.6 katı sıcak (50 °C) içme suyu ile karıştırılmış ve daha sonra homojenize edilmiştir. Oluşturulan bulamaç çift katlı bir tülbentten süzölmüş ve hazırlanan içecek cam şişelere doldurularak 4 °C'de saklanmıştır (Sezgin, 2021).

2.6. Kinoa (*Chenopodium quinoa*)

Amaranthaceae familyasının bir üyesi olan kinoa (*Chenopodium quinoa*), sistematik ve morfolojik açıdan tahıl tanelerinden farklı özellikler göstermektedir. Bu farklılığın kinoanın tohum ve meyvelerinin anatomik yapısından kaynaklandığı bildirilmektedir. Kinoa tohumu, dışarıdan perikarpla çevrelenmiş tek bir tohumdan oluşmaktadır (Boukid ve ark., 2018; Graf ve ark., 2015). Kinoa, besin değeri yüksek olması nedeniyle Güney Amerika'da insanlar tarafından kutsal bir bitki olarak tüketilmektedir (Mäkinen ve ark., 2016). Kinoa, pirinç, buğday, yulaf, mısır ve çavdar gibi bazı tahıllara göre daha yüksek miktarda protein içerir. (Sezgin ve Sanlier, 2019). Ayrıca birçok tahılda sınırlayıcı olan yüksek metionin, sistein ve lizin seviyelerine sahip esansiyel amino asitlerin dengeli içeriği nedeniyle kaliteli bir proteine sahiptir. Kinoanın protein kalitesi, esansiyel amino asitlerin miktarından ve yaklaşık %80 olan sindirilebilirliğinden gelmektedir. Bir diğer önemli faktör ise gluten içeren proteinlerin olmaması ve dolayısıyla kinoanın glutensiz gıdaların üretiminde kullanılabilmesidir. Yüksek nişasta içeriği ile, yüksek miktarda tokoferol kaynağı, iyi bir demir, potasyum, magnezyum, kalsiyum, bakır ve manganez kaynağı olması kinoanın avantajları arasındadır (Sezgin ve Sanlier, 2019; Silvave ark., 2020). Kinoa, soya fasulyesi yağına benzer bir yağ asidi profiline sahiptir. Çoğunlukla doymamış yağ asitleri (%85) kinoada linoleik ve oleik asit olarak bulunur. Ayrıca kinoa iyi bir E vitamini, C vitamini ve B kompleks vitaminleri kaynağıdır (Silva ve ark., 2020). Kinoada bulunan polisakkaritlerin antioksidan ve immün düzenleyici aktiviteleri gösterilmiştir. Kinoa tohumunun glisemik indeksi düşüktür (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Kinoada bulunan saponinler nedeniyle acı tat oluşumu kinoanın olumsuz yönlerindendir (Bocker ve Silva, 2022). Kinoa tohumları, bazı çorbalarda; patlamış mısıra benzer bir formda çerez olarak; hacim kazandırılarak kahvaltılık tahıllarda; un haline getirilerek buğday ununun kullanıldığı çeşitli ürünlerin (ekmek, kurabiye, bisküvi, makarna, tortilla, noodle, pankek vb) hazırlanmasında kullanılabilir. Kinoa tohumlarının fermentasyonu bira ya da Güney Amerika'ya özgü bir içecek olan "chicha" üretilmektedir (İlkay, 2020).

Kinoa sütü ikamesi, inek sütünden farklı bir dokuya sahiptir ve makarna, şekerleme, kahve gibi çeşitli yiyecek ve ürünlere hammadde olarak kullanılabilmesi önemli kullanım alanlarındandır (Silva ve ark., 2020).

2.7. Hindistan Cevizi (*Cocos nucifera*)

Hindistan cevizi (*Cocos nucifera* L.), tropikal ülkelerde, özellikle Asya'da yetiştirilen ekonomik bir bitkidir. Dünyadaki toplam Hindistan cevizinin %90'ı Endonezya, Sri Lanka, Filipinler, Hindistan ve Tayland'da yetiştirilmektedir; bu bölgelerin birçok geleneksel gıdasında da Hindistan cevizi kullanılmaktadır. Hindistan cevizinin en iyi bilinen ürünleri arasında Hindistan cevizi yağı, sütü ve tozu bulunur (Patil ve Benjakul, 2018). Oldukça iyi dengelenmiş bir aminoasit profili içeren Hindistan cevizi proteinler, vitaminler, şekerler, amino asit bileşikler açısından zengindir (Lu ve ark., 2019; Patil ve Benjakul, 2018). Önemli bir alerjenik potansiyele sahip olmayan Hindistan cevizinin avantajları olarak; doymuş yağ içeriği (palmitik asit, stearik asit vb), laurik asit varlığı, iyi bir C ve E vitamini kaynağı olması, yüksek oranda magnezyum, demir ve bakır iyonları içermesi sayılmaktadır. Bununla birlikte düşük tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri içeriği olumsuz yönleri olarak sayılabilmektedir (Karımıdastjerd ve Konuskan 2021; Park, 2021; Bocker ve Silva, 2022).

Yapılan bir çalışmada, Hindistan cevizi sütü hazırlanması için 1 kısım olgun Hindistan cevizi: 3 kısım kaynar su kullanılmıştır. Hindistan cevizi bileşenlerinin su içine difüzyonunu kolaylaştırmak için kaynar filtrelanmış su kullanılmıştır. Hindistan cevizi ve su, normal bir parçalayıcıda 2 dakika işlenmiş ve elde edilen karışım bir tülbentle süzülerek Hindistan cevizi sütü elde edilmiştir (Rincon ve ark.,2020). Hindistan cevizi sütü, taze meyveye su eklenerek veya eklenmeden elde edilen beyaz renkli bir emülsiyondur. Suda yağ emülsiyonunun kırılması kusuru, hem çiğ hem de işlenmiş Hindistan cevizi sütlerinde emülgatör ve stabilizatörler eklenerek ve ardından homojenizasyon uygulanarak giderilmektedir (Gram, 2021). Öte yandan, Hindistan cevizi sütünde kötü tat ve faz ayırmasına sebep olan mikrobiyal lipazların neden olduğu enzimatik acılaşma görülmektedir. Bu mikroorganizmaların inaktive etmek için sodyum benzoat, sodyum nitrit ve күкүрт dioksit kullanılmaktadır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Hindistan cevizi sütü tüketiminin antimikrobiyal, anti bakteriyel, antiviral ve anti kanserojen etkileri nedeniyle sağlığa faydaları vardır. Ayrıca sindirime yardımcı olma ve cildin elastikiyetini koruma gibi özelliklere sahiptir (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Hindistan cevizi sütü ayrıca, insan sütünde bulunan ve beyin gelişimi, bağışıklık sisteminin iyileştirilmesi, kolesterol üzerinde olumlu etki, insülin duyarlılığı, vücut kütlesi, bel çevresi, enerji tüketimi, genel yağlanma, damarların esnekliği ve kan ile bağlantılı olan laurik asit başta olmak üzere orta zincirli yağ asitleri içermektedir. İki ay

boyunca Hindistan cevizi sütü tüketiminin, düşük yoğunluklu lipoproteinde önemli bir azalma ve yüksek yoğunluklu lipoproteinde artış gösterdiği rapor edilmiştir (Chalupa-Krebzdak ve ark., 2018). Chavan ve ark., (2018), yaptıkları çalışmada çimlenmiş ve çimlenmemiş bazı tohumlar kullanarak probiyotik içecekler geliştirmişlerdir. Tohumlar şeker ve kakule ile karıştırılarak *L. acidophilus* ile fermente edilmiştir. Duyusal değerlendirmede Hindistan cevizi sütü bazlı probiyotik içeceğin damıtılmış su, soya sütü, badem sütü probiyotik içeceklerinden daha fazla kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Başka bir araştırmada, Hindistan cevizi sütünde emülsiyon stabilitesinin korunmasında, iki aşamalı homojenizasyon tekniği ve ısı uygulamasının etkili olduğu belirlenmiştir (Tangsuphoom ve Coupland, 2005). 2019 yılında yapılan bir çalışmada Hindistan cevizi sütüne aynı konsantrasyonda farklı amiloz içerikli mısır taneleri ve nişasta eklenmesiyle Hindistan cevizi sütünün renk yoğunluğu, arayüzey gerilimi ve stabilitesinin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Lu ve ark., 2019). Hindistan cevizi sütünden dondurma (Aboufazli ve ark., 2016) ve tatlandırılmış yoğunlaştırılmış süt (Reyes-Jurado ve ark., 2021) üretilmekte olduğu literatürde görülmüştür.

2.8. Kenevir (*Cannabis sativa* L.)

Kenevir, Cannabaceae familyasına ait farklı çeşitlerin oluşturduğu *Cannabis sativa* L. olarak adlandırılan türe ait, 6000 yıldan uzun süredir gıda, tekstil lifi ve ilaç olarak kullanılan bir bitkidir. *C. sativa* ve *C. indica* çeşitleri daha ekonomik ve yaygın olmasına karşın *C. ruderalis*, Kuzey Himalayalar bölgesinde ve güney eyaletlerinde yetişen ve yabani bir büyüme ile karakterize edilen daha nadir bir çeşitlilik olarak kabul edilmektedir (Gram, 2021). Kenevir tohumu yüksek konsantrasyonda E vitamini, mineraller, antioksidanlar ve diyet lifi içerir. Kenevir tohumu proteinlerinin %65'i yüksek oranda sindirilebilir ve %35'i albümin ve esansiyel amino asitlerden oluşur (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021).

Kenevir tohumu sütünün yüksek besin değeri ve düşük alerjenitesi onu hayvansal süt, soya ve diğer bitkisel sütlere göre iyi bir alternatif haline getirmektedir. Çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin bir kaynak olması da sağlık açısından önemini arttırmaktadır (Gram, 2021). Kenevir sütü, ağırlıklı olarak α -linoleik asit konsantrasyonuna sahip omega-3 yağ asitleri içerir. 100 mL başına 0.4 g, önerilen günlük alımın %25'ini sağlar (Chalupa-Krebzdak ve ark., 2018). Kenevir sütü, soya sütünden daha yoğun ve kremsidir ve daha az tanelidir. Kenevir sütü, topaklanma, birleşme ve krema oluşturma eğiliminde olan bir su içinde yağ emülsiyonudur. Kenevir sütünde suda yağ gıda emülsiyonlarında faz ayrılmasını önlemek için yüksek basınçlı homojenizasyon kullanmak mümkündür (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021).

2.9. Yulaf (*Avena sativa*)

Yulaf (*Avena sativa*), Poaceae/Gramineae familyasının Aveneae alt familyasına ait olan, gıda, hayvan yemi ve endüstriyel amaçlar için kullanılan bir tahıldır. Mısır, pirinç, buğday, arpa, sorgum ve darıdan sonra ekonomik açıdan en önemli yedinci tahıldır. Yulaf, kabuk (%25), perikarp, testa ve aleuron (%9), nişastalı endosperm (%63) ve embriyodan (%3) oluşmaktadır. Yulafın %50'sini oluşturan nişasta, en bol bulunan bileşenidir (Punia ve ark., 2020). Nişastanın böyle yüksek oranlarda bulunması emülsifikasyonu güçleştirmektedir. Su ve yulaf karışımı ısıtıldığında, mevcut nişasta jelatinleşmeye başlar ve yüksek viskoziteli bir jel oluşturarak düşük kabul edilebilirliğe yol açmaktadır. Akışkanlığı korumak ve jelatinleşmeyi önlemek için nişastaya önceden bir hidroliz uygulanması uygun olmaktadır (Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva, 2022). Önemli alerjenik potansiyeli olmayan yulafın yüksek karbonhidrat içeriğine ve özellikle uzun zincirli yağ asitleri olmak üzere diğer tahıllardan daha yüksek lipit içeriğine sahip olması önemli özelliklerindendir (Bocker ve Silva 2022; Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Yulaflara olan büyük ilgi, iyi bir diyet lifi kaynağı olmalarıdır; ana bileşen, yaygın olarak β -glukan olarak bilinen β -D-glukandır (Silva ve ark., 2020; Karımıdastjerd ve Konuskan 2021). Yulaf liflerinin hipokolesterolemik etkisi vardır, bu da kolesterol seviyesini düşürebilecekleri anlamına gelir (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Yulaf acılaşmaya neden olan çok fazla lipaz enzimi içerir, ancak ısıl işlemle kolayca enzim inaktive edilebilir (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021; Bocker ve Silva, 2022). Bununla birlikte, yulaf sütünün insan gelişimi için önemli bir mineral olan kalsiyum miktarı düşüktür (Bocker ve Silva, 2022). Bu nedenle inek sütü alternatifi olarak tüketilmeden önce kalsiyum konsantrasyonu takviye edilerek artırılmalıdır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Yulafta lizin sınırlayıcı bir amino asittir (Bocker ve Silva, 2022). Yulaf, vitaminler, mineraller, diyet lifleri ve tokoferoller, ferulik, kafeik asitler ve avenasterol gibi antioksidanlar nedeniyle güçlü bir besleyici değere sahip olan ve daha çok tam tahıl olarak tüketilen sağlıklı bitki bazlı süt alternatifleri için umut verici bir tahıldır (Karımıdastjerd ve Konuskan, 2021). Beta-glukan formundaki çözünür lifin, günde 2.9 g veya üzerinde tüketildiğinde LDL (düşük yoğunluklu lipoprotein) kolesterolü düşürdüğü bildirilmiştir. 0.5 g 100 g⁻¹ beta-glukan içeriğine sahip bir yulaf sütü alternatifinin günde 750 mL tüketilmesinin LDL kolesterol düzeylerini düşürdüğü gösterilmiştir. Bu, LDL kolesterolünü düşürmek isteyen bireylerde yulaf sütü alternatiflerini uygun bir sığır sütü ikamesi haline getirecektir; ancak günlük gerekli 3 g beta-glukan formundaki çözünür lifi ticari yulaf sütü alternatiflerindeki beta-glukan seviyeleri olarak elde etmenin zor olabileceği bilinmelidir (Chalupa-Krebzdak ve ark., 2018). Başka bir çalışmada yulaf sütü üretiminde enzimatik hidroliz kullanılarak bir yulaf sütü ikamesi üretim sürecini optimize etmişler,

enzimatik konsantrasyondaki artışın, nişasta sıvılaştırma işlemi nedeniyle yulaf suda çözünür ekstrakt üretiminde bir artışa yol açtığını bildirmişlerdir. Nişastanın dekstrin haline dönüştürülmesi, daha düşük bir yulaf içeceği viskozitesi ile sonuçlanmakta ve böylece süzme aşamasını kolaylaştırmaktadır (Silva ve ark., 2020). Yulaf sütünün inek sütüne göre hem şeker hem de yağ içeriği daha düşüktür ve inek sütüyle karşılaştırılabilir miktarda kalsiyum sağlamaktadır. Yulaf sütü badem sütü ile benzer protein içeriğine sahiptir (Collard ve McCormick, 2021). Literatürde yulaf sütünden yoğurt (Rai ve ark., 2018) ve isabella üzüm (*Vitis labrusca* L.) suyu ile zenginleştirilmiş probiyotik yulaf sütü (Sözber, 2021) üretildiği belirtilmiştir.

2.10. Pirinç (*Oryza sativa* L.)

Pirinç (*Oryza sativa* L.), Poaceae familyasının Poaceae alt familyasına ait tek yıllık bir tarım bitkisidir. Pirinç (Çeltik) dünyada Antarktika hariç her kıtada yetiştirilmektedir. Fakat en yüksek verim ılıman iklim kuşağında alınmaktadır (Arda ve ark., 2015). Pirinç en eski kültür bitkilerindendir ve dünyanın her yerindeki çoğu insan için besin sağlayan en çok tüketilen tahıllardan biridir. Su içinde çimlenebilen ve kökleri ile sudaki oksijenden yararlanabilen, insanlar için besin kaynağı olarak tahıllar içinde buğdaydan sonra gelen en önemli gıdadır (Ersöz, 2012 Karimidaşterd ve Konuskan, 2021). Pirinç fosfor, potasyum ve magnezyum açısından zengindir ve ayrıca önemli konsantrasyonlarda B-kompleks vitaminleri, α -tokoferol (E vitamini) ve az da olsa A ve C vitaminlerini içermektedir (Ersöz, 2012; Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva, 2022). Pirinç için yüksek karbonhidrat içeriği, fitosterollerin varlığı (β -sitosterol ve γ -oryzanol) ve yüksek nişasta içeriği diğer avantajları olarak sayılabilir. İçerdiği mineraller sayesinde kemik yapısının gelişimini, cildin ve tırnakların parlaklaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca sağlık açısından bağırsak hareketlerini düzenleyici ve tansiyonu düşürücü etkisi de vardır. Pirinç içerdiği karbonhidratlar sebebiyle vücudun enerji kaynağı için iyi bir kaynaktır. Ayrıca yapısında aminoasit içerdiğinden dolayı kas gelişiminde de büyük etkisi vardır (Ersöz, 2012). Pirincin beslenme açısından olumsuz görülen yönleri; düşük tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri içeriği, besleyici olmayan bileşiklerin varlığı (fitatlar ve tripsin inhibitörleri), nişastanın yüksek mevcudiyeti nedeniyle zor emülsifikasyon ve yüksek şeker içeriği olarak sayılabilir (Bocker ve Silva, 2022). Pirinç, yüksek oranda nişasta, protein, mineral, vitamin içermesi nedeniyle besin değeri yüksek bir besindir, mükemmel bir enerji kaynağıdır, ancak lipid içeriği düşüktür (Silva ve ark., 2020).

Pirinç sütü kahverengi ya da beyaz pirinçten üretilmektedir (Karimidaşterd, 2020). Geleneksel olarak pirinç sütü üretiminde öncelikle pirinçlerin içerisinde bulunan pirinç harici yabancı maddeler ayıklanır. Daha sonra pirinçler yıkanarak suları süzildikten sonra bir kaba alınır. Pirinçlerin

üzerine 1'e 10 oranında su ilave edilir. Sonrasında ısıtıcıda 200 rpm'de sürekli karıştırılmak suretiyle ısıtmaya başlanır. 80 °C'ye kadar ısıtılan karışım bu sıcaklıkta 15 dakika bekletilir. Daha sonra ısıtıcıdan alınan karışım oda sıcaklığında 15 dakika bekletilir. Bekletilen karışım blendır ile 2 dakika süre ile parçalanır. Parçalanmış kısım ince bir tülbent kullanılarak süzülür ve pirinç sütü elde edilir (Ersöz, 2012). Uzuner (2012) ise pirinç süttünü 13.6 g toz pirinç konsantresini 100 ml su içerisinde çözündürerek hazırlamıştır. Endüstriyel olarak pirinç sütü üretiminde toplam kuru madde içeriği %25-40 olan %1-5 bitkisel yağ (aspir, ayçiçeği veya kanola), %0-1 stabilizatör ve %1 tuz ilavesi ile pirinç suyu bulamacı, bileşenlerin eklenmesi ile %11-13 toplam kuru madde olacak şekilde ayarlanır. Bu bulamaç ısı ile ya da tercihen α -amilaz enzimi ile muamele edilerek sıvılaştırılmıştır. Bu karışım 65-70 °C'ye ısıtıldıktan sonra 15-30 dakika homojenize edilerek 0-18 °C'ye soğutulur. Kahverengi pirinç şurubu ve vanilya gibi ek tatlar eklenebilir ve daha sonra ısıtılıp homojenize edilebilir ve daha sonra üretim, soğutulabilir ve paketlenir. D2 ve B12 vitamini gibi vitaminler ve ayrıca kalsiyum gibi mineraller de takviye etmek için içeceğe eklenebilir (Karimidasstjerd, 2020). Ticari olarak üretilen bitki bazlı süt benzeri içeceklerde farklı ksantan, gellan, karagenan, guar ve keçiyoynuzu zamları gibi stabilizatörler kullanılır (Karimidasstjerd, 2020). Ayrıca Russell ve Delahunty (2004) karboksimetil selülozu pirinç sütü içeceğinde %0.4 oranında koyulaştırıcı olarak kullanmışlardır.

Pirinç sütü, soya sütü ve badem sütünden sonra gelen 3. en popüler bitkisel kaynaklı süt ürünüdür ve bu sütler içerisinde en hipoalerjenik bitki bazlı süt alternatifi olduğundan; inek sütü proteinine alerjisi olan ve laktoz intoleransı olan kişilerin pirinç sütü tüketmeleri önerilebilir. Pirinç sütünde bulunan yüksek miktardaki selenyum ve magnezyum, bağışıklık sistemini güçlendirir, kanserden korur ve vücudun patojenik mikroorganizmalara karşı direnç sağlamasına yardımcı olur. Pirinçte demir minerali kepek kısmında bulunduğu ve pirinç sütü üretiminde kepek kısmı çıkarılarak uzaklaştırıldığından pirinç sütü demir bakımından fakirdir. Bir diğer sınırlayıcı mineral ise kalsiyumdur. Geleneksel olarak üretilmiş pirinç sütündeki kalsiyum miktarı metabolizma için gerekli olan kalsiyum gereksiniminin sadece %1'ini karşılamaktadır. Bu nedenle pirinç sütü demir ve kalsiyum ile takviye edilerek zenginleştirilmelidir (Uzuner, 2012; Karimidasstjerd ve Konuskan, 2021). Bunlara karşın da Rosa ve ark., (2019) pirinç süttünü toksik bir element olan As içerdiğini ve kontrol edilmesi gerektiğini rapor etmiştir.

Diğer alternatif süt ürünlerine göre pirinç süttünün lipid ve protein oranı çok düşüktür. Bir fincan pirinç sütü (250 ml) 0.1 g doymamış lipid ve diğer alternatif ürünler 7-8 g protein içerirken; pirinç sütü 0.4 g protein

içermektedir. Bu içerikleriyle pirinç sütü kolesterol problemi olanlar ve proteinli gıdalarda sindirim problemi yaşayanlar için iyi bir alternatif olmaktadır (Uzuner, 2012; Karimidastjerd, 2020). Kahverengi pirinç, özellikle dolaşım ve sinir sistemi için gerekli olan tüm B vitaminini doğal olarak bünyesinde bulundurmaktadır. Bu vitaminlerin bazıları pirinç sütünün işlenmesi esnasında kaybolabilir. Bu nedenle zenginleştirilmiş pirinç sütü tercih edilmelidir. Esmer pirinç, beyaz pirince göre 2-3 kat daha fazla mineral ve vitamin içeriğine sahip, glisemik indeksi daha düşük bir içecek olarak kullanılabilir. Esmer pirinç sütü, düşük nişasta içeriğine ve yüksek kompleks karbonhidrat içeriğine sahiptir, bu da tip 2 diyabet riskini azaltmaya yardımcı olabilir. Pirinç sütü, bitki bazlı sütler arasında özellikle fenilalanin içeriği en düşük proteinlerden biri olarak bilinir ve bu özelliği onu fenilketonüri bireyleri için uygun hale getirir. Burada pirinç sütünün protein içeriğini arttırmak için de peynir altı suyundan elde edilen kazeinomakropeptid kullanılabilir (Uzuner, 2012; Karimidastjerd ve Konuskan, 2021).

Pirinç sütü normal süte göre 2-3 kat daha yüksek nişasta içerir. Diyabetli hastalarda pirinç sütü tüketimi ani şeker artışlarına yol açabileceğinden diyabeti olanların diğer alternatif ürünleri tercih etmesi önerilmektedir (Uzuner, 2012). Ambalaj malzemesinin probiyotik canlılık üzerinde suşa bağlı bir etkiye sahip olabileceği rapor edilmiştir. Padma ve ark. (2019) cam, yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen kaplarda 21 günlük depolama (5 °C±1) sırasında bir probiyotik pirinç sütü içeceğinin probiyotik canlılığını değerlendirdikleri çalışmalarında; probiyotik pirinç içecek ihtiva eden bir *Lb. casei*, *Lb. bulgaricus*, *Lb. acidophilus*, *B. longu* ve *S. termophilus* kültürleri ile fermente edilmiş ve depolama süresinin sonunda, tüm probiyotik suşların, her üç tedavi türünde de 6 log cfu/mL'nin üzerinde kaldığı bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarında; *St. Thermophilus* dışındaki tüm probiyotik suşların, cam kaplarda yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen kaplara göre daha yüksek canlılık gösterdiği. *St. thermophilus*'un ise muhtemelen yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen kaplarda kaplardaki daha yüksek oksijen geçirgenliği nedeniyle cam kaplara göre daha yüksek canlılık sayıları gösterdiği bildirilmiştir.

Pirinç sütünün yapı gelişiminde ve stabilitesinde nişasta, protein ve sakızlar önemli bileşenlerdir. Pirinç, %70 uzun zincirli amiloz ve %30 amilopektin bileşiminde %80 nişasta içermektedir. Pirinç nişastasını jellerinin stabilitesi esas olarak protein ve amiloz içeriğine, pişirme sıcaklığına ve pirincin orjinine bağlıdır. Pirinç globulin (%12), glutelin (%80), albümin (%5) ve prolamin (%3) olmak üzere dört protein fraksiyonunu içermektedir. Pirinç glutelin yüksek molar kütleye sahiptir ve seyreltik asitte çözünür. Ayrıca pirinç kepeği proteini yaklaşık olarak %37 albümin, %32 globulin,

%27 glutelin ve %2 prolamin içermektedir. Bu proteinler farklı denatürasyon sıcaklıklarına sahiptir. Albümin, globulin ve glutelinin denatürasyon sıcaklıkları sırasıyla 73.3, 78.9 ve 82.2 °C olarak bildirilmiştir. Pirinç unu için denatürasyon sıcaklığı 80.5 °C olarak bildirilmiştir. Pirincin pişme kalitesi ve yapısının oluşumunda 73-85 °C arasında ısıtmanın kritik öneme sahip olduğu rapor edilmiştir (Karimidastjerd, 2020). Ju ve ark., (2001), 80 °C'de 10 dakika boyunca ısıl işlemin pirincin yüzey hidrofobisitesinde muhtemelen bütün globulin moleküllerini açarak veya denatüre ederek bir değişiklikte sonuçlandığını belirtmişlerdir. Yapılan literatür taramasında pirinç sütü ile sade, kakaolu ve limon aromalı dondurmalar (Ersöz, 2012), yoğurt (Rai ve ark., 2018), probiyotik yoğurt (Uzuner, 2012) ve kahverengi pirinç sütü ile yeni bir probiyotik gama-aminobütirik asit (GABA) içeceği (Kittibunchakul ve ark., 2021) üretildiği belirtilmiştir.

2.11. Nohut (*Cicer arietinum*)

Nohut (*Cicer arietinum* L.), Fabaceae familyasının yıllık bir bitkisidir (Wang ve ark., 2021). Nohut bir protein, karbonhidrat, lif, riboflavin, tiamin, niasin, folat ve A vitamini gibi vitaminler ve fosfor, magnezyum, demir (diğer baklagillerden daha yüksek miktarda), potasyum, bakır, manganez, çinko ve kalsiyum gibi mineraller için iyi bir kaynaktır. Kuru bazda bileşiminin yaklaşık %80'i protein ve karbonhidrattır. Diğer baklagiller ile karşılaştırıldığında, düşük antibesinsel madde içeriğine ve iyi sindirilebilirliğe sahiptir. (Kishor ve ark., 2017; Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva 2022). Nohutta lizin ve metionin sınırlayıcı amino asitlerdir. (Bocker ve Silva, 2022). Nohutun protein içeriği diğer baklagillere göre yüksek (%20.9-25.27) biyoyararlanım göstermektedir. Ancak metionin ve sistein gibi bazı amino asitler genellikle nohutta bulunmaz. Aynı zamanda, toplam kolesterol ve LDL kolesterolün azaltılmasına katkıda bulunan çözünür ve çözünmeyen lif içermektedir. Nohut, çoğunlukla linoleik ve oleik asitler olmak üzere doymamış yağ asitleri bakımından yüksek bir içeriğe sahiptir (Bocker ve Silva 2022). Nohutun olumsuz özellikleri; antinutrientlerin varlığı (oksalatlar ve fitatlar), tuzda suda olduğundan daha fazla çözünürlüğe sahip protein içeriği, kötü tatlar (tebeşirlik ve acılık) olarak sayılabilir (Bocker ve Silva, 2022). Nohut taneleri yemeklik ve çerezlik olarak tüketilirken, sap ve saman ile tane işleme artıkları ise hayvan yemi olarak tüketilmektedir (Erden ve ark., 2021). Ayrıca taneler son zamanlarda bitkisel süt kaynağı olarak da değerlendirilmektedir (Silva ve ark., 2020).

Literatürde nohut sütünün hazırlanmasında, 5 kg ham tane 12 saat boyunca ıslatılmış ve antibesinsel faktörleri azaltmak ıslatma suyu atılmıştır. Daha sonra 1.0 kg nohut+2.5 L su (20±2) ile basınçlı tencerede 120 °C'de ve pişirilmiştir. Bu aşamadan sonra pişirilen nohut ve daha sonra kullanılmak üzere pişirme suyu ayrılmıştır. Nohut kabuğu çıkarılmamış. Taneler 1 dakika

süreyle parçalandıktan sonra 1:4 oranında filtrelenmiş haşlama suyu eklendi. Elde edilen karışım bir tülbentle süzölmüş ve nohut sütü elde edilmiştir (Rincon ve ark., 2020). Nohut sütü, kronik ishalin tedavisinde faydalıdır ve beslenmenin iyileşmesine yardımcı olur. Ancak nohut sütü, diğer baklagil bazlı süt alternatifleri gibi fasulye aromasına sahiptir. Hoş olmayan lezzet nedenleri doymamış yağ asitleri ve lipoksijenaz enziminin varlığı ile açıklanabilir. Lipoksijenaz enzimi, n-heksanal ve n-heksanol gibi aldehitlerin ve alkollerin üretiminden sorumludur ve bunlar fasulyemsi veya kötü aromadan sorumludur. Fasulyemsi ve kötü aromaya sebep olan bu enzimin inaktivasyonu için ısıtım işlemi uygulanabilmekte, ayrıca kötü kokunun giderilmesi için deodorizasyon uygulanabilmekte ya da hoş olmayan aromayı yapay veya doğal aromalar kullanarak maskeleyerek yapılabilmektedir (Karımıdastjerd ve Konuskan 2021; Bocker ve Silva 2022). Nohut sütü ikamesi, kalıcı ishalin kontrolünde etkilidir, lezzetli kabul edilir ve tüm çocukların beslenme durumunu iyileştirmeye yardımcı olduğu için beslenme rehabilitasyonuna yardımcı olduğu belirtilmiştir (Silva ve ark., 2020).

2.12. Susam (*Sesamum indicum*)

Susam (*Sesamum indicum* L.) orijini Afrika kıtası olan, Pedaliacea familyasına ait tek yıllık bir yağ bitkisi olan susamın önemli bir gen merkezi de Türkiye'dir (Atakan ve ark., 2017). Susam tohumu dünyadaki en önemli yağlı tohum bitkilerinden biridir (Ahmadian-Kouchaksaraei ve ark., 2014). Susam tohumları başta stearik, palmitik, oleik ve linoleik asitler olmak üzere lipid profili ve lipid bakımından zengin en önemli mahsullerden biridir. Susam tohumu, yüksek antioksidan aktivitesi ile bilinen iyi bir protein, mineral ve yağ kaynağıdır. Bileşimi, yaklaşık olarak %37-50 lipid, %4-7 ve %20-47 proteinden oluşmaktadır. Susam tohumlarının protein içeriği, kükürt içeren amino asitler açısından zengindir; bununla birlikte, lizin sınırlayıcı amino asittir. Susam tohumu mineralleri esas olarak kabuğunda bulunur. Bununla birlikte, üretim sırasında kabuk çıkarılır ve bu da mineral içeriğinin azalmasına neden olur. Susam tohumu hala iyi miktarda kalsiyum, demir, fosfor, bakır, magnezyum, mangan ve çinko içerir. Vitaminler kabuğunda da bulunur, ancak yine de susam tohumları yüksek miktarda B kompleks vitaminleri içerir (Ahmadian-Kouchaksaraei ve ark., 2014; Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva, 2022). Önemli alerjenik potansiyeli olmayan doymuş yağ asidi içeriği düşük olan susam tohumları, antioksidan özelliğinin yanı sıra antikanserijenik ve antivirüs etkileri bulunan, karaciğerin detoksifikasyonunu artırıcı ve sesamin, sesamolin ve sesaminol olan lignanların miktarı nedeniyle kolesterol düşürücü etki göstermektedir. Bu özelliklerinin yanı sıra susam tohumları, vitamin ve minerallerin biyoyararlanımını azaltan fitat, oksalat ve saponinler gibi bazı besleyici olmayan bileşikler içerir (Karımıdastjerd ve Konuskan 2021; Bocker ve Silva

2022). Susam proteinlerinin ısıl işleme duyarlı olduğundan susam sütünün pastörizasyon sıcaklığını tolere edebildiğini ancak sterilizasyon sıcaklığını tolere edemediğini bildirmiştir (Silva ve ark., 2020). Afaneh ve ark., (2011) susam sütünde 75 °C'de 5 dk uygulanan pastörizasyon işleminde, diğer iki pastörizasyon işlemine (65 °C/30 dk ve 85 °C/5 dk) kıyasla daha yüksek dispersiyon stabilitesi saptandığı rapor edilmiştir. Quasem ve ark., (2019) ön işlemin susam sütü alternatifinin ekstraksiyon verimi, stabilitesi ve duyuşsal kabulü üzerindeki etkisini araştırmış ve kavurma, buharda pişirme ve basınçta pişirmenin lezzeti artırdığını, acı ve kötü tatları azalttığını, ayrıca kavurmanın arzu edilen bir tada sahip süt alternatiflerinin üretilmesiyle sonuçlandığından en iyi ön işlem olduğunu bildirmişlerdir. Dispersiyon stabilitesi, başlangıç susam yüzdesinin %10'dan %14'e artmasıyla artmıştır. Susam sütü ikamesinin genel kabul edilebilirliğinin artırılması, tohumların önceden kavrulması ve alkaliye batırılması yoluyla susam sütündeki acılık ve tebeşirliğin azaltılmasıyla sağlanabilir. Susam sütü soya fasülyesinden daha düşük alerjeniteye sahiptir ve fasülye tadı yoktur. Bu sebeplerden dolayı iyi bir duyuşsal kabule sahiptir (Silva ve ark., 2020).

2.13. Ayçiçeği çekirdeği (*Helianthus annuus*)

Asteraceae familyası içerisinde yer alan ayçiçeği (*Helianthus annuus*) ve içerdiği yağ oranından (%65-70) dolayı en önemli yağ bitkileri arasındadır. Ayçiçeği yağı, yemeklik kalitesi yönünden tercih edilen bitkisel yağlar arasında ilk sırada yer almaktadır (Asav ve Serim, 2019). Ayçiçeği tohumu lipidler açısından zengindir ve mevcut lifler çoğunlukla tohumun temel olarak selülozdan yapılan kabuğundandır. Ayçiçeği tohumu, kalsiyum ve çinko gibi bazı minerallerle çözünmeyen kompleksler oluşturan ve bu mikro elementlerin biyoyararlanımını azaltan bir antibesin olan fitat içerir. Ayçiçeği proteini, proteoliz onu iyileştirebilse de, zayıf jel oluşturma özelliklerine sahiptir (Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva 2022).

2.14. Kavun çekirdeği

Kavun (*Cucumis melo*) Cucurbitaceae familyasının Cucumis cinsinin bir üyesi olan, yuvarlak ya da oval biçimli, hoş kokulu, bol sulu genellikle sarı veya turuncu bir renge sahip olan meyvedir. Kavunun cinsine bağlı değişkenlik göstermekle birlikte kavun çekirdeğinin yaklaşık kuru ağırlığının %30-40'ını yağ, %15-25'ini protein, %15'ini lif oluşturmaktadır. Kavun çekirdeğinin potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, bakır, çinko, fosfor mineralleri içerdiği belirtilmektedir (Karlı, 2021). Bileşenlerin incelendiği farklı bir kavun çekirdeği araştırmasında, %7.10 nem, %92.90 kuru madde, %30.63 ham protein, %4.52 karbonhidrat, %2.70 kül, %6.00 ham lif ve 582.05 kcal/100 g enerji içerdiği belirlenmiştir (Jacob ve ark., 2015). Bastioğlu ve ark., (2016) çalışmasında kavun çekirdeği sütünün iyi bir demir

ve magneyum kaynağı olabileceği belirtilmiştir. Literatürde kavun çekirdeği sütü üzerine yapılan araştırmalarda, bu içeceğin yüksek protein içeriği (%3.6), yağ (%4) içermesi ve laktoz içermemesi nedeniyle dünyada yüksek oranda üretilen ve tüketilen soya sütüne alternatif bir bitkisel süt olabileceği belirtilmiştir (Akubor,1998).

Bastioğlu ve ark., (2016)'nın açıkladığı yönteme göre lifli kısımlarından ayrılarak yıkanıp ayıklanan ve kavun ve bal kabağı çekirdeği dondurarak kurutma uygulandıktan sonra öğütülmüştür. Sonrasında çekirdek tozuna (50 gr) su (150 ml) ilave edilmiş ve bu karışım 120 dakika bekletilmiştir. Bekletilen ürün 5 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra bir elek (212 µm gözenekli) ile bir kaba süzölmüştür. İkinci bir karıştırma işlemi için elek üzerinde kalan tortuya 75 ml su ilave edilerek ürün tekrar 5 dakika süreyle karıştırılmıştır. Bulamaç tekrar elek ile süzölmüş ve bu işlemler sonucunda bitkisel süt elde edilmiştir. Apan ve Zorba (2018) kavun çekirdeği sütü alternatifini üç seviyede macun kullanarak formüle etmişler ve görünüşü, ağızda bıraktığı his ve aroması göz önüne alındığında sudaki macunun %25'lik su kavun çekirdeği bulamacının en iyi süt alternatifi formülasyonu olduğunu gözlemlemişlerdir. Kavun çekirdeği sütünün stabilitesini araştırmak için 7 gün boyunca soğuk depolama yapılan çalışmada antioksidan potansiyelinde ve lipid oksidasyon stabilitesinde bir değişiklik olmadığı bildirilmiştir (Antonic ve ark., 2021). Kavun çekirdeği sütünden muhallebi (Karlı, 2021) ve süt tozu (Bastioğlu ve ark.,2016) ürünler üretildiği belirtilmiştir.

2.15. Kabak çekirdeği

Kabakgiller, Cucurbitaceae familyasında yer almakla birlikte günümüzde üretimi yapılan 5 önemli kabak türü *Cucurbita pepo*, *C. moschata*, *C. maxima*, *C. Ficiifolia* ve *C. Argyrosperma*'dır. Ayrıca kışlık kabak olarak nitelendirilen *C. Maxima Duch* ve *C. Moschata Pour* kabak türlerinin tohumları çerezlik olarak kullanılmaktadır (Karlı, 2021). Kabak çekirdeği sütünden muhallebi (Karlı, 2021) üretildiği yapılan literatür taramasında belirlenmiştir.

2.16. Yer fıstığı (*Arachis hypogea* L.)

Fabaceae familyasına ait olan yer fıstığı (*Arachis hypogea* L.) Hindistan'da yaygın olarak kullanılmakta, inek sütü proteinlerine alerjisi olan vejetaryenler ve çocuklar tarafından da tüketilmektedir. Fıstık, hastalıkların önlenmesiyle bağlantılı birçok biyoaktif bileşiğe sahip olduğu için fonksiyonel fındık olarak sınıflandırılabilir. Yerfıstığı, kan lipid ve kan şekerini düşürme potansiyeli olan ve daha uzun ömür sağlayan proteinler, yağlar (başlıca linoleik ve oleik asitler), diyet lifleri, vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve fitosteroller içerir. Yer fıstığının fonksiyonel özellikleri,

kardiyovasküler hastalık, felç ve çeşitli kanserler gibi çeşitli hastalıklara karşı antioksidan ve koruyucu bileşikler olarak kabul edilen fenolik bileşiklerin varlığından kaynaklanmaktadır (Arslan, 2018; Karımüstjerd ve Konuskan, 2021). Bununla birlikte, fıstık sütü, yüksek hekzanal içeriğinden dolayı bazı istenmeyen fasulye aromasına sahiptir. Fermantasyon, fıstık sütündeki kötü aromayı azaltmak için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir (Karımüstjerd ve Konuskan, 2021). Yapılan bir çalışmada, yer fıstığı sütünden elde edilen yoğurdun, inek sütünden elde edilen yoğurda göre protein ve yağ içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada yoğurtların su tutma kapasitesinin yüksekliğine bağlı olarak kabul edilebilir düzeyde sinerezisi önlediği tespit edilmiştir (Isanga ve Zheng, 2008). Yer fıstığı sütünden yoğurt (Isanga ve Zhang, 2007; Arslan, 2018), probiyotik yoğurt (Bansal ve ark., 2016) ayran ve kefir (Arslan, 2018) üretimi yapıldığı belirtilmiştir.

2.17. Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.)

Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) Anacardiaceae (sakız ağacıgiller) familyasında yer alan ağacın sert kabuklu bir meyvesidir (Öztürk, 2021). Fıstık, dünyanın en popüler ve besleyici kuruyemişlerinden biridir ve yüksek miktarda diyet lifi, B6 vitamini, tiamin, lutein, E vitamini, K vitamini, magnezyum, kalsiyum, fosfor, bakır, omega yağ asitleri ve fitosteroller içerir (Karımüstjerd ve Konuskan, 2021). Spesifik olarak, yüksek miktarda oleik asit içerirken, trans-resveratrol, proantosiyanidinler, izoflavonlar daidzein ve genistein gibi fenolik bileşiklerin yanı sıra kateşin ve epikateşin antep fıstığının bileşenleri olarak bildirilmiştir (Yanni ve ark., 2020). Antep fıstığı Asurlular ve Yunanlılar tarafından tıbbi bir ilaç, güçlü bir afrodisyak ve zehirli hayvanların ısırmasına karşı bir panzehir olarak kullanılıyordu (Salas-Salvadó ve ark., 2011). Antep fıstığının koroner kalp hastalığı, diyabet ve safra taşı riskini azalttığı ve kan lipid ve LDL kolesterol düzeylerini düşürdüğü gösterilmiştir (Karımüstjerd ve Konuskan, 2021).

2.18. Keten tohumu (*Linum usitatissimum*)

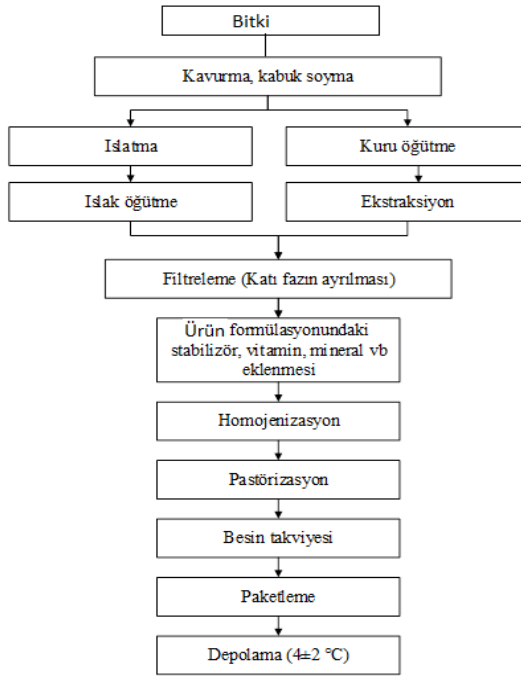
Linaceae familyasının *Linum* cinsine ait olan keten tohumu (*Linum usitatissimum* L.) latince isminin anlamı “çok faydalı bitki” olan bitkinin tohumlarıdır (Han, 2012; Yang ve ark., 2021). Keten tohumu, 5000 yıldan fazla bir süredir gıda ve tekstil lifi olarak kullanılan en önemli yağlı tohum bitkilerinden biridir (Yang ve ark., 2021). α -linolenik asit (18:3n-3) açısından zenginliği ile bilinen keten tohumunun içeriğinde; omega-3, omega-6 ve omega-9 yağ asitlerinin yanı sıra yüksek oranda çözünür ve çözünmez lif, lignan, protein, aminoasit, β -karoten, E vitamini, C vitamini ve B12 vitamini bulunmaktadır. Ayrıca, bol miktarda potasyum, az miktarlarda ise magnezyum, demir, bakır, çinko minarellerini içermektedir (Han 2012).

Yüksek miktarda besin içerir ve omega-3 yağ asitleri başta α -linolenik asit, diyet lifleri, vitaminler ve fenolik bileşikler içermesi nedeniyle sağlığa yararlar gösterir. Keten tohumları kolesterol ve doğal olarak laktoz içermez, bu da onları laktoz intoleransı olan kişiler için ideal kılar. Keten tohumlarında bulunan fenolik bileşiklerin antioksidatif ve hepatoprotektif etkileri vardır ve fitoöstrojen ve lignanların varlığı insan ve sığırcılarda tümör inhibe edici özellikler göstermiştir. Ayrıca, keten tohumu sütündeki izoflavonların ve peptitlerin etkinliği fermentasyon ile artırılabilir (Karımıdastjerd ve Konuskan 2021; Yang ve ark., 2021).

Yer fıstığı sütünden yoğurt (Isanga ve Zheng, 2008) üretildiği kaynaklarda görülmüştür.

3. Bitkisel Süt Üretim Yöntemleri

Bitki bazlı içecek işleme adımları, öncelikle, mümkün olan en yüksek çözünür ekstrakt verimini garanti etmek için kullanılan sebze matrisinin fizyolojisine dayanmaktadır. Bu nedenle, hammaddelerin ilk muamelesi özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin, fındık Hindistan cevizi, fıstık, soya, ceviz, kaju gibi kabuklu olan hammaddeler ve tohumlar soyulur. Aynı zamanda, tahıllar, sözde tahıllar ve sebzeler genellikle sıcak suya daldırılır ve kurutulur. Hammade kabuksuz ve taze ise veya kabuklu olarak alınmışsa ve işlenmeden önce kabuk çıkarılmışsa kurutma gereklidir. Fıstık, badem, fındık, susam ve tahıl sütü ikamesi üretimi için kavurma işlemi kullanılmaktadır. Emülsiyon stabilitesini arttırmak, protein izolatının çözünürlüğünü arttırmak, toksik bileşiklerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak ve proses verimini arttırmak için ham maddeler kavrulmaktadır (Aydar ve ark., 2020; Bocker ve Silva, 2022). Susam sütü üretiminde, kavurma işleminin asitliği, toplam katı madde içeriğini, proteini, yağı ve stabiliteyi azaltır, acılık ve kireçli tadı önlediği bildirilmektedir (Aydar ve ark., 2020). Daha sonraki aşamalar suda bekletme, haşlama, ıslak öğütme, ardından kaba parçacıkların, işlemde kalan kalıntıların uzaklaştırılması ve suda çözünür özü elde etmek için süzülmesi, güçlendirme ve zenginleştirme amacıyla katkı maddelerinin eklenmesi, sterilizasyon, homojenizasyon, aseptik paketleme ve soğuk depolama (+4 °C) şeklinde olan ve bu işlemin birçok varyasyonu olsa bile, modern endüstriyel ölçekli işlem esasen aynıdır (Aydar ve ark., 2020; Gram, 2021). Bitki bazlı içecek işleme adımlarının genel bir tasarımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Bitki bazlı süt alternatiflerinin üretim sürecinin genel taslağı (Reyes-Jurado ve ark., 2021; Penha ve ark., 2021 Bocker ve Silva, 2022).

Suda bekletme aşaması soya fasulyesi, fındık, pirinç, badem, yer bademi, tahıllar, susam tohumları ve yer fıstığı için kullanılabilir. Bu aşamada tahılların ve kuruyemişlerin şişmesi ve yumuşaması teşvik edilmiş; sonuç olarak, görünen amiloz içeriği azaltılmış olur. Örneğin yer bademi suya daldırıldığında sütünün ekstraksiyon verimi artar. Haşlama soya fasulyesi, badem, Hindistan cevizi, susam, yer fıstığı, pirinç ve kinoaya uygulanabilir. Bu adım, azaltılmış mikrobiyal yük ve lipazlar gibi enzimlerin inaktivasyonu dahil olmak üzere çeşitli avantajlara sahiptir. (Penha ve ark., 2021).

Bitki bazlı sütler genel olarak mekanik, kimyasal ve/veya enzimatik yöntemler kullanılarak orijinal bitki dokusu yapısını parçalayan boyut küçültme yöntemleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu işlem soya fasulyesi, badem, kaju, Hindistan cevizi ve yulaf gibi tohum kaynaklarında yağ kütlelerinin salınmasına neden olur. Bu yağ gövdeleri, bir fosfolipid/protein tabakası ile kaplanmış trigliserit açısından zengin bir çekirdeğe sahip kolloidal malzemelerdir. Yağ çekirdeğinin yağ asidi bileşimi, tohum kaynağının botanik kökenine bağlıdır. Örneğin, Hindistan cevizindeki yağ kütleleri esas olarak orta zincirli doymuş yağ asitleri içerirken, soya fasulyesindekiler esas olarak çoklu doymamış uzun zincirli yağ asitlerinden oluşur. Yağ kütlelerinin yüzeyindeki fosfolipid/protein tek tabakası, farklı

çevresel koşullara maruz kaldıklarında toplanma eğilimleri gibi yağ kütlelerinin kolloidal stabilitesini etkiler (Zheng ve ark., 2021). Boyut küçültmenin ardından, hammadde boyutunu küçültmek için öğütme aşamasına geçilir. Teknik olarak, sulu ekstrakt elde etmek için iki öğütme işlemi kullanılmaktadır: birincisi, bitki kaynaklarının ıslatılması ve yağ öğütülmesi (ıslak işlem) ve ikincisi, ham maddelerin kuru öğütülmesi ve unun suda (kuru işlem) çıkarılmasıdır (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Bitkisel matris temas yüzeyinin artması, ekstraksiyon adımını desteklemektedir. Bu işlem daha az enerji verimli olduğundan kuru öğütme hammadde boyutlarını küçültmek için yaygın olarak kullanılmaz. Bu nedenle, bitki bazlı süt ikamelerinin üretimi için genellikle ıslak öğütme kullanılır. Eklenen su miktarı, öğütme sıcaklığı, pH, öğütme türü ve besleme hızı gibi faktörlerin bitki bazlı içeceklerin konsantrasyonu üzerinde kesin bir etkisi vardır. (Penha ve ark., 2021). Öğütme prosedürü sırasında su ilavesi, işlem süresini azaltır ve kaynatma aşamasının verimini artırır. Buna karşılık kaynatma ya da ısıtma işlem adımları, ürünün mikrobiyal ve enzimatik yükünü azaltır (Bocker ve Silva, 2022). Ekstraksiyon aşaması, nihai ürünün bileşimi için son derece önemlidir. Ekstraksiyon verimi, yüksek sıcaklıklar uygulanarak, enzimler kullanılarak veya ortamın pH'ı artırılarak artırılabilir. Bikarbonat veya NaOH ilavesiyle bazik bir pH kullanılması tavsiye edilir, çünkü bu protein ekstraksiyon kapasitesini arttırmaktadır. Dolayısıyla işlem için bir nötralizasyon adımı gereklidir. Yüksek sıcaklıklar yağ ekstraksiyonunu artırır, ancak diğer yandan proteinleri denatüre ederek çözünürlüklerini ve ekstraksiyonlarını azaltır. Enzimler, proteinlerin ve polisakaritlerin kısmi hidrolizini sağlamaktadır. Enzimlerin kullanımı yoluyla ekstraksiyon verimlerini iyileştirmek için proteinlerin kısmi hidrolizi gerçekleştirilebilir. *Pestulotiopsis westerdijkii*'den ekstrakte edilen papain ve enzimler, soya sütü protein verimini iyileştirmiştir ve pektinaz kullanımı, tahıl bazlı sütteki proteinin protein içeriğini artırmıştır. Ekstraksiyon verimini arttırmak ve şeker eklemekten önce daha tatlı bir tat sağlamak ve soya sütü benzeri içeceklerin üretiminde verimi arttırmak için en yüksek protein ve toplam katı verimlerinin, nötr veya alkali proteinazların optimal pH'larında kullanılması gerektiği rapor edilmiştir (Silva ve ark., 2020).

Taze bitki bazlı süt ikamesinin raf ömrü çok kısadır ve bu sebeple tüketimi sınırlıdır. Depolama sırasında, ürün kalitesi için istenmeyen tortulaşma, krema veya sinerez yoluyla faz ayrımı meydana gelebilir, nihai ürünün kolloidal stabilitesi büyük ölçüde bileşenlere, işleme koşullarına ve depolamaya bağlıdır. (Silva ve ark., 2020; Gram, 2021). Bazı formülasyonlarda stabiliteyi artırmak ve duyu özelliklerinin geliştirilmesi için gıdalar, tuz veya tatlandırıcılar kullanılmaktadır (Gram, 2021). Bunlara ek olarak elde edilen ürünün stabilitesini arttırmak için antioksidanlar ve koruyucular eklenmektedir (Bocker ve Silva, 2022). Katkı maddesi

kullanılmadan stabiliteyi artırmak için yeni teknolojiler (ultrason, darbeli elektrik alanları, ohmik ısıtma, ultra yüksek basınçlı homojenizasyon vb) uygulanmaktadır (Gram, 2021). Ayrıca elde edilen ürüne proteinler, vitaminler ve mineraller eklenerek besin değerini artırarak zenginleştirilip güçlendirilebilir (Bocker ve Silva, 2022).

Homojenizasyon adımı, viskozitelerini veya protein profillerini önemli ölçüde değiştirmeden kolloidal partikül boyutlarını azaltarak bitki bazlı içeceklerin stabilitesini artırır. Böylece ürün, belirlenen raf ömrü boyunca sedimantasyona ve faz ayrımına karşı daha fazla stabil hale getirilmiş olur (Bocker ve Silva, 2022). Bernat ve ark., (2015b) yüksek basınçlı homojenizasyon ve sıcaklık uygulamasının fındık ve badem sütünün fiziksel yapısı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında; homojenize edilmiş badem sütünün parçacık büyüklüğünde önemli bir azalma görüldüğü bildirilmiştir. Viskozite ve protein stabilitesi etkilenmeden parçacık yüzey yükü, berraklık, beyazlık indeksi ve örneklerin fiziksel stabilitesi artmıştır. Homojenize fındık sütünde ise viskozite artmış ve protein yapısında değişiklikler meydana gelmiştir. Yüksek ısı uygulaması ile protein denatürasyonuna bağlı olarak oluşan yağ damlacıkları-protein kompleksleri nedeniyle parçacık boyutunda artış tespit edilmiştir. Tablo 1’de bazı bitkisel sütlerin üretiminde uygulanan proses koşulları verilmiştir.

Tablo 1. Bitki bazlı bazı sütlerin üretimi için proses koşulları (Aydar ve ark., 2020).

Hammadde	Kavurma koşulları
Yer fıstığı	225 °C, 25 dak
Badem	95-100 °C, 30 dak
Susam	145 °C, 20 dak
Fındık	140 °C, 15 dak
Tahıllar	130 °C, 5 dak
	Suda bekletme koşulları
Soya	500 g+1 L su içinde, 12 s.
	10 g+1 L su içinde, 14 s.
Pirinç	1:2 (pirinç+su), 1 s
Yer Bademi	50 g+400 mL su içinde, 40 °C, 24 s
	40 g in 100 mL sodium metabisulfite 0.20% (w/v), 8 s, 20 °C
Tahıllar	1:2 (tahıl+su), 8 s, 30 °C
Badem	6 s, 4 °C

Hammadde	Kavurma koşulları
	Kaynatma şartları
Soya	1.25 % NaHCO ₃ , 30 dak
	0.5% NaHCO ₃ , 30 dak
Badem	Suda 90 °C, 3 dak
	Buharda 85 °C, 5–30 dak
Hindistan cevizi	Suda 80 °C, 10 dak
Susam	Suda 100 °C, 30 dak
	Buharda 95 °C, 15-30 dak
Pirinç	80 °C, pişirme 15 dak
	Suda 103 °C, 3 s
Kinoa	1:7 (kinoa+su), 112 for 30 dak
	Islak öğütme Koşulları
Susam	5 su: 1 susam, 20 dak
Yer fıstığı	1:9 (yer fıstığı:su), 18,000 rpm, 2 dak 4 kez
Yer bademi	1:1 (su:yer bademi), 800 W
	200 g su için 50 g yer bademi, 13,000 rpm, 20 dak
Fındık	10,000 rpm, 10 dak
Soya	10 g soya 250 mL kaynar su kullanılarak 10 dak öğütüldü.
	3:1 (ağırlık bazında su:fasülye)
Badem	1:9 su, 18,000 rpm, 2 dak
Ceviz	Cevizler 50 °C'de kendi ağırlıklarının 4,5 katı su ile karıştırılmış ve
Kaju	1:3 (w/v) oranında
Yer fıstığı	2000 rpm 10 dak
Yer fıstığı ve pirinç	1:8 su, 1 dak düşük hızda (15,000 rpm), 2 dak yüksek hızda
	Homojenizasyon koşulları
Yer fıstığı	150 ve 300 mPs
Kenevir	İki aşamalı homojenleştirme, 30 veya 60 MPa
Susam	55 °C, 6 MPa
Antep fıstığı ve pirinç	Sırasıyla iki kez 0, 19.6 MPa ve 29.4 MPa

Ham madde	Kavurma koşulları
Yer fıstığı	15 psi, 15 dak
Hindistan cevizi	İki aşamalı homojenleştirme 1,500/500 psi
Badem	350 MPa (UHP), 85 °C
	İki kademeli valf homojenleştirici, 180 MPa and 40 MPa
	172 MPa
Fındık	62, 103, 172 MPa, 85 ve 121 °C
	400–1600 bar
	33 MPa
	Ultrason homojenleştirici 100 W ve 20 kHz 10 dak
	100 MPa basınçta iki aşamalı yüksek basınçlı homojenizatör

Bitki bazlı içecek üretiminin son adımı pastörizasyondur. Gıda sektöründe sütü ikame etmek için bitki bazlı içeceklerin uygunluğu ve bunların beslenme ve duyuşal özellikleri göz önüne alındığında, bu ürünlerin üretimi için gelişen teknolojilere dayalı çeşitli pastörizasyon işlemleri geliştirilmiştir. Ultra pastörizasyon ısı işlemleri, ürüne yüksek mikrobiyolojik ve enzimatik güvenlik sağlamak için genellikle hızlı ve verimli bir işlem olarak uygulanır. Bununla birlikte, yüksek yoğunluklu ultrason, yüksek basınç, mikrodalga, darbeli elektrik alanı, ohmik ısıtma, süperkritik karbondioksit ve ultraviyole radyasyon gibi gelişen teknolojilere dayalı işlemler, bitki bazlı içecekleri stabilize etmek için geleneksel ısı işlemlerin yerine kullanılabilecek umut verici alternatiflerdir (Bocker ve Silva, 2022). Tablo 2’de yenilikçi teknolojilerin bitki bazlı süt ürünü olmayan alternatif süt üzerindeki etkilerini özetlemektedir.

Tablo 2. Yeni teknolojiler, işlenen ürün, süreç koşulları ve yeni teknolojinin nihai ürün üzerindeki etkisi (Aydar ve ark., 2020).

Yeni Üretim Teknolojisi	Bitki Bazlı Süt İkameleri	Proses Koşulları	Ürün Üzerinde Etkiler
Ultrason	Badem Sütü	Gücün %80'i, 8 dakika, 6 sn'de darbe- <i>E. Coli</i> için %80, <i>L. monocytogenes</i> için 2 dk 6 sn. Fiziksel kararlılık için 4,9 dak, 300 W ve 20 kHz	Mikroorganizma inaktivasyonu, partikül boyutunda azalma ve viskozite gözlemlendi.
Darbeleri elektrik alanı	Soya sütü	18, 20 ve 22 kV cm ⁻¹ elektrik alan şiddeti ve 25, 50, 75 ve 100 darbe sayısı	Soya fasulyesi liposijenazında bir azalma gözlemlendi.
Yüksek yoğunluklu ultrason ışıması	Hindistan cevizi sütü	Ultrasonik yoğunluk:50–55 W cm ⁻² , Frekans, 20 khz, Genlik %40	Parçacık boyutlarının daha küçük olduğu bulunmuştur.
Ohmik ısıtma	Soya sütü	110, 165 ve 220 V	Protein agrega formunda hafif artış, tripsin inhibitör aktivite ve kimotripsin inhibitör aktivite inaktivasyonu gözlemlendi
Ultra yüksek basınçlı homojenizasyon	Badem sütü	350 MPa, 85 °C 450–600 MPa, 30 °C'de, 300 s	Mikron altı/nanopartikül oluşumu, ortalama partikül boyutunda üç kat artış, antijenisitede tam kayıp, serbest sülfhidril gruplarında azalma, mikroorganizma inaktivasyonu, protein çözünürlüğünde azalma ve amandin immünoreaktivitesi gözlemlendi.
	Yer bademi sütü	200 ve 300 MPa ve 40 °C	Daha yüksek koloidal stabilite, partikül boyutunda azalma, yeni ağ oluşturmuş partiküller, enzimatif stabilitede artış, lipid oksidatif stabilitede artış, 3 günden 25, 30 ve 57 güne kadar raf ömründe artış, parlaklık ve beyazlıkta artış gözlemlendi.
Yüksek basınçlı homojenizasyon	Fındık sütü	150 MPa	Ürünlerin kıvamında azalma, mikroyapısal özelliklerde iyileşme, viskozite artışı gözlemlendi.
	Yer fıstığı sütü	150 ve 300 MPs	Önemli ölçüde azaltılmış boyut, tutarlılık indeksi ve akış davranış indeksi artışı gözlemlenmiştir.
	Badem sütü	62, 103 ve 172 MPa	Parçacık boyutunda azalma, parçacık yüzey yükünde artış, berraklık ve beyazlık indeksi gözlemlendi.

Amino asit değişkenliklerini artırarak besleyici veya duyuusal özelliklerini geliştirmek için iki veya daha fazla bitki bazlı süt alternatiflerinin karışımları önerilmiştir. Harmanlama olarak da bilinen bitkisel bazların karışımı, bu bitkisel bazların farklı besinsel ve fizikokimyasal özelliklere sahip olması nedeniyle nihai ieeğin arttırmaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Örneğin, badem-soya fasulyesi sütlerinin karışımının duyuusal kaliteyi iyileştirdiği, fıstık-brle sütlerinin karışımının, enerji arzını dengelediği ve fasülye aromasını azalttığını, soya fasülyesi-mısır karışımının, besin bileşenlerini geliştirdiğini, 1:3:2 oranındaki Bambara yerfıstığı-yer bademi-Hindistan cevizi duyuusal nitelikleri ve dengeli protein ve diyet lifi içeriğini geliştirdiğini ve soya fasülyesi-fıstık-kakao karışımının fizikokimyasal özellikleri geliştirdiği bildirilmiştir. Ayrıca, yulaf-keten karışımı, badem-Hindistan cevizi karışımı, badem-kaju karışımı ve badem-kaju-makadamia karışımı gibi piyasada ticari karışımlar mevcuttur (Reyes-Jurado ve ark., 2021; Bocker ve Silva 2022).

Teknolojik retim sürecinde hammadde (tahıl, kabuklu yemiş, meyve) su ile ekstrakte edilmekte ve genellikle pres keki veya küspesi olarak adlandırılan katı kısım önemli miktarlarda yan ürün olarak üretilmektedir. Gıda retimi yan ürünleri, herhangi bir arıtma, minimizasyon veya nleme yöntemi uygulanmazsa çevrede zararlı etkilere neden olabilir. Günümüzde, gıda işleme yan ürünleri farklı ürünleri güçlendirmek için geri kazanılabilecek değerli bileşiklerin bir kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bitkisel süt üretiminde oluşan yan ürünler diyet lifleri, proteinler, makro ve mikro besinler açısından zengindir. Ayrıca, Hindistan cevizi pres kekindeki fenoller, flavonoidler veya yağ asitleri gibi diğer bileşikler, antidiyabetik ve antikanser özelliklere sahipken, yulaf yüksek bir β -glukan içeriği ile karakterize edilir ve insan sağlığını olumlu etkilemektedir (Bartkiene ve ark., 2021).

Bitkisel bazlı içecek üretiminde meydana gelen kalıntı miktarı, hammaddeye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, süzme aşamasından kaynaklanan kalıntılar genellikle çözünmeyen katı maddelerden ve makro besinlerden oluşur. Susam tohumlarının yıllık işlenmesi, tahmini 360.000 ton kepekle sonuçlanır. Bu kepek yeterince kullanılmamıştır veya hayvan yemi olarak sınırlı kullanımı vardır ve toplam susam tohumu ağırlığında %15-18'lik bir kayba karşılık gelir (Penha ve ark., 2021).

Bartkiene ve ark., (2021) fermente ve/veya ultrasonik badem, Hindistan cevizi ve yulaflı içecek üretim yan ürünlerini buğday ekmeği formülasyonlarında kullanmışlardır. Mikrobiyolojik ve diğer kalite parametrelerinin (asitlik, renk, özgül hacim, gözeneklilik, nem içeriği, genel kabul edilebilirlik) yanı sıra depolama sırasında ekmek doku sertliği ve su birikintisindeki akrilamid içeriği değerlendirildi. %20 fermente bademli

içecek hazırlama yan ürünü, %15 fermente yulaflı içecek hazırlama yan ürünü ve %15 ultrasonik yulaflı içecek hazırlama yan ürün ile hazırlanan buğday ekmeğinin en yüksek genel kabul edilebilirliğı belirlenmiştir. 96 saatlik depolamadan sonra en düşük sertlik, %5 fermente bademli Hindistan cevizi ve yulaflı içecek hazırlama yan ürünü ve ultrasonik Hindistan cevizi ieceğı hazırlama yan ürünü ile hazırlanan ekmeklerde bulunmuştur. Yulaflı içecek hazırlama yan ürünü ile hazırlanan ekmekde en düşük akrilamid içeriğı bulunduğı ve son olarak, hazırlanan ekmek yüksek genel kabul edilebilirliğinin yanı sıra düşük akrilamid içeriğı gösterdiğinden, %15 fermente edilmiş yulaflı içecek hazırlama yan ürününün, ekmek hazırlama için güvenle kullanılabileceğı rapor edilmiştir. Günümüzde yüksek basınçlı homojenizasyon, ultrason, enzimatik işlemler ve fermentasyon gibi evre dostu teknikler, ekstraksiyon verimini artırmak ve tortuyu azaltmak için geleneksel işlemlerle uygulanması önerilmektedir. Bu tür tekniklerin bitki bazlı içeceklerin üretim verimliliğini artırmanın yanı sıra besinsel ve duysal özelliklerini geliştirdiğı bildirilmektedir (Penha ve ark., 2021).

4. Sonuç

Bitkisel sütlerin son yıllarda üretimi ve tüketimi, beslenme şekilleri, sağık ve çevresel faktörlerden dolayı hızla artmaktadır. Bitki bazlı süt alternatiflerinin, bağışıklık sistemi üzerinde antioksidan aktivite ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltma gibi sağıka faydalı etkileri olduğı ortadadır. Bitkisel sütler, bir kişinin laktoz intoleransı veya inek sütünün neden olduğı hastalıkları olduğunda inek sütüne bir alternatif olabilmektedir. Ancak beslenmede inek sütünün yerine konulması; yetersiz protein içeriğı, düşük biyoyararlanımlar sebebiyle direkt mümkün olamamaktadır. Bitki bazlı sütlere çeşitli mineraller (Kalsiyum gibi), vitaminler, bazı aromalar ekleyerek veya iki veya daha fazla bitki bazlı sütü bir araya getirerek inek sütü için besinsel olarak eşdeğer alternatifler üretmek mümkündür. Bitkisel sütlerin geliştirilmesindeki ana zorluk, besinlerinin hem lezzetini hem de biyoyararlanımını iyileştirmektir. Ek olarak, bitkisel sütlerdeki antintrientlerl ve alerjenleri karakterize eden ileri çalışmalar gereklidir.

5. Kaynaklar

- Aboulfazli, F., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2016). Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on probiotics and nutritional profile of fermented ice cream. *LWT*, 70, 261-270.
- Afaneh, I., Abu-Alruz, K., Quasem, J. M., Sundookah, A., Abbadi, J., Alloussi, S., & Sawalha, S. (2011). Effect of critical processing variables on sesame milk quality. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(4), 517-520.

- Ahmadian-Kouchaksaraei, Z., Varidi, M., Varidi, M. J., & Pourazarang, H. (2014). Influence of processing conditions on the physicochemical and sensory properties of sesame milk: A novel nutritional beverage. *LWT*, 57(1), 299-305.
- Akalın, H. (2020). Yağsız süttozu ile zenginleştirilen bitkisel bazlı süttten az yağlı dondurma üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 106 s.
- Akubor, P. I. (1998). Physico-chemical and sensory characteristics of melon seed milk. *Journal of food science and technology (Mysore)*, 35(1), 93-95.
- Alasalvar, C., Amaral, J. S., Satır, G., Shahidi, F. (2009). Lipid characteristics and essential minerals of native Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *Food Chemistry*, 113, 919-925.
- Antonic, B., Zemancova, J., Dordevic, D., & Tremlova, B. (2021). Melon seed milk: production and storage stability. *Sborník příspěvků*, 11.
- Apan, M. A., & Zorba, M. (2018). Improvement of quality and shelf-life of Sübye, a traditional beverage of Turkey. *Food Science and Technology*, 38, 719-725.
- Arda, H., Helvacıoğlu, İ. A., Meriç, Ç., & Tokath, C. (2015). İpsala İlçesi (Edirne) toprak ve piriç kalitesinin bazı esansiyel ve toksik element birikimleri açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(1), 07-13.
- Arslan, S. (2018). Peanut milk production by the microfluidization, physicochemical, textural and rheological properties of peanut milk products; yoghurt and kefir. Master of Science in Food Engineering Department, Middle East Technical University, 142 s.
- Asav, Ü., & Serim, A. T. (2019). Ankara ili ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ekiliş alanlarında bulunan yabancı otların tespiti. *Bitki Koruma Bülteni*, 59(4), 29-34.
- Astolfi, M. L., Marconi, E., Protano, C., & Canepari, S. (2020). Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control*, 116, 107327.
- Atakan, E., Pehlivan, S., & Kaya, C. (2017). Adana ili susam (*Sesamum indicum* L.) üretim alanlarında bulunan zararlı ve faydalı türlerin araştırılması. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 7(2), 157-166.

- Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975.
- Bansal, S., Mangal, M., Sharma, S. K., Yadav, D. N., Gupta, R. K. (2016). Optimization of process conditions for developing yoghurt like probiotic product from peanut. *LWT-Food Science and Technology*, 73, 6-12.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Borisova, A., Zokaityte, E., Lele, V., Starkute, V., Zavistanaviciute, P., Klupsaite, D., Zadeike, D., & Juodeikiene, G. (2021). The quality of wheat bread with ultrasonicated and fermented by-products from plant drinks production. *Frontiers in microbiology*, 12, 652548.
- Bastioğlu, A. Z., Tomruk, D., Koç, M., Ertekin, F. K. (2016). Spray dried melon seed milk powder: physical, rheological and sensory properties. *Journal of food science and technology*, 53(5), 2396-2404.
- Battistini, C., Gullón, B., Ichimura, E. S., Gomes, A. M. P., Ribeiro, E. P., Kunigk, L., ... & Jurkiewicz, C. (2018). Development and characterization of an innovative synbiotic fermented beverage based on vegetable soybean. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 303-309.
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2015a). Development of a non-dairy probiotic fermented product based on almond milk and inulin. *Food Science and Technology International*, 21(6), 440-453.
- Bernat, N., Chafer, M., Chiralt, A., & Martinez, C. G. (2014). Hazelnut milk fermentation using probiotic *Lactobacillus rhamnosus* and inulin. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2553-2562.
- Bernat, N., Chafer, M., Rodriguez-Garcia, J., Chiralt, A., & Gonzalez-Martinez, C. (2015b). Effect of high pressure homogenisation and heat treatment on physical properties and stability of almond and hazelnut milks. *Food Science and Technology*. 62, 488-496.
- Bocker, R., & Silva, E. K. (2022). Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5, 100098.

- Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E., Prandi, B. (2018). Current trends in ancient grains based foodstuffs: insights into nutritional aspects and technological applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17(1): 123-36.
- Ceylan, M. M. (2013). Badem sütü ve üretimi ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 61 s.
- Chalupa-Krebzdak, S., Long, C. J., Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87, 84-92.
- Chavan, M., Gat, Y., Harmalkar, M., Waghmare, R. (2018). Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. *LWT-Food Sci. Technol.*, 91: 339-344.
- Chou, C. C., & Hou, J. W. (2000). Growth of bifidobacteria in soymilk and their survival in the fermented soymilk drink during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 56 (2-3), 113-121.
- Collard, K. M., & McCormick, D. P. (2021). A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), 1067-1069.
- Cui, X. H., Chen, S. J., Wang, Y., Han, J. R. (2013). Fermentation conditions of walnut milk beverage inoculated with kefir grains. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 349-352.
- Çelik, S. K. (2019). Fındık sütünün C vitamince zengin meyve pulpları ile zenginleştirilmesi, bileşimi ve raf ömrü üzerine araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, 121 s.
- Çetiner, M., & Bilek, S. E. (2018). Bitkisel protein kaynakları. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(2), 111-126.
- da Rosa, F. C., Nunes, M. A. G., Duarte, F. A., de Moraes Flores, É. M., Hanzel, F. B., Vaz, A. S., ... & Dressler, V. L. (2019). Arsenic speciation analysis in rice milk using LC-ICP-MS. *Food Chemistry X*, 2, 100028.
- da Silva Fernandes, M., Sanches Lima, F., Rodrigues, D., Handa, C., Guelfi, M., Garcia, S., Ida, E. L. (2017). Evaluation of the isoflavone and total phenolic contents of kefir-fermented soymilk storage and after the *in vitro* digestive system simulation. *Food Chemistry*, 229, 373-380.

- Dhakal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., & Balasubramaniam, V., (2014). Effect of high pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Res Int*, 62, 215-222.
- Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007). α -Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chemistry*, 104(1), 10-20.
- El-Sattar, A., Ghafar, N. A., & Ramadan, M. F. (2021). Production of functional ice milk supplemented with watermelon seeds embryonic leaves powder. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 12(1), 11-16.
- Erden, Z., Erman, M., Ölmez, M., & Çöçen, E. (2021). Bazı nohut çeşitlerinin Siirt ili ekolojik koşullarındaki adaptasyonunun belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 10(1), 65-72.
- Erk, G. (2021). Farklı bitkisel içecekler ile vegan peynir benzeri ürün üretimi ve ürünlerinin vitro sindirim sonrası antioksidan aktivite ve probiyotik bakteri biyoerişebilirliğinin belirlenmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi*, 140 s.
- Erk, G., Seven, A. Akpınar, A. (2019). Vegan ve vejetaryan beslenmede probiyotik bitkisel bazı süt ürünlerinin yeri. *Gıda*, 44(3), 453-462.
- Erol, H. (2020). Badem sütünden ballı ve muzlu kefir üretimi. *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi*, 66 s.
- Ersan, L. Y., & Topçuoğlu, E. (2019). Badem sütü ile zenginleştirilmiş probiyotik yoğurtların mikrobiyolojik ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(2), 321-339.
- Ersöz, N. B. (2012). Pirinç sütü ile düşük kalorili dondurma üretimi. *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi*, 220 s.
- Esfahlan, A. J., Jamei, R., & Esfahlan, R. J. (2010). The importance of almond (*Prunus amygdalus* L.) and its by-products. *Food chemistry*, 120(2), 349-360.
- Gidemen, M. (2021). Ceviz (*Juglans regia* L.) sütünün çeşitli kanser hücreleri üzerindeki sitotoksik etkinliğinin antimikrobiyal, antioksidan ve prebiyotik aktivite ile birlikte değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi*, 133 s.
- Giri, S. K., & Mangaraj, S. (2012). Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder. *Food Engineering Reviews*, 4(3), 149-164.

- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Compr. Rev. Food Sci. Food Saf., 14(4):431-45.
- Gram, S. (2021). Ultrases ve homojenizasyon işlemlerinin kenevir sütünün fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 96 s.
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 41, 411-420.
- Haas, R., Schnepps, A., Pichler, A., Meixner, O. (2019). Cow milk versus plant-based milk substitutes: A comparison of product image and motivational structure of consumption. Sustainability, 11(18), 5046.
- Han, H. (2012). Altın çilek (*Physalis peruviana*) ve keten (*Linum usitatissimum*) tohumunun antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi ve fenolik içeriklerinin aydınlatılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 133 s.
- Hou, J. W., Yu, R. C., & Chou, C. C. (2000). Changes in some components of soymilk during fermentation with bifidobacteria. Food Research International, 33(5), 393-397.
- Isanga, J. I., & Zhang, G-N. (2007). Preliminary investigation of the production and characterization of peanut milk based stirred yoghurt. International Journal of Dairy Science, 2(3), 207-216.
- Isanga, J., & Zhang, G. (2008). Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt. Food Science and Technology, 42, 1132-1138.
- İlkay, H.Ö., 2020. Kinoa'nın (*Chenopodium quinoa* willd.) kafeterya diyetiyle beslenen ratlarda glikoz homeostazına etkisi. Hacettepe Üniversitesi, 201 s.
- Jacob, A. G., Etong, D. I., Tijjani, A. (2015). Proximate, mineral and antinutritional compositions of melon (*Citrullus lanatus*) seeds. British Journal of Research, 2(5), 142-151.
- Jayarathna, B. G. S., Jayawardana, B. C., Vidanarachchi, J. K., Liyanage, R. (2014). Development of probiotic vegan yoghurt. Proceedings of the Peradeniya Univ. International Research Sessions Sri Lanka, 18: 225

- Ju, Z. Y., Hettiarachchy, N. S., & Rath, N. (2001). Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins. *Journal of Food Science*, 66(2), 229-232.
- Karaosmanoğlu, H., Üstün, N. Ş. (2017). Organik ve konvansiyonel fındıkların (*Corylus avellana* L.) bazı fiziksel özellikleri. *Akademik Gıda*, 15(4), 377-385.
- Karımıdastjerd, A., Konuskan, Z. G. (2021). Health benefits of plant-based milks as alternatives to conventional milk. *Health & Science*, Efe Academy Publishing, First Edition, 302 p.
- Karımıdastjerd, A. (2020). Production of a caseinomacropeptide concentrate from sweet whey and usage in a milk-like drink. *İstanbul Technical University*, 116 p.
- Karlı, A. A. (2021). Kabak ve kavun çekirdeği bitkisel sütünün gastronomi alanında kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziantep Üniversitesi, 64 s.
- Kishor, K., David, J., Tiwari, S., Singh, A., Rai, B. S. (2017). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum*) milk. *International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 1941-1944.
- Kittibunchakul, S., Yuthaworawit, N., Whanmek, K., Suttisansanee, U., & Santivarangkna, C. (2021). Health beneficial properties of a novel plant-based probiotic drink produced by fermentation of brown rice milk with GABA-producing *Lactobacillus pentosus* isolated from Thai pickled weed. *Journal of Functional Foods*, 86, 104710.
- Kundu, P., Dhankhar, J., & Sharma, A. (2018). Development of non dairy milk alternative using soymilk and almond Milk. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 06(1), 203-210.
- Laaksonen, O., Kahala, M., Marsol-Vall, A., Blasco, L., Järvenpää, E., Rosenvall, S., ... & Yang, B. (2021). Impact of lactic acid fermentation on sensory and chemical quality of dairy analogues prepared from lupine (*Lupinus angustifolius* L.) seeds. *Food Chemistry*, 346, 128852.
- Lu, X., Su, H., Guo, J., Tu, J., Lei, Y., Zeng, S., Chen, Y., Miao, S., & Zheng, B. (2019). Rheological properties and structural features of coconut milk emulsions stabilized with maize kernels and starch. *Food Hydrocolloids*, 96, 385-395.

- Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., & Shahraki, M. H. (2016). Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 828-829.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., Arendt, E.K. (2016). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339-349.
- Maleki, N., Khodaiyan, F., & Mousavi, M. (2015). Antioxidant activity of fermented hazelnut milk. *Food Science Biotechnology*, 24 (1), 107-115.
- Mayasari, E., Meme, M., & Priyono, S. (2021). Study of formulation of soybean (*Glycine max* L.) milk and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* Poir) crude extract in the making of non-dairy ice cream. *International Journal of Advance Tropical Food*, 3(1), 16-22.
- Nardi, J., Moras, P. B., Koeppe, C., Dallegrove, E., Leal, M. B., & Rossato-Grando, L. G. (2017). Prepubertal subchronic exposure to soy milk and glyphosate leads to endocrine disruption. *Food and Chemical Toxicology*, 100, 247-252.
- Nilüfer, D., & Boyacıoğlu, D. (2008). Soya ve Soya Ürünlerinin Fonksiyonel Gıda Bileşenleri. *Gıda*, 33(5), 241-250.
- Oduro, A. F., Saalia, F. K., & Adjei, M. Y. B. (2021a). Using Relative Preference mapping (RPM) to identify innovative flavours for 3-blend plant-based milk alternatives in different test locations. *Food Quality and Preference*, 93, 104271.
- Oduro, A. F., Saalia, F. K., & Adjei, M. Y. B. (2021b). Sensory Acceptability and Proximate Composition of 3-Blend Plant-Based Dairy Alternatives. *Foods*, 10(3), 482.
- Öztürk, S. (2021). Antep fıstığında pestisit kalıntılarının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi*, 52 s.
- Padma, E. M., Rao, P. J., Edukondalu, L., Aparna, K., & Babu, G. R. (2019). Storage studies of probiotic rice milk during refrigerated conditions. *IJCS*, 7(6), 1114-1117.
- Park, Y. W. (2021). The impact of plant-based non-dairy alternative milk on the dairy industry. *Food Science of Animal Resources*, 41(1), 8.

- Patil, U., & Benjakul, S. (2018). Coconut milk and coconut oil: their manufacture associated with protein functionality. *Journal of Food Science*, 83(8), 2019-2027.
- Penha, C. B., Santos, V. D. P., Speranza, P., & Kurozawa, L. E. (2021). Plant-based beverages: Ecofriendly technologies in the production process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, 102760.
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, M. K. (2020). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications-A review. *International journal of biological macromolecules*, 154, 493-498.
- Röös, E., Patel, M., & Spångberg, J. (2016). Producing oat drink or cow's milk on a Swedish farm-Environmental impacts considering the service of grazing, the opportunity cost of land and the demand for beef and protein. *Agricultural Systems*, 142, 23-32.
- Quasem, J. M., Mazahreh, A. S., & Abu-Alruz, K. (2009). Development of vegetable based milk from decorticated sesame (*Sesamum indicum*). *American Journal of Applied Sciences*, 6(5), 888.
- Rai, S. R., Pachisia, J., & Singh, S. (2018). A Study on the Acceptability of Plant-Based Milk and Curd among the Lactose Intolerant People Residing in Kolkata. *International Journal of Health Sciences and Research*, 8, 38-43.
- Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A. C., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., & López-Malo, A. (2021). Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics. *Food Reviews International*, 1-32.
- Rincon, L., Botelho, R. B. A., & de Alencar, E. R. (2020). Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT*, 128, 109479.
- Russell, K., & Delahunty, C. (2004). The effect of viscosity and volume on pleasantness and satiating power of rice milk. *Food Quality and Preference*, 15(7-8), 743-750.
- Salas-Salvadó, J., Casas-Agustench, P., & Salas-Huetos, A. (2011). Cultural and historical aspects of Mediterranean nuts with emphasis on their attributed healthy and nutritional properties. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 21, 1-6.

- Sezgin, A. C., Sanlier, N. (2019). A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Trends in Food Science & Technology, 86, 51-58.
- Sezgin, S. B. (2021). Çeşitli bitkisel sütlerin mikrobiyal ve duyuşal özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 90 s.
- Silva, A. R., Silva, M. M., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. Food Research International, 131, 108972.
- Sözbir, H. D. (2021). Isabella üzüm (*Vitis labrusca* L.) suyu ile zenginleştirilmiş probiyotik yulaf sütü içeceği üretimi ve depolama süresince probiyotik bakterilerin canlılığının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 313 s.
- Tangsuphoom, N., & Coupland, J.N. (2005). Effect of Heating and Homogenization on the Stability of Coconut Milk Emulsions. Journal of Food Science, 70(8), 466-470.
- Taşdemir, Y. (2020). Fenilketonürlü hastalar için fenilalanin içeriği azaltılmış soya sütü üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 85 s.
- Tsai, M. J., Cheng, M. C., Chen, B. Y., Wang, C. Y. (2018). Effect of high-pressure processing on immunoreactivity, microbial and physicochemical properties of hazelnut milk. International Journal of Food Science & Technology, 53(7), 1672-1680.
- Uzuner, A. E. (2012). Probiyotik yoğurt üretiminde pirinç sütü kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 99 s.
- Vaikma, H., Kaleda, A., Rosend, J., & Rosenvall, S. (2021). Market mapping of plant-based milk alternatives by using sensory (RATA) and GC analysis. Future Foods, 100049.
- Yanni, A. E., Mitropoulou, G., Prapa, I., Agrogiannis, G., Kostomitsopoulos, N., Bezirtzoglou, E., ... & Karathanos, V. T. (2020). Functional modulation of gut microbiota in diabetic rats following dietary intervention with pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). Metabolism Open, 7, 100040.
- Wang, S. C., Chen, S. Y., Chang, C. K., Chiu, C. K., & Duh, P. D. (2018). Antihypertensive activity of sesame residue-enriched soy milk fermented by lactic acid bacteria. New Biotechnology, 44, S30.

- Wang, J., Li, Y., Li, A., Liu, R. H., Gao, X., Li, D., ... & Xue, Z. (2021). Nutritional constituent and health benefits of Chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *Food Research International*, 150, 110790.
- Weidner, C., Krempf, M., Bard, J. M., Cazaubiel, M., & Bell, D. (2008). Cholesterol lowering effect of a soy drink enriched with plant sterols in a French population with moderate hypercholesterolemia. *Lipids in health and disease*, 7(1), 1-8.
- Xia, X., Dai, Y., Wu, H., Liu, X., Wang, Y., Yin, L., ... & Zhou, J. (2019). Kombucha fermentation enhances the health-promoting properties of soymilk beverage. *Journal of Functional Foods*, 62, 103549.
- Zheng, B., Zhou, H., & McClements, D. J. (2021). Nutraceutical-fortified plant-based milk analogs: Bioaccessibility of curcumin-loaded almond, cashew, coconut, and oat milks. *LWT*, 147, 111517.
- Zhou, H., Liu, J., Dai, T., Mundo, J. L. M., Tan, Y., Bai, L., & McClements, D. J. (2021). The gastrointestinal fate of inorganic and organic nanoparticles in vitamin D-fortified plant-based milks. *Food Hydrocolloids*, 112, 106310.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 19



**Bazı Renklendirici Maddelerin Temel Bileşen Regresyonu
(PCR) Yöntemi ile Spektrofotometrik Olarak Tayin
Edilmesi
(A. Hakan Aktaş)**

Bazı Renklendirici Maddelerin Temel Bileşen Regresyonu (PCR) Yöntemi ile Spektrofotometrik Olarak Tayin Edilmesi

A. Hakan Aktaş

*Süleyman Demirel Üniversitesi,
Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Isparta-Türkiye,
Email: hakanaktas@sdu.edu.tr*

1. Giriş

Kozmetikler saç, tırnak, deri gibi vücut organlarının doğal görüntüsünü değiştirerek insanları doğal olarak güzelleştirmek için kullanılan malzemelerin tümüne verilen genel bir isimdir. Bunlar çok geniş kullanım alanına sahip olarak insanların büyük bir kısmında günlük olarak tüketime sahip olan tüketim ürünleri olarak karşımıza gelmektedir. Örneğin insan derisinin günlük hijyeninde sıklıkla başvurulanan temizlik malzemeleri örneğin sabunlar ve şampuanlar vb. yine sıklıkla kullanılan güzellik malzemeleri, yine günlük tüketimde kullanılan deodorant ve parfümler ve ilave olarak özellikle kadınların saçlarına renk vermek için kullanılan boyalar çeşitli şekillerde uygulanarak kullanılmaktadırlar.

Arkeoloji biliminden elde edilen verilere göre, ilk insanlardan itibaren insanların doğada renk verici pigmentleri nasıl hazırladıklarını buna ilave olarak bunları yağimsı maddeler ile karışım hazırlayarak yaşadıkları mekanları renklendirmek ve vücudun süslenmesi için kullanılan çeşitli kimyasalları üretmeyi yapabildiklerini görebiliyoruz. Tarih öncesi pigmentlerin yapılan analizleri sonucu on yedi birbirinden değişik renklerin kullanılmış olduğu bilinmektedir. Bunlardan en fazla kullanılanları beyaz, siyah, kırmızı, turuncu ve yeşil renkler olduğu bilinmektedir.

Gıda, kozmetik, ilaç, tekstil ve kimya gibi çeşitli sektörler dikkate alındığında bütün sektörlerin ihtiyacını karşılamak amacı ile birden fazla renk maddesinin kendi ihtiyaçlarına göre kullanılabildiği bilinmektedir. Buna ilave olarak kullanılan renk maddelerinin kimyasal formülleri, elde edilişi, kullanma ihtiyaçları gibi birçok kimyasal ve fiziksel parametreler ile birbirlerinden ayırt edilmektedir.

Kozmetik sanayiinde kullanılan çok fazla sayıda yapay ve bitkisel kaynaklı ve yardımcı maddelerin bulunmakta olduğu bilinmektedir. Özellikle bunlara renk ve koku içerenler, koruyucular, antioksidanlar ve yüzey aktif maddeler örnek olarak verilebilir. Bu maddelerin kozmetik yönetmeliğinde

kullanılmasına müsaade edilen yapılar olmakla birlikte bazı zararlı maddelerinde bulunabildiği göz önüne tutulmaktadır. Kullanılması uygun olmayan maddeler özellikle insan vücudunda toksik etki gösteren yan ürünler olabildiği ve bunların kullanımına kısıtlama getirildiği herkes tarafından bilinen bir önlemdir. Kullanımına izin verilen boyaların Kozmetik Kanunu'nda bilinen boyalar olması istenen bir durumdur.

Türkiye' de üretimlerde kullanılması uygun görülen renk maddeleri şöyledir. Kinolin Sarısı (E-104), İndigotin (E-132), Ponceau 4R (E-124), Güneş sarısı (E-110) Tartrazin (E-102), Amaranth (E-123), Eritrosin (E-127), Karmosin (E-122), ve Riboflavin (E-101). Bunlardan İndigotin'in (E-132) ve Kinolin Sarısı'nın (E-104) özellikle ruj ve göz parlaticılarında kullanıldığı bilinmektedir.

Literatüre bakıldığında renk maddeleri için çeşitli yöntemlerle tayin metotları görülmektedir. Bu yöntemler; LC-MS (Guerra vd. 2015, Xian vd. 2013), GC-MS (Lompert vd. 2013), HPLC (Rastogi vd. 1997, Wu vd. 1999, Yoshioka vd 2008), UV-Vis Spektrofotometri (Özgür ve Koyuncu 2002), Voltametri (Wang ve Huang 2009) olarak tespit edilmiştir. Çalışmamıza benzer bir kemometrik çalışmaya rastlanmamıştır.

Sunulan bu araştırmada kozmetikte renklendirici madde olarak kullanılmasına izin verilen İndigotin (E-132) ve Kinolin Sarısı'nın (E-104) bir arada tayinlerinin UV-Vis spektroskopi metoduyla tayinleri yapıp, spektrofotometreden elde edilen sayısal değerlerin güçlü bir kemometrik yöntem olan PCR yöntemi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

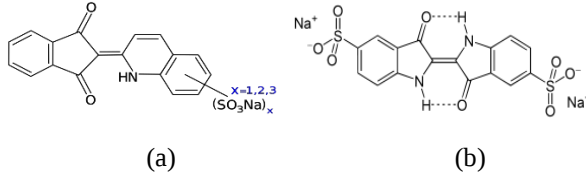
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar

Kinolin sarısı (E-104) kimyasal formülü $C_{18}H_{13}NO_{5/8/11}S_{1/2/3}Na_{1/2/3}$ olarak bilinen bir yapıdır. Avrupa'da bazı ülkeler yiyeceklere yeşilimsi sarı renk vermek için kullanıldığı ve yine bazı Avrupa ülkelerinde özellikle yeme içme sektöründe renklendirici olarak kullanıldığı bazı ülkelerde ise yiyeceklerde kullanımı yasaklanmış, tıp ve kozmetik sanayiinde kullanımı serbest bırakılmıştır (Vikipedia, 2015). Kinolin sarısı kozmetik sanayiinde saç bakım ürünleri, ruj ve ferahlatıcı madde üretiminde kullanılır (Gıda raporu, 2003). Şekil 1.a' da Kinolin sarısının kimyasal formülü gösterilmiştir.

İndigotin (E-132) kimyasal formülü $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$ olan ve bir diğer ismi indigokarmin olarak da bilinen bir maddedir. Dünyanın çeşitli kıtalarında gıda renklendiricisi olarak kullanılmakta olduğu bilinmektedir. İndigotin'in, solunum yolları için zararlı olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda yüz bölgesi için tahriş edicidir. Kozmetik ve kişisel bakım

ürünlerinde kullanıldığı Gıda raporu tarafından ifade edilmiştir. Şekil 1.b' de İndigotinin kimyasal formülü gösterilmiştir.



Şekil 1a.b. Kinolin sarısı ve İndigotin'in kimyasal formülleri

2.2. Yöntem

Çalışmamızda, UV 1700 Pharmaspec Shimadzu spektrofotometri cihazı kullanılarak, spektrofotometrik çalışma ile makyaj ürününde bulunan renklendirici yapıların spektrumları okunmuş, bu aşamada önce bireysel takiben de farklı karışımlar hazırlanarak sentetik yapıların analizleri yapılmış ve en son aşamada da ticari makyaj malzemesinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, PCA yöntemi ile değerlendirilmeye çalışılmıştır.

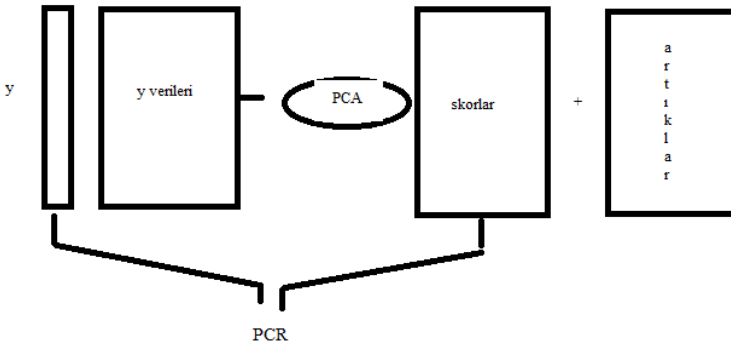
2.3. Ticari numune

Piyasadan elde edilen ruj malzemesi uygun şartlar altında önce rendelenmiş ve buradan 0,1 gram içeren bir kısım çalışmada çözücü olarak kullandığımız toluen'de çözülmüştür. Çözülen kısmın homojenlik göstermesi amacıyla yaklaşık 30 dakika manyetik karıştırıcı da karıştırılmış ve hacmi 50 mL' ye tamamlanmıştır.

2.4. Temel Bileşen Regresyonu (PCR)

Temel bileşen regresyonu (PCR), kemometride en yaygın kullanılan çok değişkenli kalibrasyon tekniklerinden biridir (Kenneth, 1998).

İlk adımda, ana bileşenler hesaplanır. En önemli temel bileşenlerin puanları, hedef veri y ile çoklu doğrusal regresyonun temeli olarak kullanılır. PCR'nin temel prensipleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. PCR'nin prensipleri

PCR'deki en önemli nokta, dahil edilecek özvektörlerin doğru seçilmesidir.

Özdeğerlerin bir grafiği genellikle "en iyi" özvektör sayısını gösterir. Analitlerin derişimlerinde elde edilen orijinal veriler doğrusal adi regresyon ile yeniden işlenerek (Palabıyık vd. 2004) sonuçlar hesaplanmıştır.

3. Bulgular

3.1. PCR yönteminin validasyonu

Çalışılan PCR yöntemini doğrulamak amacı ile İndigotin'in 0,2-0,8 µg/mL Kinolin için ise 4-10 µg/mL çalışma aralığı içinde olacak şekilde farklı konsantrasyonlarda 8 adet yapay karışım çözeltisi olan bir dizi hazırlanmış ve hazırlanan bu validasyon seti kullanılarak hazırlanan PCR kalibrasyonun kesinlik ve doğruluk çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Geri kazanım (GK); Kinolin için %99,98 ve İndigotin için %100,63; standart sapma ise Kinolin için 0,162 İndigotin için ise 0,939 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Kinolin ve İndigotin sentetik karışımlarına PCR yönteminin uygulanması ve geri kazanım değerleri

Karışım (µg/mL)		Bulunan (µg/mL)		Geri kazanım (%)	
İndigotin	Kinolin	İndigotin	Kinolin	İndigotin	Kinolin
0,2	4,0	0,202	4,004	101,00	100,10
0,4	6,0	0,401	6,012	100,25	100,20
0,6	8,0	0,608	7,988	101,33	99,85
0,8	10,0	0,804	10,002	100,50	100,02
0,5	4,0	0,512	3,986	102,40	99,65
0,5	6,0	0,498	6,002	99,60	100,03
0,5	8,0	0,496	8,008	99,20	100,10
0,5	10,0	0,504	9,992	100,80	99,92
			Ortalama	100,63	99,98
			Standart sapma	0,939	0,162

3.2. Uygulanan yöntem için ANOVA çalışmaları

Bir istatistiksel çalışmada uygulanan yöntemin doğruluk ve kesinliğini göstermek için sonuçlara ANOVA testinin kabul gören davranıştır. Buna göre gruplar arası serbestlik derecesi=1, grup içi serbestlik derecesi=14, %95 güven aralığında F-tablo değeri 4,60 olmasına karşılık Kinolin için hesaplanan F-test değeri $1,35 \cdot 10^{-3}$ ve p-değeri 0,97 ve İndigotin için ise hesaplanan F-test değeri $3,94 \cdot 10^{-7}$ ve p-değeri 0,99 olarak ANOVA testinden elde edilmiştir..

ANOVA testinde $F_{\text{hesaplanan}} < F_{\text{tablo}}$ ve $p\text{-değeri} > p=0,05$ olduğu için % 95 güven aralığında elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir fark olmadığı kabul edilir ve bu çalışmada da bu kanıtlanmıştır. Gene varyans analizinde iki serbestlik derecesi kullanılması gerektiği bilinmektedir. Gruplar arası serbestlik derecesi=1 Grup içi serbestlik derecesi=14. $F_{\text{hesaplanan}} < F_{\text{tablo}}$ ve $p\text{-değeri} > p=0,05$ olduğu için uygulanan modelin ticari numunenin analizinde uygulama yapabileceğimizi bize göstermiştir.

3.3. PCR yönteminin ticari örneğe uygulanması

Bölüm 2.3 de anlatıldığı gibi ticari ruj numunesine PCR yöntemi başarılı bir şekilde uygulanarak Tablo 2’de verilen sonuçlara ulaşıldı.

Tablo 2: Ticari örneğe PCR yöntemin uygulanması

Deney no	Kinolin	İndigotin
1	0,0584	0,0052
2	0,0602	0,0064
3	0,0566	0,0050
4	0,0612	0,0048
5	0,0594	0,0054
Ortalama	0,0591	0,0053

4. Tartışma ve Sonuç

İnsanlığın var olduğu günlerden itibaren özellikle kadınlar kendilerini daha iyi hissetmek ve güzelleşmek amacıyla sıkça kozmetik ürünleri kullandıkları bilinen bir gerçektir. Bu kozmetik ürünlerden çok sık kullanılanlardan biri de tartışmasız rujlardır. Rujların imalatında sıklıkla tercih edilen renk verici boyalarda etken olduğu ve bu maddelerin ise vücuda tavsiye edilen daha az alındığında bünyede negatif bir etki göstermezken tavsiye edilenden daha fazla maruz kalınması halinde bünyeye zarar veren maddeler olduğu da bilinmektedir. Bu nedenlerden dolayı renklendirici analizlerinde etken madde analizinin hayatımızda önemli yer tuttuğu yadsınamaz bir gerçektir. Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında analizlerde genel olarak enstrümantal yöntemler (örneğin kromatografi) kullanılmasına karşılık, bunların oldukça pahalı metotlar olduğu ve gereksiz ön ayırma işlemlerinin fazla olması anılan metotların kullanımına sınırlama getirmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen yöntemin tekrarlanabilir olması duyarlı ve doğru sonuçlar elde edildiği çalışmadan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen bu yöntemin Kinolin ve İndigotin içeren makyaj malzemelerinin ARGE çalışmalarında rahatlıkla uygulanabileceğini bize göstermiştir.

5. Kaynaklar

Anonim, 2003. Gıda maddelerinde kullanılan renklendiriciler. Erişim tarihi: 08.02.2022. <http://www.gidaraporu.com>.

Guerra, E., Celeiro, M., Lamas, J., Lompart, M., & Jares, C. (2015). Determination of dyes in cosmetics products by micro-matrix solid phase dispersion and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography*, 1415, 27-37.

Kenneth, R.B. (1998). *Chemometrics, A practical guide*, p:278. Wiley-Interscience Press.

- Lompart, M., Celerio, M., Lamas, P., Prado, S., Lores, M., & Jares, C. (2013). Analysis of plasticizers and synthetic musks in cosmetic and personal care products by matrix-solid phase dispersion gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, 1293, 10-19.
- Özgür, M., & Koyuncu, İ. (2002). Simultaneous determination of quinoline yellow (E-104) and sunset yellow (E-110) in syrups and tablets by second derivative spectrophotometry. *Turkish Journal of Chemistry*, 26, 501-508.
- Palabıyık, Y.M., Dinç, E., & Onur, F. (2004). Simultaneous Spectrophotometric Determination of Pseudoephedrine Hydrochloride and Ibuprofen in a Pharmaceutical Preparation Using Ratio Spectra Derivative Spectrophotometry and Multivariate Calibration Technique. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 34(3), 473-483.
- Rastogi, S.C., Barwick, V.J., & Carter, S.V. (1997). Identification of organic colorants in cosmetics by HPLC-diode array detection. *Chromatographia*, 45, 215-225.
- Wang, L.H., & Huang, S.J. (2009). Studies on the voltammetric behaviour of azo dyes and its determination in cosmetic products. *Russian Journal of Electrochemistry*, 46, 1414-1418.
- Wikipedia, 2022. Quinoline yellow WS. Erişim tarihi: 08.02.2022. <https://en.wikipedia.org>
- Wu, S.K., Wu, A.B., Huang, M.C., & Chen, C.Y. (1999). Identification of illegal coal tar dyes constituents in mucous cosmetics by HPLC method. *Journal of Food and Drug Analysis*, 7(2), 95-105.
- Xian, Y., Wu, Y., Guo, X., Luo, D., & Chen, Y. (2013). Simultaneous determination of 11 restricted dyes in cosmetics by ultra high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Analytical Methods*, 5, 1965-1974.
- Yoshioka, N., & Ichihashi, K. (2008). Determination of 40 synthetic food colors in drink and candies by high-performance liquid chromatography using a short column with photodiode array detection. *Talanta*, 74, 1408-1413.

Natural and Technology Sciences

CHAPTER 20



**Rubygem, Fortuna ve Sabrina Çeşitlerinin Sultanhisar
Koşullarına Adaptasyonlarının Bazı Meyve Kalite
Özellikleri Yönünden İncelenmesi
(Şebnem Nalan Akaroğlu, Sevtap Erbilek)**

Rubygem, Fortuna ve Sabrina Çeşitlerinin Sultanhisar Koşullarına Adaptasyonlarının Bazı Meyve Kalite Özellikleri Yönünden İncelenmesi

Şebnem Nalan Akaroğlu¹, Sevtap Erbilek²

¹*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi,*

Sultanhisar Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Programı,

E-mail:snakaroglu@adu.edu.tr

²*Sultanhisar İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü*

E-mail:sevtaperbilek@hotmail.com

1. Giriş

Sultanhisar ilçesi (Aydın) Ege bölgesinde 37° kuzey enlemi ve 28° doğu boylamında yer alan, rakımı 73 m olan mikroklima özelliğine sahip bir ilçemizdir. Akdeniz iklimi hüküm süren bu ilçemiz çilek yetiştiriciliğine çok uygundur. İlçe ekonomisi tarıma dayalı olup, ova kesiminde narenciye, şeftali, çilek yetiştiriciliği yaygın olarak yapılmakta, dağlık kesiminde zeytin, incir, üzüm, ceviz ve kestane yetiştiriciliği yapılmaktadır. 1970 yıllara kadar ekonomik olarak narenciye ve incir yetiştiriciliğini tercih eden ilçe üreticileri narenciye ve incire alternatif bir ürün olarak küçük aile işletmeciliğine de uygun olan çilek yetiştiriciliğine başlamışlardır. İlçede çilek üretimine başlanmasında Kaşka ve arkadaşlarının 1972-1973 yıllarında yapmış oldukları bilimsel araştırmanın önemli rolü olmuştur.

Niyaz ve Demirbaş (2011) meyve yetiştiriciliğinde katma değeri yüksek ürünlerin ülke ekonomilerine önemli katkılar yaptığını ve bu katkılarının da yetiştiricilik yapılan yöreye yansdığını bildirmişlerdir.

Bugün çilek, Sultanhisar İlçesinde kısa zamanda birim alandan fazla gelir getiren ve ihracat edilen ürün olması nedeniyle ekonomik değer kazanmıştır. Türkiye, çilek üretimi için oldukça elverişli bir ekolojiye sahip olması nedeniyle yıllara göre çilek üretiminde sürekli bir artış görülmektedir. 2016 yılında Türkiye genelinde çilek üretimi 154 308 dekar alanda 415150 ton olarak gerçekleşmiştir. Aydın ilinde ise 59973 ton çilek üretilmiştir. Aydın'da çilek üretiminin yaklaşık % 50 si Sultanhisar ilçesinde (28 697 ton), geriye kalan kısmı ise Nazilli, Köşk ve İncirliova ilçelerinde gerçekleşmektedir (TÜİK;2018).

Çilek yetiştiriciliğinde verimli ve kaliteli bir çilek üretimi için çeşit seçimi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde bugüne kadar çilek yetiştiriciliği ve çeşit seçimi üzerinde yapılan çok sayıda bilimsel çalışmalar sonucunda, birçok yerli ve yabancı çeşidin farklı ekolojik özelliğe sahip bölgelerde

başarıyla yetiştirilebileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte çilek diğer yaş sebze ve meyvelerle üretim tekniği ve hasat sonrası işlemleri karşılaştırıldığında, üretimi zahmetli, girdi maliyetleri yüksek, üretimden tüketicie çok hızlı ulaşması gereken, ihracatı riskli bir faaliyet kolu olarak görülmektedir. Ancak günümüzde yapılan çeşit denemeleri sayesinde yola dayanımı bakımından meyve eti sertlik değeri yüksek yeni çilek çeşitleri ıslah edildiği için meyve olarak önemli bir ihraç ürünü haline gelmiştir. Halen çilek Türkiye’de yaş meyve ihracatında miktar olarak önemli bir paya sahip olamamasına karşın, Sultanhisar İlçesi’nde önemli bir paya sahiptir.

Çilek yetiştiriciliği ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalarda ön plana çıkan kalite kriterlerden en önemlileri meyve eti sertliği ve meyve ağırlığıdır (Kaşka ve ark.,1973; Gündüz ve Özdemir, 2012; Önal, 2000; Özbahçalı ve Arslantaş, 2015; Gündüz ve Bayazit, 2017).

Sultanhisar ilçesinde en yaygın olarak yetiştirilen çeşit Rubygem çeşididir. Sultanhisar İlçesinde günümüzde halen yetiştiriciliği tercih edilen çeşitlerin genel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. *Fragaria x ananassa* türü içerisinde yer alan bazı çilek çeşitlerinin fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri

Çeşit	Verim (g/bitki)	Meyve Ağırlığı	Meyve Rengi	Meyve Eti Sertliği	TSEM	Asitlik	Meyve şekli	Gün uzunluğuna duyarlılığı
Fortuna	1047	22.4	Kırmızı	0,44	6.8	0.81	Konik	Kısa gün
Rubygem	948	19	Kırmızı	Orta sert	9.1	0.60	Konik	Kısa gün
Sabrina	1612	25	Kırmızı	1.40	6.9	0,75	Konik	Kısa gün
Festival	928	20.6	Kırmızı	0,36	7.8	0.84	Konik	Kısa gün
Camarosa	1230	24	Kırmızı	1.20	7.6	0,94	Konik	Kısa gün
Sweet Charlie	788	13.4	Kırmızı	0,76	8.7	0.58	Konik	Kısa gün

Kaynak: <https://www.uspto.gov/patents>

Kaşka ve ark., (1973) Türkiye’nin değişik bölgelerinde (Adana, Antalya, Dalaman, Sultanhisar, Yalova ve Anakara) bazı yerli ve yabancı çilek çeşitleriyle (Tiago, Aliso, Pocahantas, Cambridge 0422 ve Osmanlı) yaz ve kış dikim yöntemleri uygulayarak verim, kalite ve erkencilik üzerinde 2 yıl süren araştırmalar yapmışlardır. Sultanhisar ilçesini bir iklim adacığı özelliğine sahip olduğunu kışları oldukça ılık geçtiği için çilek yetiştiriciliği açısından orta erken yetiştiriciliğe uygun olduğunu bildirmişlerdir. Denemeye alınan bütün çeşitler, her iki yıldaki bütün dikim zamanlarında meyvelerini

Nisan ayından itibaren olgunlaştırmaya başlamışlardır. Pazarlanabilir derimler genellikle 19 Nisandan sonraki dönemde yapılmıştır. Çeşitler içinde Aliso en erkenci çeşit olup derimi Nisan ayının 1. ya da 2.haftasında başlamıştır. Verimler genellikle Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına dağılmıştır. Ancak gerek yaz ve gerekse kış dikimlerinin I.ürün yıllarında Nisan ayındaki ürün miktarları 2.ürün yıllarındakinden az olmuştur. Bu turfanda yetiştiricilik açısından üzerinde durulması gereken bir durumdur. Aliso çeşidi bu bakımından diğerlerine göre üstündür. Mayıs ayındaki verimler esas verimi oluşturmuştur. Meyve kalitesi bakımından ıskarta meyve oranı düşük olmuştur. Bu durum Sultanhisar çilek yetiştiriciliği için olumlu bir durumdur. Ekstra meyve miktarları bütün dikimlerde % 55 in üzerinde bulunmuştur. Pazarlanabilir meyve oranı başka bir deyimle ekstra ve 1.kalite meyve miktarları toplamı yüksektir. Yıllar bakımından ekstra ve 1.kalite meyve miktarları arasında önemli farklılıklar yoktur. Verimin kalite sınıflarına dağılımı bakımından Tiago çeşidinde ekstra meyve oranı diğer çeşitlere göre yüksektir. Genellikle bütün çeşitlerde pazarlanabilir meyve oranları çok yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Akçay ve Akaroğlu (2009)'nun Sultanhisar koşullarında yetiştirilmekte olan Camarosa çeşidine alternatif olabilecek yeni çeşitlerin adaptasyonunu araştırmak amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, yüksek tünel altında yaz dikim sistemi ile yetiştirilen Camarosa, Sweet Charlie ve Festival çeşitlerinin verim ve meyve özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucuna göre, Festival çilek çeşidinin bitki başına düşen verimi 2008 yılında 1037 g/bitki ve 2009 yılında 799 g/bitki değeri ile diğer iki çeşitten daha yüksek olmuştur. Sweet Charlie, Camarosa ve Festival çeşitlerinin sırasıyla meyve ağırlığı ortalama olarak 18,88 g/meyve, 19,48 g/meyve ve 21,20 g/meyve olarak saptanmıştır. Sweet Charlie, Camarosa ve Festival çeşitlerinin toplam suda erir kuru madde miktarı (TSEM) değerleri sırasıyla yüzde olarak 10, 9 ve 9 olarak belirlenmiştir. Meyve eti sertliği ortalama olarak en düşük 0.65 lb/meyve değeri ile Sweet Charlie çeşidinde ölçülürken, Camarosa çeşidinde 1.01 lb/meyve, Festival çeşidinde 1,02 lb/meyve olarak ölçülmüştür. Camarosa çeşidinin yanında Festival çeşidinin ümitvar bir çeşit olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Sultanhisar ilçesinde iyi tarım uygulaması yapılan 4 adet Rubygem, 4 adet Sabrina ve 4 adet Fortuna çilek bahçesi olmak üzere toplam 12 adet çilek bahçesinden meyveleri hasat elde edilen çilek çeşitlerinin Sultanhisar koşullarına adaptasyonunu bazı meyve kalite özellikleri açısından incelemektir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma 2018 yılında Aydın ili Sultanhisar İlçesinde iyi tarım uygulaması yapılan 4 adet Rubygem, 4 adet Sabrina ve 4 adet Fortuna çilek çeşidinin yetiştiriciliğinin yapıldığı toplam 12 adet çilek bahçesinden hasat edilen çilek meyvelerinde meyve eni, meyve boyu, meyve ağırlığı ve meyve eti sertliğini incelemek amacıyla yürütülmüştür

Araştırma alanlarının toprak örneği analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sultanhisar İlçesinde denemelerin kurulduğu bahçelerin toprak özellikleri

Bahçe No	pH	Tuzluluk	CaCO ₃	Organik madde	Bünye
1	7,68	0,67	2,95	1,94	Tınlı
2	7,6	0,7	3,68	2,08	Tınlı
3	7,64	0,43	5,01	0,95	Tınlı
4	7,68	0,42	7,52	2,36	Tınlı
5	7,75	0,46	7,96	2,05	Tınlı
6	7,68	0,43	7,81	1,91	Tınlı
7	7,7	0,44	9,73	1,94	Killi-tınlı
8	7,66	0,47	3,54	2,23	Tınlı
9	7,58	0,96	1,16	0,31	Killi-tınlı
10	7,76	0,23	0,62	0,39	Killi-tınlı
11	7,62	0,51	1,62	1,23	Tınlı
12	7,77	0,48	4,57	1,76	Killi tınlı
Ortalama	7,68 Hafif alkali	0,52 Tuzsuz	4,68 Az kireçli	1,60 Düşük	% 67 si Tınlı

Araştırma yerleri Sultanhisar ilçesinin çilek yetiştiriciliğine uygun, verimli olan tarımsal potansiyeli yüksek arazileridir. Analiz sonuçlarına göre bahçelerin %67si tınlı yapıda iken, %33’ü killi-tınlı yapıdadır. pH değerleri hafif alkali karakterli, organik maddece fakir ve kireç içeriği bakımından düşük olan arazilerdir. Bu özellikleri ile çilek yetiştiriciliğine uygun topraklardır.

Sultanhisar ilçesinin 1970 yılından günümüze uzun yıllar ortalama iklim verileri ile ilgili değerler Tablo 3’ de verilmiştir. Mikroklima özelliği gösteren Sultanhisar ilçesinde aylara göre uzun yıllar (1972-2017) maksimum sıcaklık ortalamalarına açısından en düşük sıcaklık Ocak ayında 7,6 °C, en yüksek ise Ağustos ayında 37.1 °C olmuştur. Aylara göre ortalama minimum sıcaklık uzun yıllar ortalaması ise en düşük minimum sıcaklık Ocak ayında 3.7 °C, en yüksek minimum sıcaklık ağustos ayında 22.2 °C olmuştur. Uzun yıllar aylara göre toplam yağış miktarına bakıldığında en yüksek toplam yağış Ocak ayında 135.4 mm=kg/m2 olarak ölçülürken, en düşük toplam

yağış Temmuz ayında 1.4 mm=kg/m² olarak ölçülmüştür. Bu değerler çileğin istediği iklim istekleriyle örtüşmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Sultanhisar İlçesinin 1970-2017 yılları arası uzun yıllar ortalama iklim verileri

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Maksimum Ort. Sıcaklık (°C)	Minimum sıcaklık	Oransal Nem (%)	Yağış (mm=kg:m ²)
Ocak	7,6	12,7	3,7	75,3	135,4
Şubat	9,7	15,4	5	71,3	74,6
Mart	12,1	18,5	6,7	68,6	80,14
Nisan	16,3	23,8	9,5	62,8	48,1
Mayıs	20,8	28,3	14	59,8	40,4
Haziran	25,7	33,4	17,9	51,1	13,3
Temmuz	28,9	36,7	20,8	45,3	1,4
Ağustos	28,3	36,5	20,7	48,9	14,3
Eylül	24,0	32,6	16,5	53,8	9
Ekim	18,8	26,7	12,4	60,8	36,5
Kasım	13,4	20,3	8,1	70,6	70,5
Aralık	8,8	14,4	4,6	73,5	95,9

Kaynak: Devlet Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü Kayıtları, Aydın (Anonim a,2018)

2.1. Materyal

Rubygem ve Fortuna çilek çeşitleri Florida Üniveristesi araştırmacıları tarafından kısa gün bitkisi olarak ıslah edilmiştir.

Rubygem çilek çeşidinin çiçek sayısı bol, petallerinin dizilişi üst üste, çiçek tablası(kaliks) çiçek örtüsüne (korolla) göre daha büyük, meyveler orta ile büyük arasında, konik şekilli, parlak, iri, yüksek aromalı ve kırmızı renkte olup külleme hastalığına duyarlı ve antraknoza karşı dayanıklıdır (Akçay,2014).

Fortuna çilek çeşidinde çiçeklenmeye ve meyvenin olgunlaşmaya başlama zamanı açısından erkencidir. Meyvelerini uzun saplarda verdiği için dölleme ve meyve hasadı kolaydır. Meyveleri büyük, konik şekilli, meyve yüzeyi orta kırmızı renkte olup meyve kalitesi yüksek olduğu için ihracata yönelik bir çeşittir (Akçay,2014).

Sabrina çeşidi İspanya'da ıslah edilmiş kısa gün çeşididir. Meyveleri düzgün ve koni şekilli olup, sert ve büyüktür. Sabrina çeşidi yola dayanıklıdır. Aroması yüksek ve sıkı yüzeylidir. Erken olgunlaşır ve düşük sıcaklıklara rağmen hızlı renklenme gösterir. Kaliks yanıklığına toleranslıdır (Anonim b, 2018).

Çeşitlerin patent aldığı tarih ve patente esas olan özellikleri ile ilgili bilgiler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Rubygem, Fortuna ve Sabrina çeşitlerinin patente esas genel bitki ve meyve özellikleri

Çeşit adı	İslah edildiği yer	Patent tarihi	Gün Uzunluğuna Duyarlılığı	Bitki genişliği cm	Bitki yüksekliği cm	Renk	Şekil
Rubygem	Avustralya	29.09.2009	Kısa gün	36	36	Kırmızı	Konik
Fortuna	ABD	29.09.2009	Kısa gün	64	60	Koyu kırmızı	Konik
Sabrina	İspanya	21.02.2012	Kısa gün	21	22	Kırmızı	Konik

Kaynak: <https://www.uspto.gov/patents>

2.2. Yöntem

Araştırma Sultanhisar ilçesinde 2018 yılında iyi tarım uygulaması yapılan bahçelerden alınan Rubygem, Fortuna ve Sabrina çilek çeşitlerinden 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 20 meyve olacak şekilde örnekler alınmıştır. Meyve örneklerinde meyve maksimum ve minimum en (mm), meyve ağırlığı (g) ve meyve eti sertliği (kg/meyve) ölçülmüştür.

Meyve ağırlığı, hasat edilen meyvelerden rastgele seçilen 20 adet meyvenin 0.01 g’a duyarlı hassas terazide tartılarak ölçülmesiyle saptanmıştır. Elde edilen toplam ağırlık meyve sayısına bölünerek ortalama meyve ağırlığı g olarak değerlendirilmiştir.

Meyve eni ve meyve boyu rastgele seçilen aynı 20 adet meyvenin teker teker dijital kumpas ile ölçülmesi ile elde edilmiştir. Elde edilen veriler mm olarak değerlendirilmiştir.

Meyve eti sertliği rastgele seçilen aynı 20 adet meyvenin teker teker penemotre ile ölçülmesiyle elde edilmiştir. Sonuçlar kg cinsinden verilmiştir.

2.3.İstatiksel Analiz

İstatiki analizler SPSS 25.0 paket programı ile yapılmıştır. Çeşitlere ait meyve eni, meyve boyu, meyve ağırlığı ve meyve eti sertliği ile ilgili ortalamalar arasındaki fark Duncan çoklu karşılaştırma testi ($p \leq 0.05$) ile analiz yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Sultanhisar ilçesinde farklı üretici bahçelerinden hasat edilen Fortuna, Rubygem ve Sabrina çilek çeşitlerinde meyve kalite özellikleri olarak meyve

eni, meyve boyu, meyve ağırlığı ve özellikle yola dayanım açısından önemli olan meyve eti sertliği değerleri ölçülmüştür. İstatistiki olarak meyve eni, meyve boyu, meyve ağırlığı ve meyve eti sertliği açısından çeşit x bahçe intreaksiyonu önemli bulunmuştur (Tablo 5). Toprak ve iklim özellikleri benzerlik gösterse de çeşitlerin yetiştirildiği bahçelerdeki sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi kültürel işlemlerin uygulanma şekli ve kullanılan su, gübre ve tarımsal ilaç miktarları bir üreticiden diğerine değişeceği için çeşit x bahçe intreaksiyonu farklılık gösterdiği dolayısıyla meyve kalitesini etkilediği düşünülmektedir. Bununla birlikte meyve eni özelliği bakımından çeşitler arasında bir farklılık saptanamazken, meyve boyu, meyve ağırlığı ve meyve eti sertliği çeşitlere göre önemli bulunmuştur.

Araştırma kapsamında incelenen tüm çeşitlerde ölçülerek elde edilen ortalama meyve eni (mm) Tablo 6' da, ortalama meyve boyu Tablo 7'de, ortalama meyve ağırlığı Tablo 8'da ve meyve eti sertliği Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 5. Meyve fiziksel özelliklerinin varyans analizi

Kaynaklar	Meyve eni (mm)	Meyve boyu (mm)	Meyve ağırlığı (g)	Meyve eti sertliği (kg)
Çeşit (Ç)	1,9 ö.d.	5,68 *	6,40 *	6,40 *
Bahçe (B)	2,12 ö.d.	4,09 *	2,40 ö.d.	2,40 ö.d.
Ç x B	4,82 *	3,57*	5,61 *	5,61 *

*İstatiksel olarak $p \leq 0.05$ 'e göre önemli, ö.d. önemli değil

Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek meyve eni Fortuna ve en düşük meyve eni Rubygem çeşidinde elde edilmiştir. Fortuna çeşidi diğer iki çeşide göre daha iri meyveler oluşturmuştur (Tablo 6).

Tablo 6. Farklı bahçelere göre çilek çeşitlerinde meyve eni değişimi (ortalama $\pm$ standart sapma)

	Fortuna	Rubygem	Sabrina	Ortalama
Bahçe 1	35,58 $\pm$ 0,78	33,9467 $\pm$ 1,23	33,94 $\pm$ 1,28	34,49 $\pm$ 1,27 ab
Bahçe 2	38,04 $\pm$ 0,25	33,9467 $\pm$ 1,21	33,26 $\pm$ 1,72	35,08 $\pm$ 2,48 a ^y
Bahçe 3	31,25 $\pm$ 0,35	34,1700 $\pm$ 0,77	34,80 $\pm$ 0,37	33,41 $\pm$ 2,06 b
Bahçe 4	34,65 $\pm$ 1,24	32,8433 $\pm$ 3,05	34,30 $\pm$ 1,11	33,93 $\pm$ 1,92 b
Ortalama	34,88 $\pm$ 2,81 a ^z	33,7267 $\pm$ 1,62 a	34,08 $\pm$ 1,19 a	

^z Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir. ^y Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

En yüksek meyve boyu Sabrina çeşidinde elde edilirken en düşük meyve boyu Rubygem çeşidinde elde edilmiştir (Tablo 7).

En yüksek ortalama meyve ağırlığı (g/meyve) değerleri Fortuna çeşidinde elde edilirken en düşük meyve ağırlığı Rubygem çeşidinde elde edilmiştir (Tablo 8). Sultanhisar çileğinin meyve kalitesi Türkiye’de çilek yetiştiriciliği yapılan yörelerden daha yüksektir. Menemen koşullarında yetiştirilen çileklerde meyve ağırlığı en düşük ortalama 9,4 g, en yüksek 14 g olduğu belirlenmiştir. Erzurum koşullarında yapılan adaptasyon çalışmalarında çeşitlerin meyve ağırlıkları ortalama en düşük 6.2 g ile 9.0 g arasında değişmiştir (Özbahçalı ve Arslantaş, 2015).

Tablo 7. Farklı bahçelere göre çilek çeşitlerinde meyve boyu değişimi (ortalama $\pm$ standart sapma)

	Fortuna	Rubygem	Sabrina	Ortalama
Bahçe 1	42,34 $\pm$ 0,71	38,00 $\pm$ 2,75	42,67 $\pm$ 4,72	41,01 $\pm$ 3,56 a ^y
Bahçe 2	41,87 $\pm$ 0,67	37,20 $\pm$ 1,38	43,48 $\pm$ 2,57	40,85 $\pm$ 3,20 a
Bahçe 3	37,28 $\pm$ 2,14	35,97 $\pm$ 0,89	40,89 $\pm$ 1,04	38,05 $\pm$ 2,55 b
Bahçe 4	40,81 $\pm$ 1,11	43,38 $\pm$ 3,15	39,71 $\pm$ 1,88	41,30 $\pm$ 2,51 a
Ortalama	40,58 $\pm$ 2,35 a ^z	38,64 $\pm$ 3,52 b	41,69 $\pm$ 2,91 a	

^z Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ ‘e göre istatistiksel olarak önemlidir. ^y Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ ‘e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Tablo 8. Farklı bahçelere göre çilek çeşitlerinde meyve ağırlığı değişimi (ortalama $\pm$ standart sapma)

	Fortuna	Rubygem	Sabrina	Ortalama
Bahçe 1	22,39 $\pm$ 1,18	17,78 $\pm$ 2,16	19,81 $\pm$ 1,87	19,99 $\pm$ 2,53 a ^y
Bahçe 2	26,41 $\pm$ 1,03	18,65 $\pm$ 2,10	18,81 $\pm$ 2,41	21,29 $\pm$ 4,19 a
Bahçe 3	16,65 $\pm$ 2,98	18,21 $\pm$ 0,94	21,42 $\pm$ 0,63	18,76 $\pm$ 2,64 b
Bahçe 4	20,69 $\pm$ 1,05	19,79 $\pm$ 3,89	19,84 $\pm$ 1,07	20,11 $\pm$ 2,13 a
Ortalama	21,54 $\pm$ 3,95 a ^z	18,61 $\pm$ 2,27 c	19,97 $\pm$ 1,71 b	

^z Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ ‘e göre istatistiksel olarak önemlidir. ^y Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ ‘e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Sultanhisar İlçesinde yetiştirilen Rubygem, Sabrina ve Fortuna çeşitlerinin meyve ağırlığı ortalaması 18,61 -21,54 g ve meyve eti sertliği ortalama 0,77 kg-1,20 kg/meyve arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Farklı bahçelere göre çilek çeşitlerinde meyve eti sertliği değişimi (kg/meyve) (ortalama $\pm$ standart sapma)

	Fortuna	Rubygem	Sabrina	Ortalama
Bahçe 1	1,06 $\pm$ 0,20	0,80 $\pm$ 0,18	1,09 $\pm$ 0,34	0,9844 $\pm$ 0,26 b ^y
Bahçe 2	0,77 $\pm$ 0,07	0,66 $\pm$ 0,07	1,29 $\pm$ 0,07	0,9078 $\pm$ 0,30 b
Bahçe 3	0,42 $\pm$ 0,05	0,74 $\pm$ 0,01	1,19 $\pm$ 0,21	0,7811 $\pm$ 0,35 c
Bahçe 4	0,81 $\pm$ 0,13	1,34 $\pm$ 0,13	1,22 $\pm$ 0,23	1,1244 $\pm$ 0,28 a
Ortalama	0,77 $\pm$ 0,26 b ^z	0,89 $\pm$ 0,30 b	1,20 $\pm$ 0,21 a	
Meyve eti sertliği özelliği	Orta sert	Orta sert	Sert	

^z Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir. ^y Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar $p \leq 0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Rubygam, Fortuna ve Sabrina çeşitleri Fragaria x ananassa Duch. türü içerisinde yer alan diğer çilek çeşitlerine göre meyve eti sertliği bakımından orta sert (Rubygem ve Fortuna) ve sert (Sabrina) özellik göstermektedir. (Anonim c, 2018). Meyve eti sertliği bakımından çeşitler sert ve orta sert özellik göstermektedir. Meyve eti sertliği bakımından en yüksek değerler Sabrina çeşidinden (1.29 kg/meyve) elde edilirken en düşük Fortuna çeşidinde (0.42 kg/meyve) elde edilmiştir. Özbahçalı ve Arslantaş'ın (2015) Erzurum koşullarında yaptıkları çalışmada çeşitlerin meyve eti sertliği ise en düşük 67,4 g/1,75 mm uç, en yüksek 92,5 g/1,75 mm uç olarak ölçülmüştür. Hatay koşullarında yapılan bir başka çalışmada meyve eti sertliği en düşük 0,46 kg/meyve, en yüksek 1,26 kg/meyve olarak saptanmıştır.

Bu çalışmada çeşitlerin Sultanhisar ekolojik koşullarına adaptasyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bölgelerin çilekleriyle kıyaslandığında, Sultanhisar koşullarında yetiştirilen önemli çilek çeşitleri meyve ağırlığı ve meyve eti sertliği yönünden önemli özelliklere sahiptir. Özellikle Sultanhisar koşullarında yetiştirilen çilekler meyve eti sertliği bakımından yola dayanımı yüksek olup ihracata uygundur.

4. Sonuç

Sultanhisar İlçesinde tarımsal üretimine 1970 yıllarda başlanan çilek bu tarihten günümüze Sultanhisar ilçesinin ekonomisine önemli katkılarda bulunmuş ve halen de bulunmaktadır. Aile iş gücünü en iyi şekilde değerlendirerek ekonomik açıdan iyi gelir sağlamaktadır. Bugün gelinen nokta da çilek çeşitleri (*Fragaria x ananassa* Duch.) Aydın ili Sultanhisar ilçesinin hem toprak hem de iklim koşullara çok iyi adapte olmuştur. Rubygem, Fortuna ve Sabrina çilek çeşitleri meyve eti sertliği bakımından yola dayanımı yüksek çeşitlerdir. Bu özellikleri nedeniyle Sultanhisar İlçesi çilek üreticileri arasında yetiştiriciliği tercih edilen ihracata uygun çeşitlerdir. Hem meyve eti sertliği hem de meyve ağırlığı açısından ıslah edildikleri ülkelerdeki kalite özelliklerini Sultanhisar İlçesinde de göstermektedirler.

Sonuç olarak Sultanhisar İlçesi sahip olduğu mikroklima özelliği ve toprak koşulları sayesinde çilek tarımına oldukça uygundur. Bu ekolojik koşullar altında çilek meyvesinin kalitesi de yüksek olmaktadır.

5. Referanslar

- Akaroğlu , Ş.N., Akçay, V. 2009. Sultanhisar Ekolojik Koşullarına Camarosa, Sweet Charlie ve Festival Çilek Çeşitlerinin Adaptasyonu Üzerine Araştırmalar 10-12 Haziran III. Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Kahramanmaraş s:45-49
- Akçay, V., Aydın, M., 2014. Farklı Azot Dozlarının Rubygem Ve Fortuna Çilek Çeşitlerinde Verim ve Meyve Kalite Kriterleri Üzerine Etkisi. ADÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış)
- Anonim a, 2018. Devlet Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü Kayıtları, Aydın.
- Anonim b, 2018. <https://www.yaltir.com/ürünlerimiz>
- Anonim c, 2018. <https://www.uspto.gov/patents>
- Gündüz, K., Özdemir, E., 2012. Farklı Yetiştirme Yerlerinin Bazı Çilek Genotiplerinin Erkencilik İndeksi, Verim ve Meyve Özellikleri Üzerindeki Etkileri. Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi 49(1):27-36
- Gündüz, K., Bayazit, S., 2017. Farklı Islah Programlarından Elde Edilen Çilek Çeşitlerinde Fenotipik Çeşitlilik. Mustafa Kemal Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi 22(2):35-48

- Kaşka, N., Yazgan A., Pekmezci, M., Konarlı, O., Yalçın, O., 1979. Çileklerde Yaz ve Kış Dikim Zamanlarının Turfanda Çilek Üretimi ve Verim üzerine Etkileri. Proje No: TOAG-179. TÜBİTAK Yayınları No: 417 Kavaklıdere-ANKARA
- Niyaz, C., Demirbaş, N., 2011. Türkiye Yaş Meyve Üretim ve İhracatının Son On Yıllık Döneminin Değerlendirilmesi. Tarım Ekonomisi Dergisi 2011; 17(1):37-45
- Özbahçali, G., Arslantaş, R., 2015. Bazı Çilek Çeşitleri (*Fragaria x ananassa* Duch.)'nin Erzurum Ekolojisindeki Performanslarının Belirlenmesi. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi +6(2):75-84
- Önal, K., 2000. Menemen Koşullarında Açıkta ve Yüksek Tünel Altında Yetiştirilen Bazı Çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.) Çeşitlerinin Performansları Üzerine Bir Araştırma. Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 24:31-36
- TUİK, 2018. Bitkisel ürün İstatistikleri. www.tuik.gov.tr.



Natural and Technology Sciences

CHAPTER 21



**Excerpts from Hardcopy to Digital Forest Management in
Turkey: How to Tackle Topological Issues in GIS
Geodatabases
(Arif Oguz Altunel)**

Excerpts from Hardcopy to Digital Forest Management in Turkey: How to Tackle Topological Issues in GIS Geodatabases

Arif Oguz Altunel

*Forest Engineering, Kastamonu University,
E-mail: aoaltunel@kastamonu.edu.tr*

1. Introduction

It is an accepted fact that topological integrity is such a crucial factor in Geographic Information System (GIS) data sets and analyses that not paying enough attention in the beginning might haunt a project/study down the road, rendering it completely useless at the end. Topology is the mathematical structuring of the objects' characteristics that are shaped and preserved through distortion, bending and stretching (Weissten 2022). Although the definition, itself, brings about a three-dimensional, geodesic, understanding through which the mentioned deformations and twistings can occur, the reality in many settings (i.e. land cadaster or administrative forest management parceling) materializes in planar, two-dimensional environments defined over respected geo-referencing principles.

Although some early experimental examples started surfacing as early as 1999, GIS integrated forest management planning started taking firm root in Turkish forest management practices in 2008 when eco-system based sustainable forest management approach has started to be implemented (Baskent et al., 2008). Since the plan making interval is predominantly 20 years for tree species such as Scotch and Corsican pine, fir, spruce and beech which are managed within 120-year rotation periods, no such capability existed in Turkish forestry during the earlier intervals (Baskent et al., 2005). Prior to 2008, although in accordance with the technological advancements of the periods, everything had been done manually. Crews tasked with the laborious field cruising part of the forest inventory, which has always been regarded as the foundation of forest management, carried national topographical quad maps, scaled to 1:25000, while inspecting the stands, delineating the compartments, drafting the tree compositions and taking notes, etc. Stereo air photo capture, interpretations of which have helped produce the maps, accompanied these field works (Terzioglu et al., 2009), thus forest management plans have been issued in hard-copy formats with a folded, colored, administrative unit, forest directorate, management maps attached at the back of each one.

Turkish national quad maps, which have always been used as the primary cartographic data source in the forest management plans (Gunlu et al. 2009), have so far been produced three times in 1959-60, 1992-93 and 2008-onwards. “Universal Transverse Mercator” (UTM) projection defined over “European Datum 1950” (ED50), which the first two coverages were produced with, was updated to World Geodetic System 1984 (WGS84) datum in the last coverage. Simultaneously, the datum change has automatically been adopted in other disciplines in which the quad maps have been used for planning, decision making, futuristic projections, etc. Analogue capabilities in all phases of the production from air photo capture to printing the final products, were used in the first two coverages. Slowly progressing digital transformation gained momentum since the turn of the 21st century, and the latest coverage was produced with digital capabilities. Coincidentally, the forest management plans produced in and after 2008, started coming up additionally furnished with new quad maps written in raster format on CD/DVD-ROMs or USB flash memory sticks. Everything from the field, raster, supplementary data, etc., which is used and benefitted from while producing the management plans and maps were stored in these mediums. GIS integrated vectorized plans as prepared and stored initially in ArcINFO, later in ArcGIS geodatabase (GDB) formats were also included.

In old times when everything was manually done, first the state foresters governing the forest directorates, then the enterprise directors looking over a number of those forest directorates, finally the regional directors being the supreme authority supervising everything were performing their responsibilities taking constant references from the hard-copy management plans. As long as the records, especially the cartographic ones based on the knowledge from the field and the quad maps, are copied, reproduced, drawn and drafted over printed material, the errors, mishaps, artefacts, etc. can easily be hidden because the preferred scale factor was only one fix setting on the paper. On the other hand, when such cartographic records are geo-referenced and viewed in mapping/GIS environments, everything is vividly revealed. The big picture emerges when the GIS integrated independent forest management plans start attaching one another forming the forest enterprises when also attach to one another to form the regional forest directorates. This structuring from the largest to the smallest administrative unit must have been established in utmost precision so when joined no topological issue would taint the work.

Today, Turkish soil is divided by 30 regional forest directorates which are the initial administrative entities immediately below Turkish forest service. Hierarchical administrative structuring of Turkish forest service is as followed: regional directorates of forest (RDF), forest enterprises (FE), forest

directorates (FD), compartments (C) and stand composition defining sub-compartments (SC). Multitude of data is configured and stored in sub-compartment level (closed polygons) within 20-year interval forest directorate management plans. In a precise GIS project setting from the smallest SC to RFD, perfect border transitions without overlapping or gap-forming are expected if the database structuring is configured and executed flawlessly. To understand if this was the case, a rather large RFD, Kastamonu Regional Directorate of Forestry, ArcGIS geodatabase, encompassing everything from the smallest SC to the regional level, was analyzed in terms of topological consistency. Considerable defects were detected; recommendations were visualized to amend the current ones, and suggestions were made to prevent future inconsistencies.

2. Material and Methodology

2.1. Study Area and the Inspected Geodatabase

Kastamonu regional directorate of forestry (KRDF) forest management geodatabase of 2012, which is the first and ongoing such GDB in use today by the currently independent Kastamonu and Sinop regional directorates (SRDF), which were unified in 2011 under Kastamonu name when the GDB was finalized and put in service, was analyzed (Figure 1).

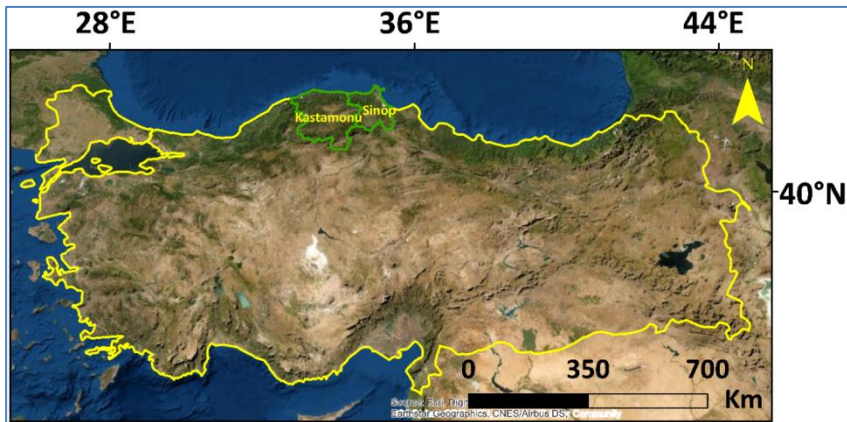


Figure 1. Provinces forming Kastamonu Regional Directorate of Forestry as of 2012

Before the GIS integration, since every state forester who administered a forest directorate within a single or adjoining number of 1:25000 scaled hard-copy map(s) drawn/specified area, minded his/her duties according to his/her management plan and the accompanying map(s), nobody ever thought about how his/her administrative entity would one day had to be a part of a larger entity in a completely new approach, called GIS. While structuring such a

large geodatabase, this should never have been started from the lesser entity to the senior one because it becomes near impossible of a task to accomplish. Forest service, being the supreme government office in the country, should hierarchily have drawn the regional directorates, first; forest enterprises, second and the forest directorates, third and handed over the borders to their respected regions, enterprises and directorates. No matter who had filled the compartment and sub-compartment level partitioning inside the forest directorate borders, as long as the directorate borders were intact, any topological wrong-doing or misinterpretation must have been isolated within a forest directorate administrative border, which must have been easier to amend while inspecting.

Two neighboring provinces with the combined standing volume of more than 196,630,000 m³ and annual increment of 5,727,464 m³ within 1,869,242 ha geographical land area were the work-horse of timber production in the country until the two were separated with a presidential decree on October, 2021. A total of 169 forest directorates, 125 of which are administrated today under 16 forest enterprises and 54 of which are administered under 6 forest enterprises by KDRF and SDRF, respectively, amassed a rather large geodatabase until the separation. Two different geodatabases were composed using UTM projection, Zone 36, over European Datum 1950 (ED50) and World Geodetic System 1984 (WGS84) datum. Topological integrity of the latter was analyzed in the scope of this study.

2.2. Methodology

In planar sense, forest management parceling is no different from the land cadaster one, but the geometrical precision expected in the latter is almost nowhere to be found in the former. Topological consistency of the objects is a hurdle that requires addressing in all kinds of projects concerning the creation and improvement of spatial databases (Zygmunt et al., 2015). Inconsistencies faced in vectorized forms of spatial data, which are generally produced from watermarked raster data (Abubahia and Cocea, 2018), scanning of colorized maps or older plans have created concerns in GIS datasets (Maras et al. 2010) of forest management in Turkey. Thus, problems resulting from the geometrical accuracies of the reference maps, which were transferred to GIS platforms and datasets are still present in many arenas (Siejka et al., 2013). According to application requirements, spatial data materializing from digitizing of other supplementary material or conversion from other means and formats must be subjected to specific preliminary correctional operations before any formal use (Bouhadjar, 2014).

Compartment level parceling has risen from the need of effective forest management practices depending predominantly on topographic (ridge lines,

sub-basin boundaries, creek beds, etc.) and anthropogenic (existing road infrastructure, settlement locations, etc.) features while sub-compartment level one has solely depended upon stand composition features (i.e. pure or mixed stands in single or two age classes under one of four crown closure categories, etc). In either case, this parceling scheme getting smaller in every new stage drafted over through quad map integrated forest management plans, inadvertently inserted topological errors into the vectorized forest management GIS datasets in Turkish practice.

Although it was the first and one of a number of similarly fashioned such comprehensive GIS geodatabases across the country, KDRF-2012 forest management geodatabase still provided much needed valuable feedback for critical studies produced in the region (Altunel, 2019; Torun and Altunel, 2020) despite the inherent errors.

Since forest management GIS geodatabase development has long been formulated and mandated using ArcGIS capabilities by Turkish Forest Service, a method of topology generation approach was explained in this study so it would be a guide to follow if the same mistakes continue to taint the future geodatabases.

2.2.1. How Does Basic Topology Work?

To understand this, it is imperative to know how basic topology is built in ArcGIS. A simple scenario can hypothetically be generated defining two neighboring polygons (Figure 2). Since forest management GIS geodatabases in Turkey are always configured over areal extends, closed polygons, the concept was explained, accordingly.

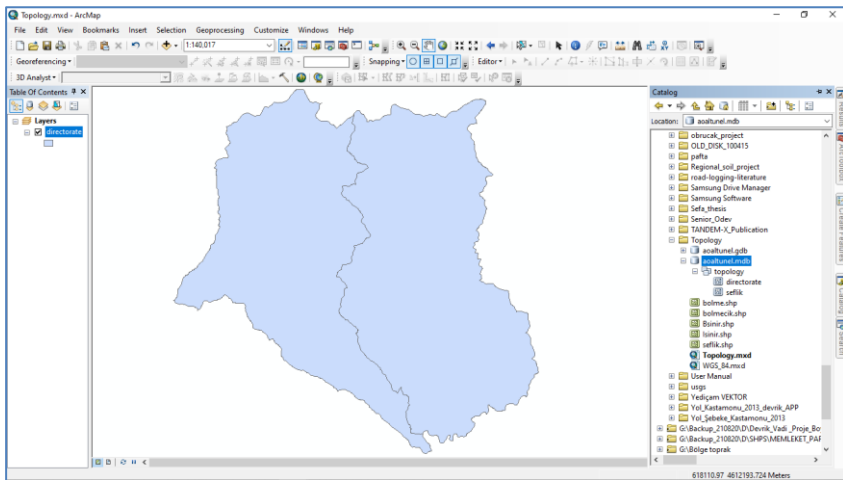
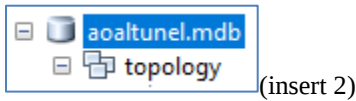


Figure 2. Hypothetical topology scenario

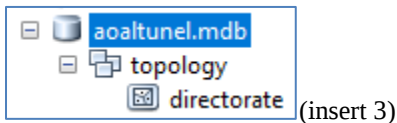
Initially, a geodatabase, either file or personal, has to be formed under a file folder,



Second, a future dataset has also to be established under the previously specified geodatabase(s), which is a prerequisite to create topology for the feature classes which would subsequently be listed under the dataset having the same coordinate system.



Then, a feature class, which is either directly formed or imported and converted from other vector datasets (i.e. shp, ncz, dwg) (Figure 2) is needed to establish the file structuring of the process.



After the preliminary three steps are acknowledged, topology activation under the future dataset can be achieved (Figure 4).

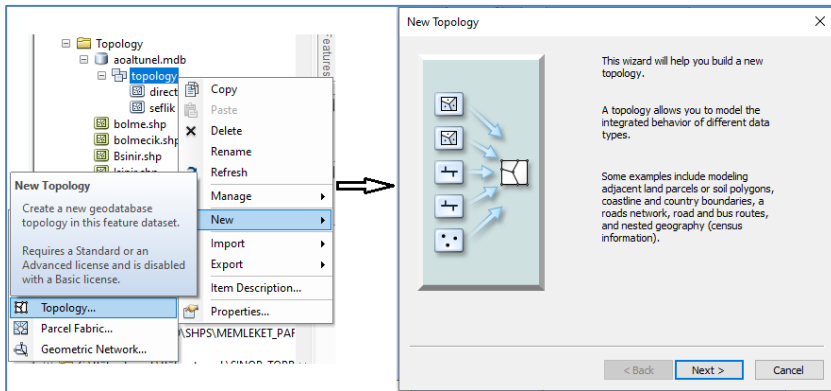


Figure 4. Topology activation

When topology activation is warranted, the wizard proceeds in each attempt until the rule specification tab in which two of the most frequently encountered topological error definitions in areal geodatabase questioning are defined (Figure 5); “Must not overlap” and “Must not have gaps”. Rule

dropdown list includes all sorts of other topological mishaps that might exist in vectorized geodatabase questioning.

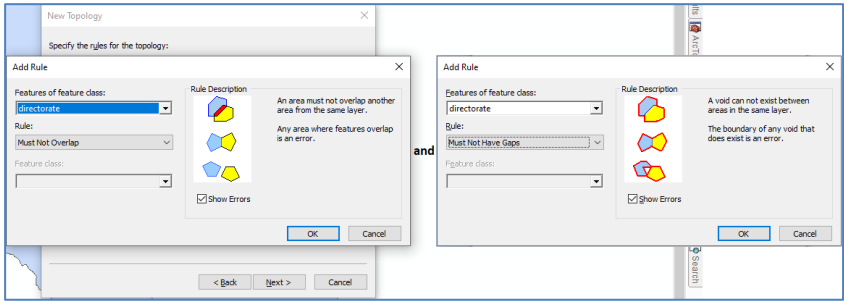


Figure 5. Specifying the rules which topology wizard will check for violations within the feature class

After the rules are specified, the wizard reports a summary listing the preferences checked until the final confirmation (Figure 6).

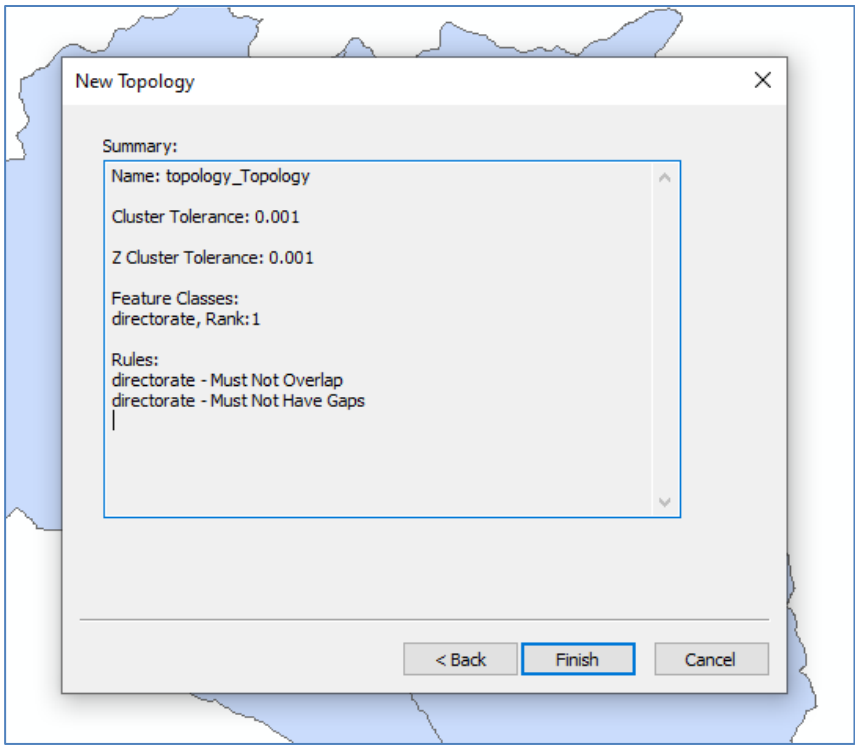


Figure 6. Summary of the preferences before finalizing the wizard

Once getting the go-ahead, the wizard generates the topology for the feature class(es) listed under the feature dataset (Figure 7).

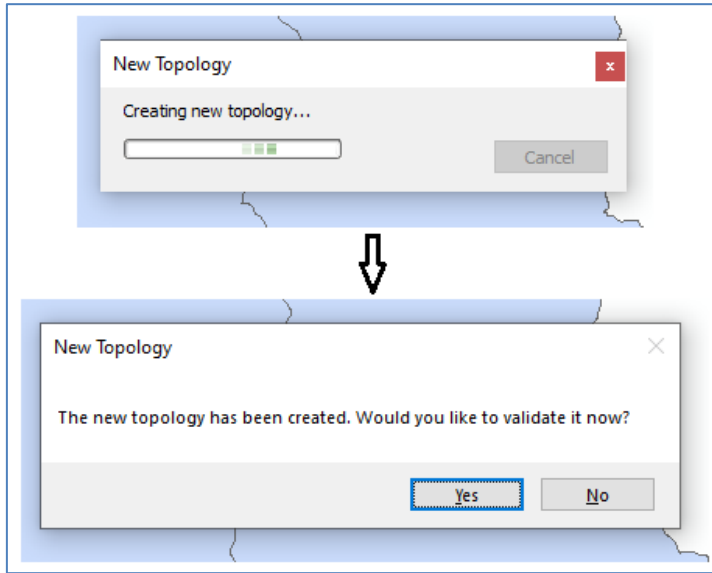
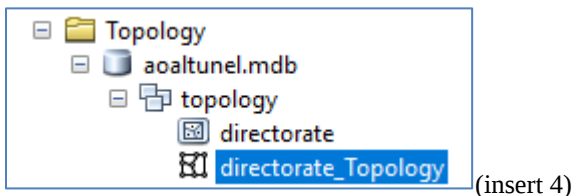


Figure 7. Execution and finalization of the topology for the feature class(es) specified

After the topology wizard validation is completed, a new vector entity displaying where the previously defined rules are violated within the specified feature class(es), emerges under the catalogue tree.



When the new entity is dragged from the catalogue tree to “Layers”, the detected polygon border violations are displayed (Figure 8).

2.2.2. Error Correction

It is a rather successful tool which can be attached to ArcGIS/ArcMap executable under ArcGIS/ArcMap extensions. Once the detected violations are displayed over the feature class, there are two options for an operator who is in charge of correcting the geodatabase. First approach is to manually edit the violations, bringing the vertexes together through the guidance provided from vertex, edge, corner and end snapping, which might be considerably

time consuming even without providing a complete solution if the database is too big or stratified, meaning the presence of more than one feature class intricately affecting one another. The second and more sensible approach is to automatically correct the violations through the “Error Inspector” which is activated when the feature class in question is opened to “Editing” (Figure 9). All violations coming from each rule definition are listed within the Error Inspector. Thus, each violation needs to be individually checked and decided about what to do. Forest management wise, just like in the first creation of the regional GIS geodatabase, it would be much better off to address the violations starting from the most senior domain, RDF to FE later FD then C and finally SC, defining and validating them within its own strata, then doing the same in the lower domain(s). This way border integrity will be transferred from the largest to the smallest in successions. Aside from the most senior domain, each lower one must be corrected keeping a close look at one higher, so domain to domain compatibility is guaranteed.

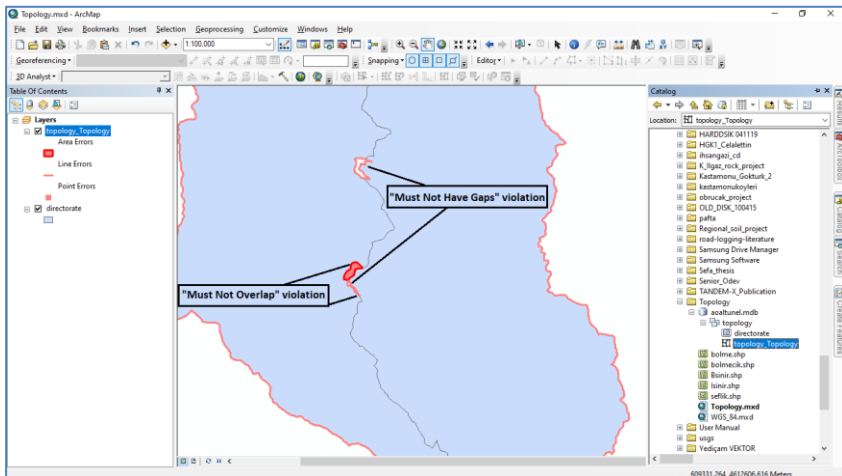


Figure 8. Displaying the specified rule violations over the feature class

2.2.2.1. “Must Not Have Gaps” Correction

When the error definition based violations are listed, the wizard proposes a likely solution to each selected violation, which is either “Create feature” or “Mark as exception” (Figure 10).

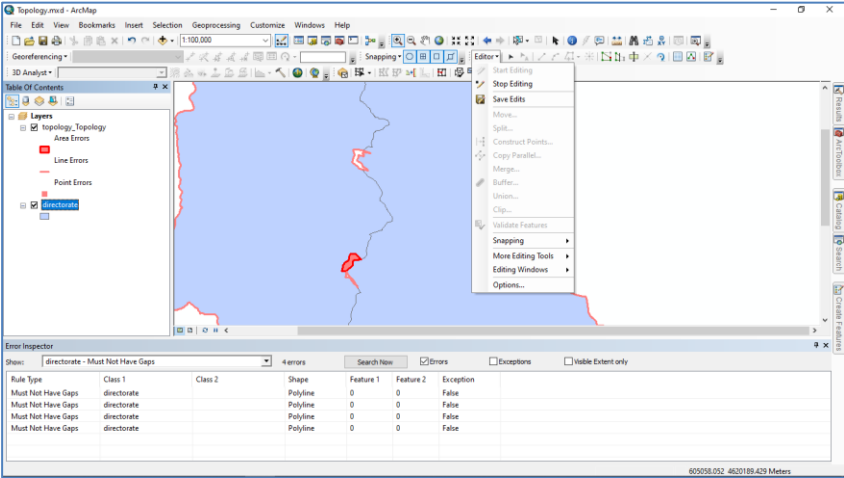


Figure 9. Error Inspector and the number of violations for each specified rule

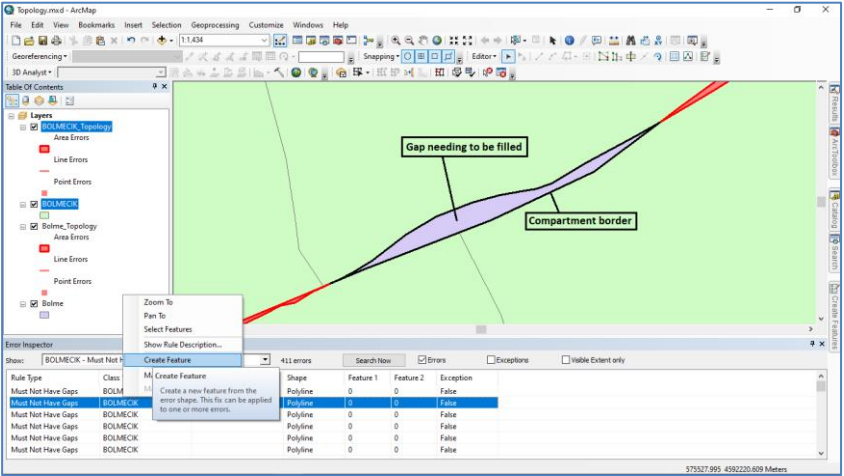


Figure 10. “Create feature” solution

Since the second solution is not practical under such conditions, the first solution is most of the time is the only option to use. Critical point at this stage is deciding which polygon the newly created one will be merged. This is an easy verdict if an established border coming from one higher domain is tracing the same border which will be established when the filled gap is merged with the appropriate polygon (Figure 11). If there is no border to be taken as a reference, which might be the case when an isolated stand forms a polygon inside a compartment, then such a gap can either be incorporated into the stand polygon or otherwise. As long as a misplaced looking border is not formed, such treatments in forest management concerning databases corrections can be overlooked.

As long as the corrections in this method are done cross-checking with one level higher domains, although tedious, they are much easier and safer to accomplish compared to manual editing because all of the vertexes created, while forming the gap filling feature, are the exact matches of the vertexes in the surrounding polygons so no missing new gap formation is possible (Figure 12). Thus, the topologic error is fixed in this part of the geodatabase and the process moves on to the next one (Figure 13).

The only difficulty in this method is faced when the newly filled gap is shared by a couple of other adjoining polygons. When the new feature is merged to one, the result might still leave new gaps to fill later on.

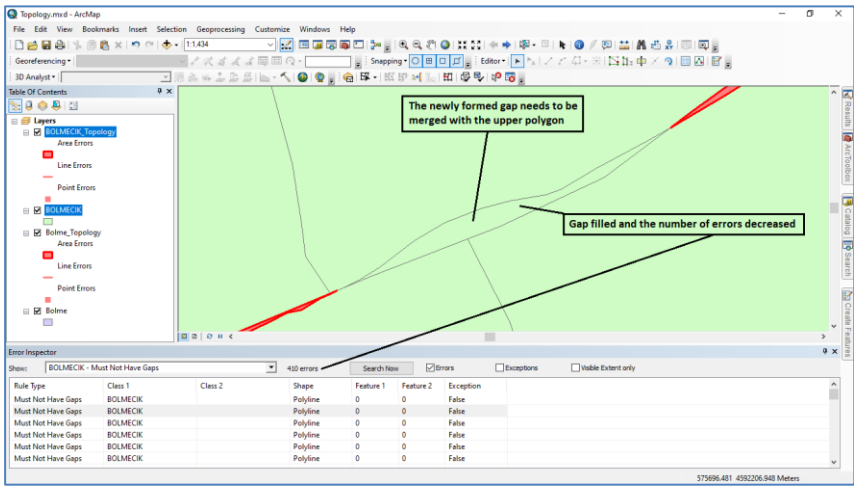


Figure 11. When the gap is filled, the task is accomplished and the number of errors decreases

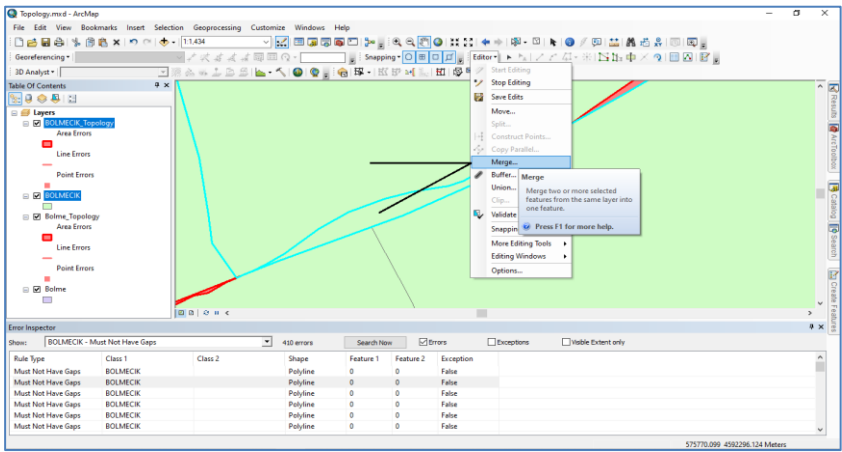


Figure 12. Merging of the gap filling feature with its respected polygon

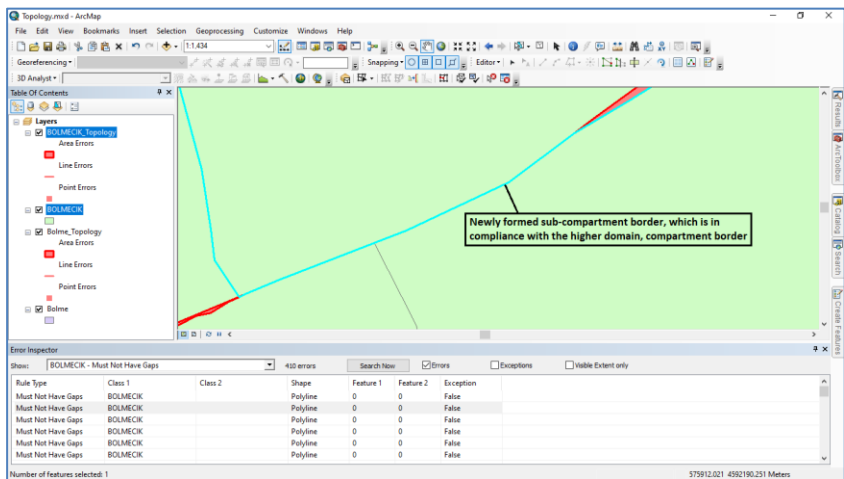


Figure 13. Error correction is done, proceed to the next one

2.2.2.2. “Must Not Overlap” Correction

Another frequently encounter topologic error in areal fashioned GIS geodatabases is the overlapping status of two adjoining polygons (Figure 14).

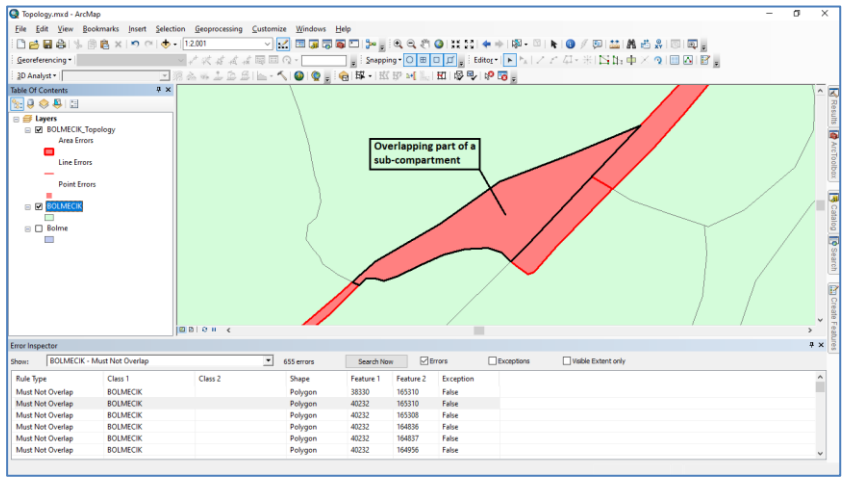


Figure 14. Typical overlapping problem

Just like the course of action in “Must not have gaps” solution, once one level higher domain, compartments in this example, is corrected, so the compartment borders are secured, sub-compartment related errors can be solved cross-checking the compartment borders if present (Figure 15), or again preferring the most likely polygon to register the overlapping part in if not.

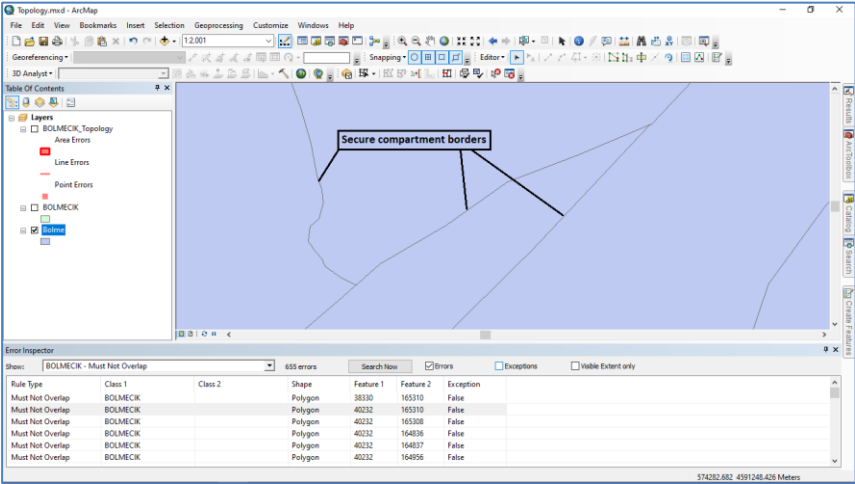


Figure 15. Secure compartment borders corrected prior to sub-compartment correction

Merging interface is activated without actually referring the Editor when the particular error is right-clicked through the Error Inspector list along with “Subtract” and “Create feature” options (Figure 16), simultaneously. When the preferred action is taken, the fix is applied, accordingly, the number the errors in the Error Inspector decreases, and the process moves on to the next error (Figure 17).

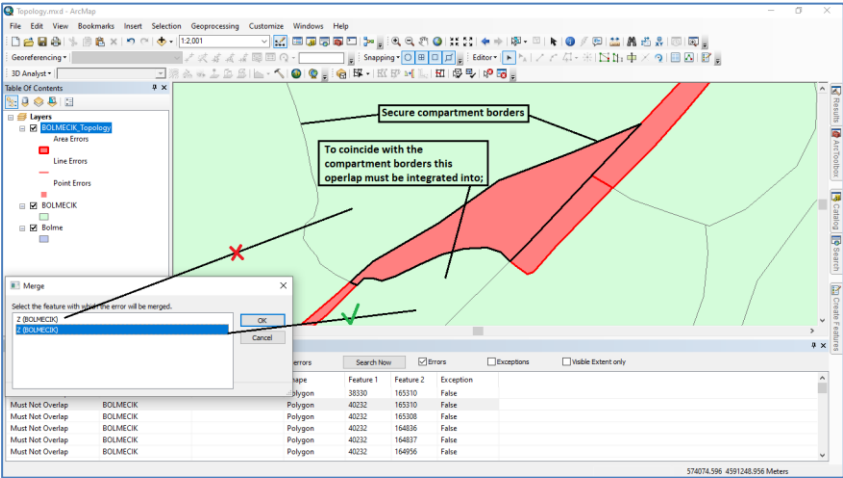


Figure 16. Merge interface activation directly over the Error inspector

Building topology and addressing the geometric errors in GIS geodatabases looks to be the most efficient and straightforward method for tackling such errors. It appeared that more automated comprehensive solution

to the problems would not be practical to use as long as the solution of which one, polygon, the filled gap feature or the overlapping part would be integrated, will always be provided with the guidance from the operator.

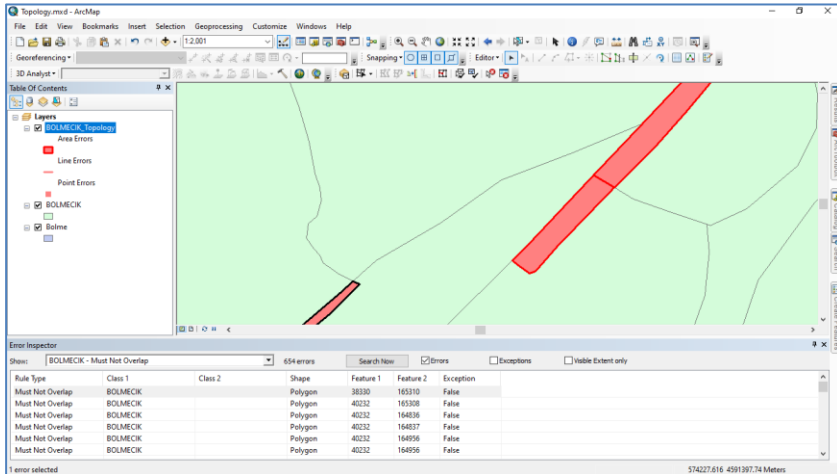


Figure 17. Fix is applied, a part of the sub-compartment is geometrically corrected

3. Results and Discussion

Except the most senior domain, Kastamonu Regional Directorate of Forestry, KRDF, all subordinate domains, FE, FD, C and SC, had both of the rule violations varying in number depending on the complexity of the respected database. FE database registered 290 “Must not overlap” and 346 “Must not have gaps” violations while FD database registered 344 and 346, respectively. It was not clear if the polygons, i.e. regions, enterprises or directorates, getting smaller from RDF to FD were drawn or converted from the sister ED50 geodatabase by the Turkish Forest Service or by the personal of the respected RDF. However, the number of the topologic errors faced in these domains which were simply much easier to accomplish, was the reminiscent of the ones which would have arisen from the more challenging C and SC polygon drawings. C database registered 468 “Must not overlap” and 411 “Must not have gaps” violations while SC database registered 655 and 411, respectively (Figure 18).

This was one of many such first time projects in Turkish forestry. Given the size of the most heavily laden database, SC within KDRF geodatabase, % 0.47 of the completed 222811 sub-compartment had topologic errors, which, along with the ones in higher domains, were fixed using “Topology” toolbar in ArcGIS 10.8. Topological integrity although not quite complete in the questioned geodatabase, might not have been given the proper importance in

the construction of this geodatabase simply because a substitute was present. It was possible that a never before accomplished task, building GIS geodatabases for all RDFs of the country in a completely new georeferencing platform was somewhat challenging however error free status of the other geodatabase, KRDF substitute geodatabase constructed with ED50 datum, was rather perplexing for the errors faced in the one constructed with WGS84 datum. How hard could have been for one to be transformed to the other one using the GIS capabilities unless both have been independently constructed from scratch?

GIS has transformed the cycles of data collection and processing, so plenty of older or historical data preserved in analogue fashions are turned into digital ones. Nevertheless, the methodology of vector model materializing harbors risks of displaying everything in real topographical scales (Kukulska et al. 2018) as apparent from the geodatabase questioned in this study. Since it is not possible and feasible to detect the topological defects from the field, the only sensible approach of doing so, is to detect and fix them on GIS geodatabases (Li et al. 2021). The detected topological defects in KRDF questioned geodatabase appeared to affect certain parts of the geodatabase, which brought in mind the practically true assumption of why not use the intact parts as were. The assumption was viable in many of the independent FDs, however the course of action which would otherwise be prescribed in regional scales and be simultaneously monitored through the real-time GIS geodatabases against the wind, snow, fire, insect, etc. damages occurring in extended areas in forestry practices, may not be precisely administered in the geometrically not-correct compartments and sub-compartments because no one knew where their real borders were.

Besides, this free information age in which the verification datasets are freely distributed worldwide, requires highly accurate data to accompany the projects, studies and reports, to be regarded as credible. Although no dissemination of such data in Turkish practice has so far been observed in grounds of state property, service or scientific oriented study usage only, this would eventually be changed to free-access distribution. Thus, not only in forestry, but in all other geodatabases, geometric integrity must be the utmost priority for a finalized GIS project no matter what kind of purpose it would serve.

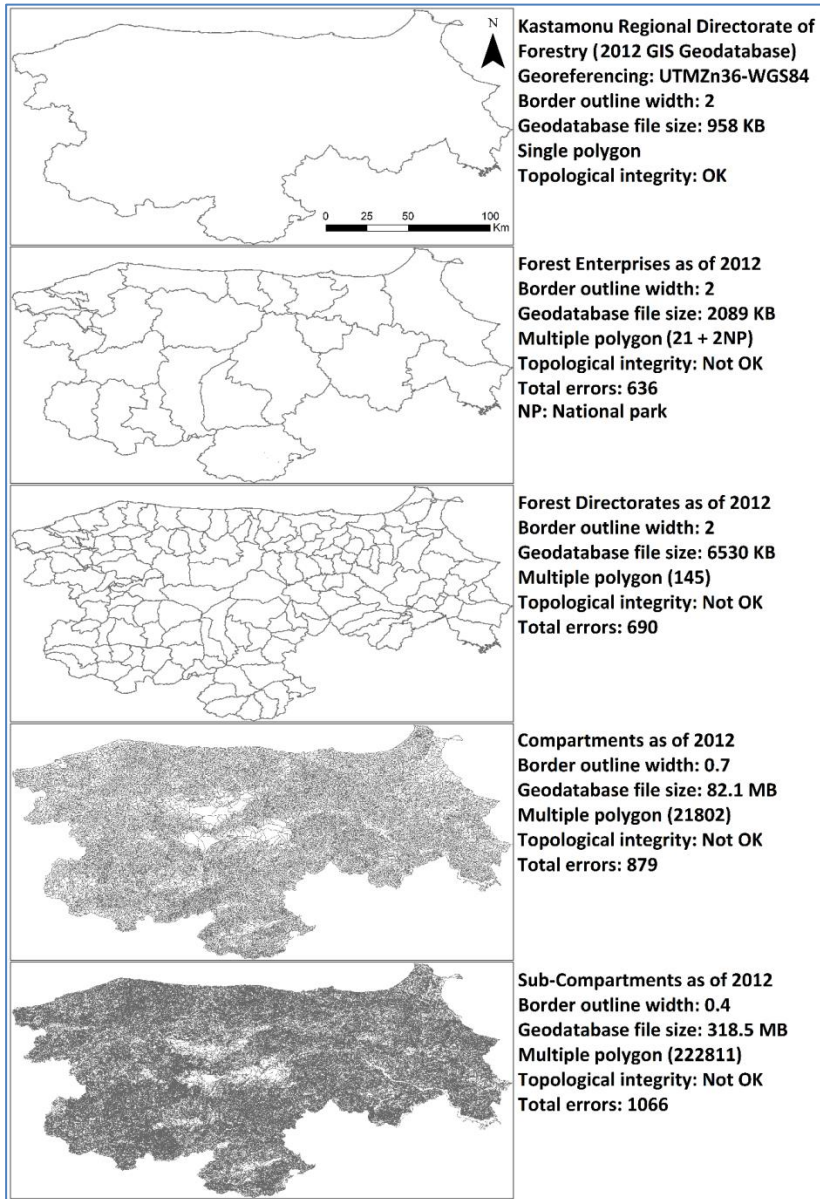


Figure 18. The total number of topologic errors in all levels of KRDF GIS geodatabase of 2012

4. Conclusion

Geographic Information System has been a tremendous asset in planning, decision making, disaster management, etc. Topologic consistency in a GIS geodatabase is the first and the foremost characteristic for it to be taken as

credible. Such geodatabases have been constructed for forest management purposes in Turkey since 2008. One of them, 30 in total, produced with UTM projection defined over WGS84 was analyzed in this study. Topological blemishes were detected in all administrative levels. Since it was the first such projects undertaken by Turkish forest service in a completely new georeferencing scheme, some border inconsistencies reaching from FE to FD to C and to SC were detected. They were amended in all levels, but the procedure in doing so was unnecessarily time consuming. Thus, given the difficulties experienced in correcting the first geodatabase construction, the subsequent ones which will be produced in every 20 years' time, would need to be given more attention defining the closed polygons in all administrative levels. Either construct from the scratch or convert from the existing databases, the hierarchical construction structuring must come from the highest domain to the lowest one without touching the higher domain polygons borders. Lesser level parceling must be completed using only "Auto Complete Polygon" in polygon drafting in ArcGIS.

Acknowledgement

I thank Kastamonu Regional Directorate of Forestry for allowing me to analyze one of their precious assets for this study.

5. References

- Abubahia, A. & Cocea, M. 2018. Evaluating the topological quality of watermarked vector maps. *Applied Soft Computing* 71: 849-860.
- Altunel, A. O. 2019. Determination of Some Stand and Site Parameters Influencing the Snow Damage in Trees: A Case Study of Boyabat Forest Enterprise, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* 19(1): 95-105.
- Baskent, E. Z., Kose, S. & Keles, S. 2005. The forest management planning system of Turkey: constructive criticism towards the sustainable management of forest resources. *International Forestry Review*. 7(3), 208-217.
- Baskent, E. Z., Terzioglu, S. & Baskaya, S. 2008. Developing and Implementing Multiple-Use Forest Management Planning in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 42: 37-48.
- Bouhadjar, M. 2014. Quality Assessment of Geospatial Data. In *European Association of Remote Sensing Laboratories Symposium Proceedings, 34th EARSeL Symposium European remote sensing-new opportunities for science and practice*. 16:20. Warsaw.

- Gunlu A., Baskent, E. Z., Kadiogullari, A. I. & Altun, L. 2009. Forest site classification using Landsat 7 ETM data: A case study of Maçka-Ormanüstü forest, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 151: 93-104.
- Kukulska, A. Salata, T., Cegielska, K. & Szylar, M. 2018, Methodology of Evaluation And Correction of Geometric Data Topology in QGIS Software. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus* 17(1): 137-150.
- Li, J., Wu, D., Jin, W., Chu, Z., Liu, S., Ma, J., Lin, Z. & Li, Y. 2021. Identification of distribution network topology parameters based on multidimensional operation data. *Energy Reports* 7: 304-311.
- Maras, S. S., Maras, H. H., Aktug, B, Maras, E. E. & Yildiz, F. 2010. Topological error correction of GIS vector data. *International Journal of the Physical Sciences* 5(5): 476-483.
- Siejka, M., Slusarski, M. & Zygmunt, M. 2013. Correction of topological errors in geospatial databases. *International Journal of the Physical Sciences* 8(12): 498-507.
- Terzioğlu, S., Baskent, E. Z. & Kadiogullari, A. I. 2009. Monitoring forest structure at landscape level: a case study of Scots pine forest in NE Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 152: 71-81.
- Torun, P. & Altunel, A. O. 2020. Effects of environmental factors and forest management on landscape-scale forest storm damage in Turkey. *Annals of Forest Science* 77(2): 39.
- Weisstein, Eric W. 2022. Topology. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. Available through <https://mathworld.wolfram.com/Topology.html>, last accessed at 23/02/2022.
- Zygmunt, M., Siejka, M., Slusarski, M., Siejka, Z., Piech, I. & Bacior, S. 2015. Database inconsistency errors correction, on example of LPIS databases in Poland. *Survey Review* 47(343): 256-264.



www.insackongre.com
insackongre@gmail.com

