

Recent Advances in Science and Technology



ISBN 978-625-7858-12-0

- Chapter 1: Gamze Tilbe Şen, Mehmet Yüksekaya,
Chapter 2: Ayşe Elif Ateş,
Chapter 3: Ayşe Elif Ateş,
Chapter 4: Arzum Işıtan, Salih Burak Eroğlu, Muhammed Raşit Binici,
Chapter 5: Buket Kunduhoğlu,
Chapter 6: Ayşe Eldem, Hüseyin Eldem,
Chapter 7: Ömer Barış İnce,
Chapter 8: Hülya Saygı,
Chapter 9: Pınar Uyan, Semih Küçükör, Özgür Cengiz,
Chapter 10: Serhat Küçükdermenci,
Chapter 11: Serhat Küçükdermenci,
Chapter 12: Rahile Ozturk, Esra Maltas Çağıl,
Chapter 13: Rahile Ozturk,
Chapter 14: Yavuz Selim İşler,
Chapter 15: Furkan Dinçer

Editör
Doç.Dr. Mehmet Dalkılıç

Recent Advances in Science and Technology

gece
kitaplığı

Editör

Doç. Dr. Mehmet Dalkılıç

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel
Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © HAZİRAN 2020
Yayıncı Sertifika No: 15476

ISBN • 978-625-7858-12-0
© Copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiç bir yolla çoğaltılamaz.

The rights to publish this book belong to Gece Kitaplığı.
Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1 Sokak
Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR
Telefon / Phone: +90 312 384 80 40
web: www.gecekitapligi.com
e-mail: geceakademi@gmail.com



Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

Recent Advances in Science and Technology

Editör

Mehmet Dalkılıç

Yazarlar

Chapter 1: Gamze Tilbe Şen, Mehmet Yüksekaya,

Chapter 2: Ayşe Elif Ateş,

Chapter 3: Ayşe Elif Ateş,

Chapter 4: Arzum Işitan, Salih Burak Eroğlu, Muhammed Raşit Binici,

Chapter 5: Buket Kunduhoğlu,

Chapter 6: Ayşe Eldem, Hüseyin Eldem,

Chapter 7: Ömer Barış İnce,

Chapter 8: Hülya Sayğı,

Chapter 9: Pınar Uyan, Semih Küçükkör, Özgür Cengiz,

Chapter 10: Serhat Küçükdermenci,

Chapter 11: Serhat Küçükdermenci,

Chapter 12: Rahile Ozturk, Esra Maltas Çağıl,

Chapter 13: Rahile Ozturk,

Chapter 14: Yavuz Selim İşler,

Chapter 15: Furkan Dinçer

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	3
Editörün Notu.....	4
Contents	5
Chapter 1	11
Oransal İntegral Türev Kontrolörü (Gamze Tilbe Şen, Mehmet Yüksekaya)	11
1. Giriş	13
2. Kontrol Sistemleri	13
2.1. Açık Döngü Sistemler	14
2.2. Kapalı Döngü Sistemler	14
3. Oransal İntegral Türev (Proportional Integral Derivative, PID) Kontrol	15
3.1. Oransal Kontrol	16
3.2. İntegral Kontrol.....	17
3.3. Türev Kontrol.....	18
3.4. PID Kontrol Parametreleri.....	19
3.5. Tasarım Amaçları ve Tasarım Yöntemleri.....	20
3.5.1. Sezgisel Yöntemler	21
3.5.2. Frekans Tepkisi Yöntemleri	21
3.5.3. Analitik Yöntemler	21
3.5.4. Sayısal Optimizasyon Yöntemleri.....	21
3.6. PID Kontrol Tasarımı ve Ayar Yöntemi	22
3.7. Ziegler-Nichols Kapalı Döngü Ayar Yöntemi.....	23
4. Referanslar	25
Chapter 2	27
Mikroalglerden Biyodizel Eldesinde Kullanılan Prosesler; Fotobiyoreaktörler, Ekstraksiyon Yöntemleri ve Transesterifikasyon (Ayşe Elif Ateş)	27
1. Giriş	29
2. Fotobiyoreaktörlerde Mikroalg Yetiştirilmesi ve Hasat İşlemi	30
2.1. Fotobiyoreaktörler	30
2.2. Hasat	32
3. Mikroalglerden Biyodizel Eldesi	32
3.1. Ekstraksiyon yöntemleri	33
3.2. Mekanik Yöntemler	33
3.3. Mekanik Olmayan Yöntemler.....	34
3.4. Biyodizel Üretimi	36
3.4.1. Transesterifikasyon	36
3.4.2. Direk Biyodizel üretimi	36

3.4.2.1. Katalizörle Direk Biyodizel Üretimi	37
3.4.2.2. Süperkritik Şartlarda Direk Biyodizel Üretimi	37
4. Tartışma ve Sonuç	38
5. Referanslar	38
Chapter 3	45
Mikroalglerden Biyohidrojen Üretimi; Hidrojen Metabolizması, Biyoreaktörlerin Tasarımı ve Biyohidrojen Üretimindeki Zorluklar (Ayşe Elif Ateş)	45
1. Giriş	47
2. Hidrojen Metabolizması	48
2.1. Direkt Biyofotoliz	48
2.2. İndirekt Biyofotoliz	48
2.3. Karanlık Fermantasyon	49
2.4. Foto-fermantasyon	49
3. Biyoreaktör Tasarımı ve İşletilmesi	49
3.1. Biyoreaktör Sistemi	50
3.2. Işığın Ayarlanması	51
3.3. Biyohidrojen üretimindeki zorluklar	52
4. Sonuç	53
5. Referanslar	54
Chapter 4	59
Topology Optimization of an Automobile Handbrake Parts (Arzum Işıtan, Salih Burak Eroğlu, Muhammed Raşit Binici)	59
1. Introduction	61
2. Material and Methods	63
3. Topology Optimization Studies	67
4. Conclusions	71
5. References	71
Chapter 5	73
Çölyak Hastalığında Probiyotik Kullanımı (Buket Kunduhoğlu)	73
1. Giriş	75
2. Gluten içeren gıdalar ve gluten tüketimine bağlı hastalıklar	75
2.1. Gluten nedir, hangi yiyeceklerde gluten bulunur?	75
2.2. Gluten Hassasiyeti Çeşitleri ve Semptomları	76
2.2.1. ÇH	76
2.2.2. GD	77
2.2.3. Buğday alerjisi	77
2.3. GD ve ÇH bireylerin tedavisi	78
3. Gluten kaynaklı inflamasyonların gideriminde probiotik yaklaşım	79
3.1. Probiyotiklerin tanımı ve önemi	79
3.2. Probiyotik tüketiminin Çölyak bireylerdeki etkileri	80
4. Sonuç	84

Kaynakça	85
Chapter 6	93
Motor Parametrelerinin Tahmininde Bulanık Uzman Sistem Tasarımı (Ayşe Eldem, Hüseyin Eldem)	93
1. Giriş	95
2. Tasarlanan Sistem	96
2.1. Sistem Yapısı	97
2.2. Giriş ve Çıkış Parametrelerini Bulanıklaştırma	98
2.3. Bulanık Kuralların Oluşturulması	103
2.4. Çıkarım Mekanizması	104
2.5. Durulaştırma	106
2.6. Tasarlanan Arayüz	109
3. Sonuç Ve Öneriler	110
4. Referanslar	110
Chapter 7	113
Investigation of Seroepidemiology of Bovine Herpes Virus-1 (BoHV-1) and Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV) Infections in Cattle in the Central Aegean Region of Turkey (Ömer Barış İnce)	113
Abstract	115
1. Introduction	115
2. Materials and Methods	117
3. Results	118
4. Discussion	120
5. Conclusion	122
6. Acknowledgements	122
7. References	122
Chapter 8	129
Türkiye’de Seracılık ve Örtüaltı Üretiminde Mevcut Durum (Hülya Saygı)	129
1. Giriş	131
2. Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği	131
2.1. Türkiye’de Seracılığın Mevcut Durumu	132
2.1.1. Alan	134
2.1.2. Ülkemiz Örtüaltı Üretim Miktarları	134
2.2. Yetiştiriciliği Yapılan Türler	136
3. Sonuç	138
4. Referanslar	139
Chapter 9	141
Titanyum Bazlı Biyomalzemelerin Özellikleri ve Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi (Pınar Uyan, Semih Küçükkör, Özgür Cengiz)	141
1. Giriş	143
1.1. Alfa Titanyum (α -Ti)	144
1.2. Beta Titanyum (β - Ti)	144

1.3. Alfa-Beta Titanyum ($\alpha+\beta$ - Ti)	145
1.4. Biyomalzeme Olarak Titanyum Bazlı Malzemeler	145
2. Titanyum Bazlı Malzeme Üretim Yöntemleri	146
2.1. Toz Yatak Füzyonu (PBF) ile Üretim	147
2.2. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (DED) Yöntemi ile Üretim	149
2.3. Biyomedikal Ti-bazlı Alaşımların Yeni Teknoloji Üretimleri	150
3. Kıyaslamalı Üretim Yöntemleri ve Parametreleri	152
4. Sonuçlar ve Değerlendirme	153
5. Referanslar	153
Chapter 10	157
Biyoelektromanyetik Uygulamalar için Bobin Sistemleri ile Manyetik Alan Desenleri Oluşturma (Serhat Küçükdermenci)	157
1. Giriş	159
2. Analitik yaklaşım	159
2.1. Bobinlerin manyetik akı yoğunluklarının hesaplanması	161
2.2. Bobin akımlarının hesaplanması	162
3. Simulasyon yaklaşımı	163
4. Deneysel yaklaşım	167
5. Sonuçlar	169
6. Teşekkür	169
7. Kaynaklar	170
Chapter 11	173
Eksenel Hizalanmış Bobin Dizileri ile Manyetik Alan Oluşturma (Serhat Küçükdermenci)	173
1. Giriş	175
2. Analitik yaklaşım	176
3. Simulasyon yaklaşımı	179
4. Deneysel yaklaşım	182
5. Sonuçlar	184
6. Teşekkür	184
7. Kaynaklar	184
Chapter 12	187
Effect of Antioxidants from Brassica napus Genotypes on Glucose Oxidase and Catalase Activities in <i>Galleria mellonella</i> (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) (Rahile Ozturk, Esra Maltas Cagil)	187
1. INTRODUCTION	189
2. MATERIALS and METHODS	190
2.1. Preparation of crude extract	190
2.2. Insect	191
2.3. High performance liquid chromatography	191
2.4. DPPH analysis	191
2.5. Feeding of insect	191

2.6. Preparation of crude enzymes.....	192
2.7. Determination of protein concentration	192
2.8. Catalase activity	192
2.9. Glucose oxidase activity	192
3. RESULTS and DISCUSSION.....	192
3.1. Chromatographic analysis	192
3.2. DPPH analysis	193
3.3. Enzyme activities	195
4. CONCLUSION	197
Acknowledgments	197
5. REFERENCES.....	197
Chapter 13.....	201
Effect of Insects on Biological Control (Rahile Ozturk)	201
1.INTRODUCTION.....	203
2.DISCUSSION	210
3. REFERENCES.....	211
Chapter 14.....	217
Rüzgâr Çiftliği Yerleşim Tasarımının Yapılması, İngiltere Örneği (Yavuz Selim İşler)	217
Özet	219
Abstract.....	219
1. Giriş	220
2. Rüzgâr Enerjisi	222
3. Rüzgâr Enerjisi Simülasyon Çalışması	223
4. Rüzgâr Türbinin Kurulduğu Lokasyon ve Yerleşim Haritası	224
5. Sonuç ve Değerlendirme	231
6.Kaynaklar.....	231
Chapter 15.....	235
10 kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı Tasarımı ve Maliyet Analizi (Furkan Dinçer)	235
Özet	237
1. Giriş	237
2. Tasarımın Yapıldığı Lokasyon ve Santral Tipi	240
3. Maliyet Analizi	247
4. Güneş Enerjisi Santralinin Çevresel Etkileri	248
5. Sonuç ve Değerlendirme	250
Kaynaklar.....	251

CHAPTER

1

Recent Advances in Science and Technology

Oransal İntegral Türev Kontrolörü (Gamze Tilbe Şen,
Mehmet Yüksekaya)

Oransal İntegral Türev Kontrolörü

Gamze Tilbe Şen¹, Mehmet Yüksekkekaya²

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, gtsen@baskent.edu.tr:

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, mehmety@baskent.edu.tr, (sorumlu yazar)

1. Giriş

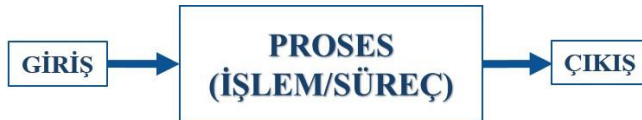
Oransal-integral-türev (PID) kontrolü basitlik, fonksiyonellik ve kullanım kolaylığı sağlaması nedeniyle kontrol sistemleri arasında en fazla tercih edilen yöntemlerden olmuştur. 1910'da PID kontrolünün bulunması ve 1942'de ortaya konan Ziegler-Nichols (Z-N) [1] ayarlama yönteminin kolaylığı, PID kontrolü kullanılarak yapılan çalışma sayısını arttırmıştır. Günümüzde PID kontrol, elektronikten endüstriyel süreçlere kadar pratik kontrol sistemlerinin %90'ından fazlasında kullanılmaktadır [2].

Bu bölümde kontrol sistemlerinden, PID kontrolör uygulaması, tasarımı ve ayar yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bölüm kontrol uygulamalarında PID kullanımı hakkında temel bilgileri vermektedir.

2. Kontrol Sistemleri

Genel anlamda kontrol terimi istenildiği gibi dengelemek, yönlendirmek veya yönetmek anlamında kullanılmaktadır. Kontrol edilmesi amaçlanan sistemi, bir karar alma mekanizması ile doğrudan insan müdahalesi olmadan belirlenmiş değerlerde tutabilen sistem olarak da tanımlanmaktadır [3].

Kontrol edilen sistemden beklenen reaksiyon, genel olarak, sistemi açma-kapama yöntemiyle çalıştırmak ve durdurmak, sistem çıktısını kullanıcı tarafından ayarlanan bir değerde tutmak veya tespit edilen değişikliği minimum hata ile görüntülemektir [4]. Kontrol sistemlerinin amacı, kontrol sisteminin elemanları aracılığıyla girişleri kullanarak, çıkışları önceden belirlenmiş şekilde kontrol etmektir (Şekil 1). Ek olarak genellikle dört temel nedenden dolayı kontrol sistemleri oluşturulmaktadır: güç yükseltmek, uzaktan kontrol/kumanda etmek, giriş biçiminin kolay olması, bozulmaları telafi edebilmek/dengeleyebilmek [5].

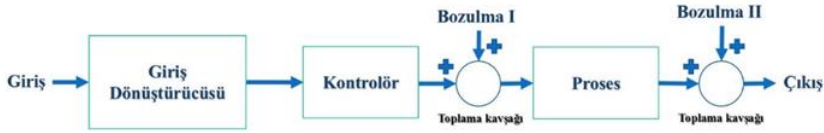


Şekil 1. Kontrol Sistemi Blok Şeması [5].

Genel olarak kontrol sistemleri açık ve kapalı döngü sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1. Açık Döngü Sistemler

Genel bir açık döngü sistemi Şekil 2’de gösterilmiştir.



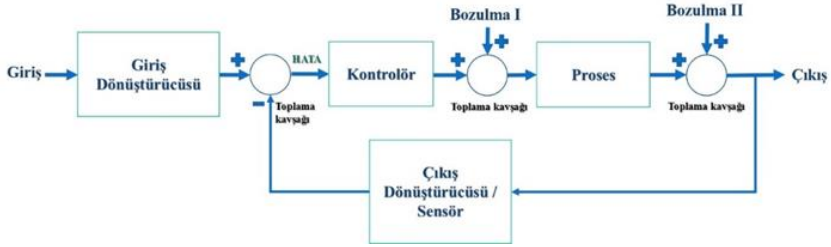
Şekil 2. Açık Döngü Sistemi Blok Şeması [5].

Açık döngü sistemi, giriş formunu kontrolör tarafından kullanılabilir biçime dönüştüren, giriş dönüştürücü adı verilen bir alt sistemle başlamaktadır. Kontrolör ise bir süreci veya sistemi çalıştırmaktadır. Giriş bazen referans olarak adlandırılırken, çıkış, kontrol edilen değişken olarak adlandırılabilir. Bozulmalar gibi diğer sinyaller, ilişkili işaretler kullanılarak giriş sinyallerinin cebirsel toplamını veren toplama kavşakları ile kontrolöre ve süreç çıkışlarına eklenmektedir. Örneğin, sistem, çıkış değişkeninin sıcaklık olduğu bir fırın veya klima sistemi olabilir. Bir ısıtma sistemindeki kontrolör yakıt vanalarından ve vanaları çalıştıran elektrik sisteminden oluşabilir.

Bir açık döngü sisteminin dezavantajı, kontrolörün sürücü sinyaline eklenen herhangi bir bozulmayı telafi edememesidir (Şekil 2’deki Bozulma I). Örneğin, kontrolör bir elektronik amplifikatör ve Bozulma I gürültü ise, ilk toplama kavşağındaki herhangi bir ek amplifikatör gürültüsü de işlemi yönlendirecek ve gürültünün etkisiyle çıkışı bozacaktır. Bir açık döngü sisteminin çıkışı sadece kontrolörün komutlarına eklenen sinyaller tarafından değil, aynı zamanda çıkıştaki bozulmalar aracılığıyla da bozulmaktadır (Şekil 2’deki Bozulma II). Sistem bu bozulmaları da düzeltememektedir. Açık döngü sistemleri, sorunları ya da bozulmaları düzeltememekte ve sadece girişi yönetebilmektedir [5].

2.2. Kapalı Döngü Sistemler

Açık döngü sistemlerinin dezavantajları, yani bozulmalara duyarlılık ve bu bozuklukları düzeltememe, kapalı döngü sistemlerinde aşılabilmektedir. Kapalı döngü bir sistemin genel şeması Şekil 3’de gösterilmiştir. Giriş dönüştürücüsü, giriş formunu kontrolör tarafından kullanılabilir biçime dönüştürmektedir. Çıkış dönüştürücüsü veya sensörü ise, çıkış yanıtını ölçmekte ve kontrolör tarafından kullanılabilir biçime dönüştürmektedir. İlk toplama kavşağı cebirsel olarak girişten gelen sinyal ile geri bildirim yolu ile çıkıştan gelen sinyali eklemektedir. Şekil 3’de de görüleceği üzere çıkış sinyali giriş sinyalinden çıkarılmaktadır. Sonuç genellikle hata sinyali olarak adlandırılmaktadır [3,53].



Şekil 3. Kapalı Döngü Sistemi Blok Şeması [5].

Kapalı döngü sistemi, çıkış tepkisini ölçerek, bu ölçümü bir geri besleme yolundan geri besleyerek ve bu yanıtı toplama kavşağındaki girişle karşılaştırarak bozulmaları telafi etmektedir. Sonuçta kapalı döngü sistemleri, açık döngü sistemlerinden daha yüksek doğruluk avantajına sahip olmaktadır. Gürültüye, bozulmalara ve ortamdaki değişikliklere daha az duyarlıdırlar. Geçici yanıt ve kararlı durum hatası, kapalı döngü sistemlerinde, genellikle döngüdeki basit bir kazanç ayarının (amplifikasyon) ayarlanması ve bazen kontrolörün yeniden tasarlanması yoluyla daha rahat ve daha fazla esneklikle kontrol edilebilmektedir [3, 5, 6].

3. Oransal İntegral Türev (Proportional Integral Derivative, PID) Kontrol

Orantılı integral (PI) ve orantılı integral türev (PID) kontrolörlerinin en pratik endüstriyel süreçleri karşılayabilmesi, endüstriyel uygulamalarda kabul görmelerine yol açmıştır. PID kontrolörü, ölçülen işlem değişkeni ile sabit bir ayar noktası (set point) arasındaki fark olan “hata” değerini hesaplamaktadır. Sistem kontrol girişlerini ayarlayarak hatayı en aza indirmek için kontrolör kullanmaktadır [6, 7].

Tek girişli tek çıkışlı süreç için ideal sürekli zamanlı PID kontrolörü Laplace alanında aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$U(s) = Gc(s)E(s), \quad (3.1)$$

Burada $U(s)$, hata sinyali $E(s)$ 'ye etki etmekte olan kontrol sinylidir.

$$Gc(s) = Kc(1 + \frac{1}{Ti s} + Td s), \quad (3.2)$$

Burada Kc , oransal kazanç, Ti , integral zaman sabiti ve Td , türev zaman sabitidir. $Ti = \infty$ ve $Td = 0$ (P kontrolü) ise, o zaman kapalı döngüde ölçülen değerin her zaman istenen değerden daha az olacağı görülmektedir (bir integral terimi olmayan işlemler için, ölçülen değeri sabit tutmak ve istenen değerden daha az tutmak için pozitif bir hata gerekmektedir). İntegral eyleminin getirilmesi ile, sabit bir hata artan bir kontrolör çıkışı üreteceğinden, ölçülen değer ile istenen değer arasında eşitliğin sağlanması kolay hale gelmektedir. Türev işlemin eklenmesi, istenen değerdeki değişikliklerin tahmin edilebileceği ve dolayısıyla fiili değişiklikten önce uygun bir düzeltme eklenebileceği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, basitleştirilmiş terimlerle,

PID kontrolörü şu anki kontrolör girişlerinden, geçmiş kontrolör girişlerinden ve gelecekteki kontrolör girişlerinden yardımlara izin vermektedir [6].

Özellikle PID kontrolör yapısının birçok varyasyonu önerilmiştir. Örneğin, ilk PID kontrolör yapısı literatürde hem ‘ideal’ kontrolör hem de ‘etkileşimsiz’ kontrolör, ayrıca ‘ISA’ algoritması veya ‘paralel etkileşimsiz’ kontrolörü olarak da yer almaktadır. Genel olarak PID kontrolör yapıları dört tipe ayrılmıştır [1, 2, 6, 8]:

- a) İdeal PID kontrolör yapısı
- b) Klasik PID kontrolör yapısı
- c) Etkileşimsiz PID kontrolör yapısı
- d) Diğer PID kontrolör yapıları

Temel PID kontrolörü matematiksel olarak yazılabilir, bir kontrol sinyali üç matematiksel işlemin toplamıdır:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de}{dt}, \quad (3.3)$$

(3.3): u : Kontrol sinyali, K_p : oransal kazanç, K_i : integral kazanç, K_d : türev kazanç (K_p , K_i , K_d ayarlama (tuning) parametreleridir.), e : hata, t : zaman ya da anlık zaman.

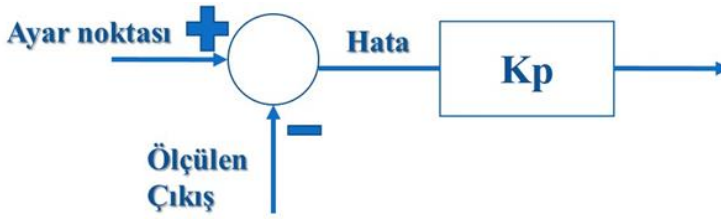
3.3 numaralı denklemde görüldüğü üzere her terimin önünde bir sabit bulunmaktadır. Bunlar ayarlama (tuning) sabitleri olarak bilinmektedir. Uygun şekilde seçildiklerinde kontrolörün hatayı sıfıra indirecek bir kontrol sinyali vermesini sağlamaktadırlar. K_p , K_i ve K_d 'nin düzgün ayarlanmaması aşma (overshoot), uzun işlem süresi, kararsızlık ve salınımlara neden olabilmektedir.

PI ve PID kontrolör ayar parametrelerinin belirlenmesi birçok uygulamada büyük bir sorun olmaktadır. Kontrolör parametrelerini ayarlayanın en doğru yolu ayarlama kurallarının kullanılmasıdır [6].

3.1. Oransal Kontrol

Oransal kontrolör, ölçülen çıkış ayar noktasına yaklaştıkça sisteme verilen ortalama gücü azaltmaktadır. Sonuç olarak kontrolör çıkışı, ayar noktası değerini aşmayacak, ancak ayar noktasına yaklaşacak ve sabit bir değeri koruyacak şekilde sistemi yavaşlatma etkisine sahip olacaktır. Oransal kontrolör, mevcut hata ile orantılı çıktı vermektedir (Şekil 4). İstenen değer veya ayar noktasını gerçek değer veya geri besleme işlem değeri ile karşılaştırmaktadır. Ortaya çıkan hata, istenen çıkışı elde etmek için oransal sabit (K_p) ile çarpılmaktadır. Hata değeri sıfırsa, bu kontrolör çıkışı da sıfır olacaktır [9].

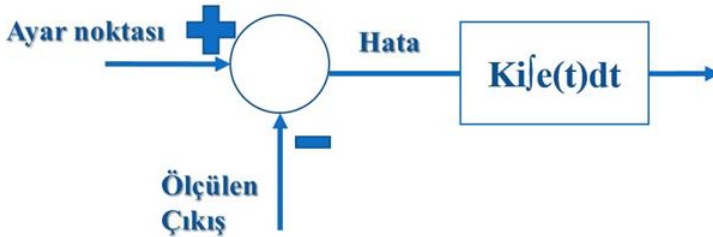
P Kontrolün avantajı uygulamasının kolay olması ve işlemi istenen ayar noktasına yakın bir yere götürebilmesidir. Ancak, hata otomatik olarak sıfıra gitmemekte, bu nedenle işlem ayar noktasına ulaşmamaktadır. Ayrıca ofseti ve kararlı durum hatasını otomatik olarak ortadan kaldıramamaktadır [8, 9].



Şekil 4. Oransal Kontrolör Blok Diyagramı. (Hata = Ayar Noktası – Ölçülen Çıkış, Kontrol Sinyali = $K_p \cdot \text{Hata}$.)

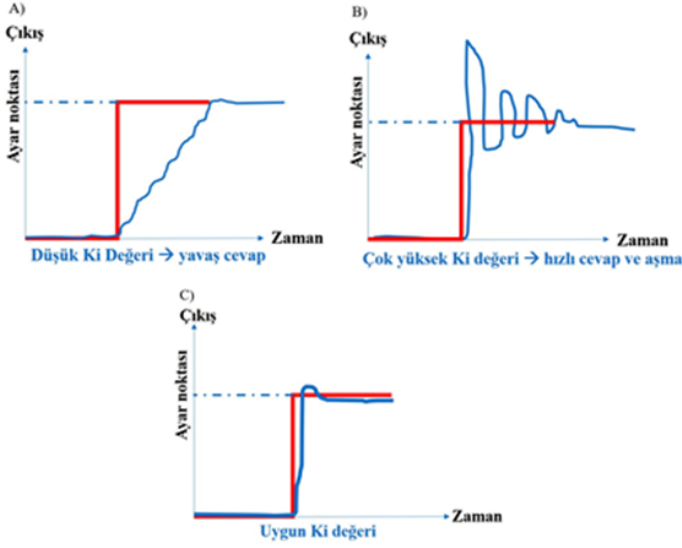
3.2. İntegral Kontrol

Süreç değişkeni ve ayar noktası arasında bir ofset oluştuğunda p-kontrolörünün sınırlamaları nedeniyle, sabit durum hatasını ortadan kaldırmak için gerekli eylemi sağlayan I-kontrolörüne ihtiyaç duyulmaktadır. İntegral teriminin etkisi, hem hatanın büyüklüğü hem de hatanın süresi ile orantılıdır. Zaman içinde anlık hatanın toplanması (hatanın integrali), daha önce düzeltilmesi gereken birikmiş ofseti vermektedir. Biriken hata daha sonra integral kazancı ile çarpılmakta ve kontrolör çıkışına eklenmektedir. İntegral teriminin toplam kontrol eylemine katkısının büyüklüğü, integral kazancı “ K_i ” tarafından belirlenmektedir (Şekil 5) [9].



Şekil 5. İntegral Kontrolör Blok Diyagramı. (Hata = Ayar Noktası – Ölçülen Çıkış, Kontrol Sinyali = $K_i \int e(t) dt$).

İntegral kontrolörünün ana avantajı, kararlı durum hatasını tamamen ortadan kaldırmaya izin vermesidir. Negatif hata oluştuğunda integral kontrolörü çıkışını azaltmaktadır. Bu durumda yanıt hızını sınırlamakta ve sistemin kararlılığını etkilemektedir. İntegral kazancı “ K_i ” azaltılarak sistemin yanıt hızı artırılabilir. Sonuç olarak K_i terimini ayarlayarak, integral kontrolörün kontrol başarısı ayarlanabilmektedir (Şekil 6) [9].

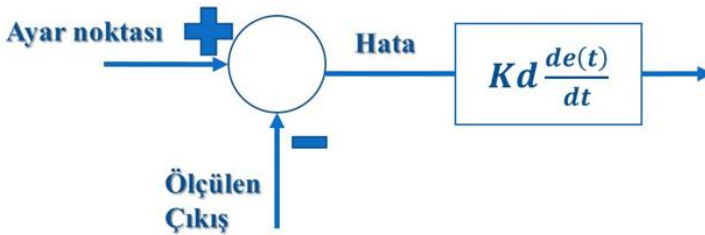


Şekil 6. İntegral kazancı “Ki” ile sistem yanıtının değişimleri gösterilmiştir.

A) Ki değeri küçük seçildiğinde yanıt hızı azalmaktadır. B) Ki değeri çok yüksek seçildiğinde sistem yanıtı artmakta fakat aşma oluşmaktadır. C) Uygun bir Ki değeri seçildiğinde sistem yanıt hızı ve aşma değeri de uygun seviyelerde olmaktadır.

3.3. Türev Kontrol

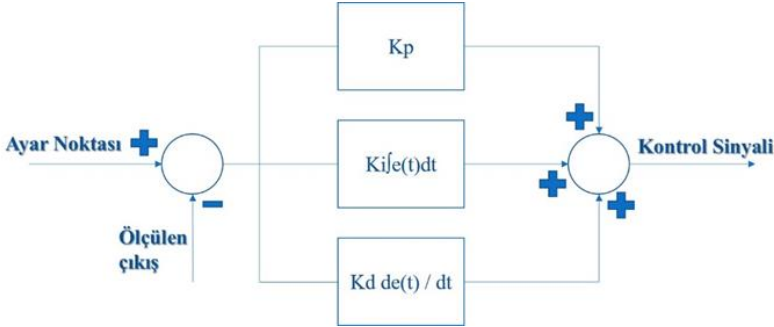
İntegral kontrolörünün hatanın gelecekteki davranışını tahmin etme yeteneği bulunmamaktadır. Bu durumda ayar noktası değiştiğinde normal tepki vermesi beklenmektedir. Türev kontrolörü hatanın gelecekteki davranışını tahmin ederek bu sorunun üstesinden gelebilmektedir. İşlem hatasının değişim hızı, hatanın zaman içindeki eğimi belirlenerek ve bu değişim hızının türev kazancı “Kd” ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Türev teriminin kontrol eylemine katkısının büyüklüğüne türev kazancı (Kd) denilmektedir (Şekil 7) [9].



Şekil 7. Türev Kontrolör Blok Diyagramı. (Hata = Ayar Noktası – Ölçülen Çıkış, Kontrol Sinyali = $Kd \frac{de(t)}{dt}$).

3.4. PID Kontrol Parametreleri

Oransal kontrolör, hata ile orantılı bir düzeltme terimi oluşturmaktadır. İntegral kontrolörü, hatanın zamana göre integralini alan bir düzeltme terimi oluşturmaktadır. Türev kontrolörü ise, hatanın zamana göre farkını alan bir düzeltme terimi oluşturmaktadır. Sonuç olarak PID kontrolörün işi hata sinyalini almak ve üzerinde üç ayrı matematiksel işlem gerçekleştirmektir (Şekil 8).



Şekil 8. PID Kontrolör Blok Diyagramı.

En iyi performans için üç parametrenin kararlı sistemin kapalı döngü performansı üzerindeki bireysel etkileri Tablo 1’de özetlenmiştir. Ancak en iyi performans için K_p , K_i , ve K_d ’nin birlikte ayarlanması gerekmektedir [10].

Tablo 1. Bağımsız P, I, D Parametreleri Ayarının Kapalı Döngü Yanıtı Üzerine olan Etkileri [10].

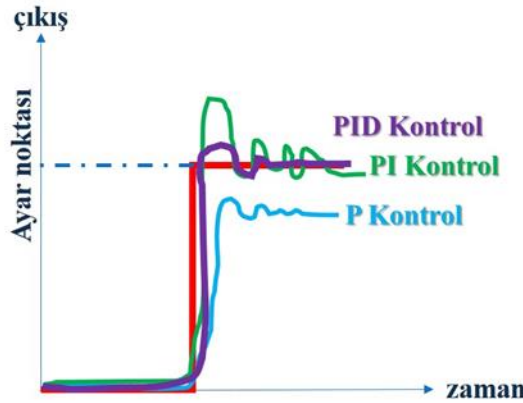
	Yükselme Süresi	Aşma	Yerleşme Süresi	Kararlı Durum Hatası	Kararlılık
K_p’yi arttırmak	Azalır ↓	Artar ↑	Az artış ↑	Azalır ↓	Geriler
K_i’yi arttırmak	Küçük Düşüş ↓	Artar ↑	Artar ↑	Büyük artış ↑	Geriler
K_d’yi arttırmak	Küçük Düşüş ↓	Azalır ↓	Azalır ↓	Küçük değişiklik	İyileşir

Tablo 1'e göre örneğin K_i ve K_d sabitken, tek başına artan K_p , yükselme süresini azaltabilir, aşmayı arttırabilir, yerleşme süresini hafifçe arttırabilir, kararlı durum hatasını azaltabilir ve kararlılık marjını azaltabilir.

Kapalı döngü bir sistemin dinamikleri ise aşağıdaki gibidir:

- Yükselme süresi: sistem çıkışı için ilk kez istenen seviyenin % 90'ının üzerine çıkması için geçen süre.
- Aşma: Tepe seviyesinin sabit duruma göre ne kadar yüksek olduğu, sabit duruma göre normalize edilmektedir.
- Yerleşme Zamanı: Sistemin sabit durumuna yaklaşması için geçen süre.
- Kararlı Durum Hatası: Kararlı durum çıkışı ile istenen çıkış arasındaki fark.

PID parametreleri sistem dinamiklerini nasıl etkilediği Şekil 9'da ayrıca gösterilmiştir. Oransal kontrolör yükselme süresi için gereken zamanı azaltmaktadır. İntegral kontrolör ile birlikte çalıştığında ise kararlı durum hatası kaldırılmış olacaktır. İntegral kontrolörün eklenmesiyle birlikte de aşmalar azaltılmakta ve istenilen performans elde edilmektedir.



Şekil 9. Oransal (P), Oransal-İntegral (PI) ve Oransal-İntegral-Türev (PID) Kontrolörün Sistem üzerindeki etkileri.

3.5. Tasarım Amaçları ve Tasarım Yöntemleri

İşlem öncesi, sonrasında yapılması gerekenler ve hata toleransı gibi durumların tam bir PID tasarımında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kontrolör parametreleri genellikle kapalı döngü sisteminin aşağıdaki beş hedefini karşılayacak şekilde ayarlanmaktadır:

1. Kararlılık ve kararlılık sağlamlığının kontrolü. Kararlılık genellikle frekans alanında ölçülmektedir.

2. Yükselme süresi, aşma ve yerleşme süresi dâhil geçici tepkilerin ayarlanması.
3. Kararlı durum kontrolünün sağlanması.
4. Genellikle kararlı durumda, çevresel belirsizliğe karşı bozulma zayıflaması ve sağlamlığının kontrolü.
5. Genellikle frekans alanında ölçülen sistem modelleme belirsizliğinin kontrolü [10, 11].

Çoğu yöntem yukarıda listelenmiş hedeflerin birini veya ağırlıklı bir bileşimini hedeflemektedir. Belirli bir hedefle, tasarım yöntemleri aşağıda listelenen temel yapılarına göre gruplandırılabilir:

- a. Sezgisel Yöntemler
- b. Frekans Tepkisi Yöntemleri
- c. Analitik Yöntemler
- d. Sayısal Optimizasyon Yöntemleri [10, 11].

3.5.1. Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler, genellikle tasarım hedefleri arasında bir dengeye sahip olan deneysel ayarlama sonucu (Ziegler-Nichols ayarlama kuralı gibi) gelişmektedir. Sezgisel ayarlama uzman sistemler, bulanık mantık, sinir ağları ve evrimsel hesaplamayı içermektedir [10, 11].

3.5.2. Frekans Tepkisi Yöntemleri

Kazanç marjı (GM), faz marjı (PM) ve hassasiyet gibi frekans alanı kısıtlamaları, PID denetleyicilerini çevrimdışı olarak sentezlemek için kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı uygulamalar için frekans-alan ölçümleri zaman-frekansı ve dalgacık gibi yer tayin etme tabanlı yöntemler gerektirmektedir [10, 11].

3.5.3. Analitik Yöntemler

PID kontrolünün basitliğinden dolayı parametreler, bir sistem modeli ile kutup yerleşimi, iç model kontrolü (IMC) veya lambda ayarı gibi kapalı döngü transfer fonksiyonları arasındaki cebirsel ilişkiler kullanılarak, analitik olarak türetilmektedir [10, 11].

3.5.4. Sayısal Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon tabanlı yöntemler özel bir optimum kontrol türü olarak görülmektedir. PID parametreleri, zaman alanındaki ağırlıklı bir hedef için sayısal optimizasyon ile elde edilmektedir. Alternatif olarak, kendi kendine öğrenen bir algoritma, hem parametreleri hem de ilişkili yapıları aramak ya da hem zaman hem de frekans alanlarında birden fazla tasarım hedefini karşılamak için kullanılabilir. Bazı tasarım yöntemleri bilgisayarla işlenebilir hale getirilebilir, böylece sistem tanımlandıktan sonra

tasarımlar otomatik olarak çevrimiçi yapılmakta; dolayısıyla, bu tasarımlar uyarlanabilir ayar için uygun olmaktadır [10, 11].

PID tasarımı analiz tabanlı yöntemlerden sayısal optimizasyon tabanlı yöntemlere doğru ilerlerken, Ziegler-Nichols ayarı kadar yaygın olarak uygulanabilen sadece birkaç teknik bulunmaktadır.

Simülasyon tabanlı tasarımların ivme kazanması, uygulamalarda mümkün olan en iyi PID ayarlarını yapmak için simülasyonların otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadır. Bilgisayarlı bir yaklaşım kullanılarak, çeşitli sistem türlerini ve PID yapılarını desteklemek için tek bir yazılım veya ürün yazılım paketi içinde birden fazla tasarım yöntemi birleştirilebilmektedir [10, 11].

3.6. PID Kontrol Tasarımı ve Ayar Yöntemi

Bir PID kontrolörü tasarlanırken dikkate alınması gereken birçok durum bulunmaktadır. Bir tasarım prosedüründen istenen özellikler şunlardır:

- Tasarım özelliklerine uygun bir kontrolör vermelidir.
- Mevcut / elde edilebilir süreç bilgisine dayanmalıdır.
- Hesaplama gücü ve tasarım için mevcut kaynaklar üzerindeki sınırlamaları karşılamalıdır.

Bu nedenle, farklı hedeflere ve karmaşıklığa sahip birkaç farklı tasarım prosedürüne ihtiyaç duyulmaktadır [12].

Gelecekte PID kontrolünün kullanılmaya devam edeceğini tahmin etmek oldukça mantıklıdır. Geri bildirimin, kullanıldığı tüm alanlarda devrim niteliğinde bir etkisi olmaya devam etmektedir. PID kontrolü en temel geri bildirim şeklidir. Çok etkilidir ve çok çeşitli sorunlara uygulanabilmektedir. Otomatik ayarlamaların ortaya çıkan özellikleri, PID kontrolünün kullanımını büyük ölçüde basitleştirmektedir [12].

Literatürde birkaç PID ayarlama yöntemi önerilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Ziegler – Nichols yöntemi
- Chien – Hrones – Reswick yöntemi
- Cohen – Coon yöntemi
- Refined Ziegler – Nichols yöntemi
- Wang – Juang – Chan yöntemi
- Optimum yöntem

Sonraki bölümde literatürde en sık kullanılan yöntem olması nedeniyle Ziegler-Nichols kapalı döngü ayar yöntemi anlatılacaktır.

3.7. Ziegler-Nichols Kapalı Döngü Ayar Yöntemi

PID kazançları (K_p , K_i , K_d) Ziegler-Nichols (Z-N) ayar kuralları kullanılarak belirlenebilmektedir. Z-N kuralı, üç PID kazanç parametresi için iyi değerler üretmeye çalışan sezgisel bir PID ayarlama kuralıdır. Bununla birlikte, bu manuel ayarlama yöntemi pratikte sıklıkla uygulanamamaktadır, çünkü özellikle büyük zaman sabiti olan bir işlem için zahmetli ve zaman alıcı olmaktadır. Ayrıca, kontrol mühendisinin ve operatörün de dikkatini gerektirmektedir, çünkü işlem nihai kazancı ve periyodu ölçmek için kararsızlığa yakın bir şekilde çalıştırılmaktadır [8, 13, 14].

Ziegler-Nichols ayarlama formülü, Tablo 2'de gösterildiği gibi nihai kazanç ku ve nihai periyot tu 'nun deneye dayalı bilgisine dayanmaktadır [14].

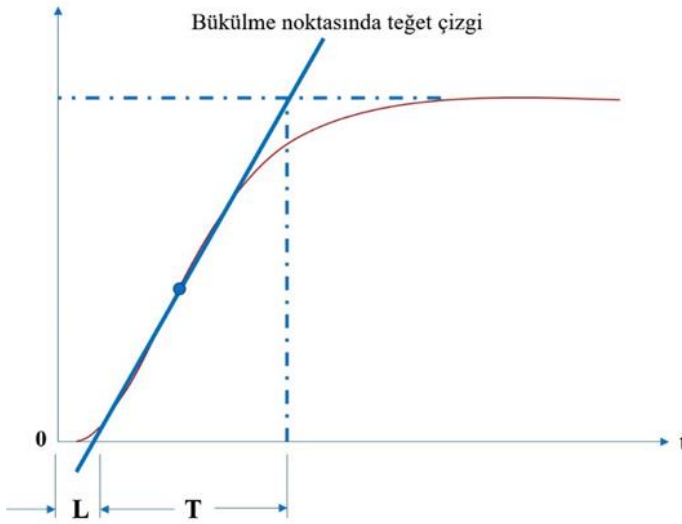
Tablo 2. Ziegler-Nichols Ayarlama Formülü [14].

Kontrolör Tipi	PID	PI
Oransal Kazanç	$K_c = 0.6 * ku$	$K_c = 0.45 * ku$
İntegral Zamanı	$T_i = 0.5 * tu$	$T_i = 0.85 * tu$
Türev Zamanı	$T_d = 0.125 * tu$	-

Ziegler ve Nichols iki yöntem sunmaktadır: basamak yanıtı yöntemi ve frekans tepki yöntemi. Z-N, çok sayıda farklı işlemi simüle ederek ve kontrolör parametrelerini basamak yanıtının özellikleriyle ilişkilendirerek ayar kurallarını geliştirmiştir [13].

İlk Yöntem:

Basamak yanıtı olan sistemlere uygulanmaktadır. Bu tür bir yanıt, gecikmeli birinci dereceden bir sisteme özgüdür. Aynı zamanda bir dizi birinci dereceden sistemden oluşan bir sistem için de uygulanabilmektedir. Yanıt iki parametre ile karakterize edilmektedir: L gecikme süresi ve T zaman sabiti. Bunlar, bükülme noktasında basamak yanıtına teğet çekilerek, zaman eksenine ve sabit durum değeri ile kesişimi dikkate alınarak bulunmaktadır (Şekil 10)[7].



Şekil 10. Ziegler – Nichols Ayarlama 1. Yöntem Basamak Yanıtı Eğrisi [7].

Ziegler ve Nichols bu modele dayanarak aşağıdaki kontrol parametrelerini türetmişlerdir:

Tablo 3. Ziegler-Nichols Birinci Yöntem [7].

Kontrolör Tipi	K_p	$T_i = K_p/K_i$	$T_d = K_d/K_p$
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/L$	$2L$	$0.5L$

Tablo 3’de K_p Oransal Kazanç K_i İntegral Kazanç, K_d Türev kazancı, T_i Sıfırlama Zamanı = K_p / K_i , T_d Oran zamanı veya türev zamanı = K_d/K_p ’dir.

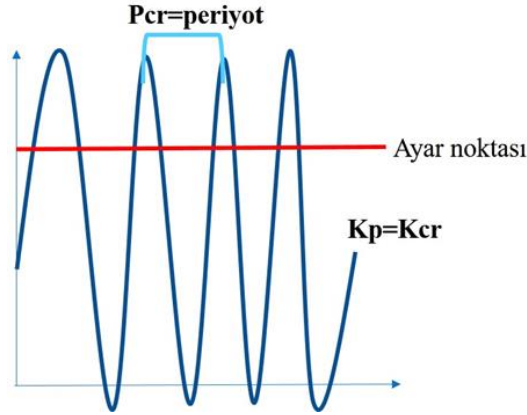
İkinci Yöntem:

İkinci yöntem, oransal kontrol altında kararsız hale getirilebilen sistemleri hedeflemektedir. Teknik, %25 aşma ile kapalı bir döngü sistemi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ziegler ve Nichols’ın belirli bir sistem modeline göre ayarlamaları belirlemesi nedeniyle fazla tercih edilmemiştir. PID kontrolörünü ikinci yöntemle ayarlama adımları aşağıdaki gibidir:

Yalnızca orantılı geri bildirim kontrolü kullanma:

A. İntegral ve türev kazançları sıfıra düşürülmektedir.

- B. Oransal kazanç K_p sıfırdan, sürekli salınımların meydana geldiği bazı kritik değerlere, $K_p = K_{cr}$ 'ye, yükseltilmektedir. Bu gerçekleşmez ise, başka bir yöntemin uygulanması gerekmektedir.
- C. K_{cr} değeri ve buna karşılık gelen sürekli salınım periyodu kullanılmaktadır (P_{cr}) (Şekil 10) [7, 8].



Şekil 11. K_{cr} ve P_{cr} değerlerinin sürekli salınım yapan sinyalden bulunması gösterilmektedir.

Kontrolör kazançları şu şekilde belirtilmektedir:

Tablo 4. Ziegler-Nichols İkinci Yöntem [7].

Kontrolör Tipi	K_p	$T_i = K_p/K_i$	$T_d = K_d/K_p$
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$P_{cr}/2$	$P_{cr}/8$

4. Referanslar

- [1] Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1993). Optimum settings for automatic controllers. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME, 115(2B), 220–222. <https://doi.org/10.1115/1.2899060>
- [2] Sandhu, G. S., & Dilawari, J. S. (2014). a Review Paper on Microprocessor. 1(Ddc), 501–503.

- [3] Journal, E., & Ejt, T. (2016). Vol 6, Number 1, 2016 European Journal of Technic EJT. 6(1), 44–52.
- [4] Gökbulut, M. (2018). Kontrol Sistemlerinin Analiz ve Tasarımı, ders kitabı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [5] Nise, N. S., Control Systems Engineering, ders kitabı, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Aidan O'Dwyer (2006). Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules. 2nd Edition, Imperial College Press, London.
- [7] Copeland, B. (2008). The Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning. Retrieved, March, (March), 1–4. Retrieved from http://educypedia.karadimov.info/library/Ziegler_Nichols.pdf.
- [8] V. Sailaja, K. N. R. (2019). PID Controller Tuning using Ziegler-Nichols Method for Temperature control of Thermal Cyclor. 1289–1296. <https://doi.org/10.15662/IJAREEIE.2019.0804024>.
- [9] V. Sailaja, D. Ramesh, P. Lakshmi, R. Nagabhushan (2019). Design and Development of Thermal Cyclor (PCR Instrument) for DNA Analysis. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 8(5).
- [10] Böhm, J. (1997). Digital control system analysis and design. Automatica, 33(9), 1767–1768. [https://doi.org/10.1016/s0005-1098\(97\)82236-4](https://doi.org/10.1016/s0005-1098(97)82236-4).
- [11] Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 13(4), 559–576. <https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331>.
- [12] Åström, K. J., & Hägglund, T. (2001). The future of PID control. Control Engineering Practice, 9(11), 1163–1175. [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(01\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(01)00062-4).
- [13] Åström, K. J., & Hägglund, T. (2004). Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control, 14(6), 635–650. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2004.01.002>.
- [14] Hang, C. C., Astrom, K. J., & Ho, W. K. (1991). Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula. IEE Proceedings D: Control Theory and Applications, 138(2), 111–118. <https://doi.org/10.1049/ip-d.1991.0015>.

CHAPTER 2

Recent Advances in Science and Technology

**Mikroalglerden Biyodizel Eldesinde Kullanılan Prosesler;
Fotobiyoreaktörler, Ekstraksiyon Yöntemleri ve
Transesterifikasyon (Ayşe Elif Ateş)**

Mikroalglerden Biyodizel Eldesinde Kullanılan Prosesler; Fotobiyoreaktörler, Ekstraksiyon Yöntemleri ve Transesterifikasyon

Ayşe Elif Ateş¹

¹*Istanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
E-mail: elifdenizler@istanbul.edu.tr*

1. Giriş

Dünyada fosil yakıtların hızla tükenmesi ülkelerin teknolojik gelişmişlik durumlarına göre alternatif yenilenebilir enerji kaynağı arayışına yöneltmiştir. Gelecekte yaşanabilecek enerji krizi endişesi ve hava kirliliğinin çevresel etkileri nedeniyle kullanılacak olan yakıtın düşük karbondioksit (CO₂) emisyonlu olması önem arz etmektedir [1]. Son yıllarda rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve dalga enerjisi gibi birçok sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretilerek küçük yerleşim yerlerine enerji sağlanmaktadır. Ancak bu enerji kaynaklarının kullanımı temiz enerji üretimine katkıda bulunmasına rağmen kurulum, işletme ve bakım maliyetleri yüksektir [2]. Araştırmacılar bu dezavantajları ortadan kaldırabilmek için enerji kaynağı olarak hem kolay ulaşılabilen hammadde özelliğine sahip olması hem de yakıt olarak kullanımında çevreye zararının oldukça az olması nedeniyle biyokütleden enerji eldesine yönelmiştir.

Yenilenebilir enerjilerden biri olan biyodizel biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik olmayan yakıt türüdür. Ayrıca yakıt olarak kullanıldığında sera gazı emisyonlarına sebep olmaması doğrudan hava kirliliğinin önlenmesine katkı sağlaması beklenmektedir [3]. Biyodizel üretiminde kaynak olarak yenebilir tohumların yağları, yemeyen bitkilerin yağları ve mikroalglerin yağları kullanılmaktadır. Yenebilir tohumların yağlarının kullanılması durumunda gıda kaynaklarında rekabete neden olması, yüksek su ve gübre kullanımı gerektirmesi, ormansızlaştırma ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi çeşitli dezavantajları vardır. Yemeyen bitkisel kaynakların kullanılmasında ise kaynakların her yerde bulunamaması nedeniyle hammadde ticaretinin sınırlı olması sürdürülebilirliği etkilemektedir. Biyodizel üretiminde mikroalglerin kullanılması hem kurulum-işletim maliyetinin az olması hem de üretiminde bölgesel sorunların olmaması gibi avantajları nedeniyle araştırmacılar tarafından tavsiye edilmektedir [1]–[4].

Çalışma kapsamında mikroalglerden biyodizel üretimine kadar olan süreçte kullanılan prosesler detaylarıyla verilmiştir. Açık ve kapalı fotobiyoreaktörlerin yapısal özellikleri, fotobiyoreaktör türleri arasında avantaj-dezavantajları karşılaştırılmıştır. Fotobiyoreaktörlerde büyütülen

mikroalglerin hasat edilmesinde kullanılan prosesler açıklanmış ve ardından biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılacak olan algal yağın ekstraksiyonu için farklı yöntemler verilmiştir. Son yıllarda biyodizel üretiminde kullanılan bütün proseslerin tek aşama olarak birleştirildiği doğrudan biyodizel sentezi yöntemleri açıklanmıştır.

2. Fotobiyoreaktörlerde Mikroalg Yetiştirilmesi ve Hasat İşlemi

Mikroalgler hızlı büyümeleri, ortam şartlarına kolay adapte olabilmeleri ve yüksek yağ içerikleri gibi özellikleri dikkate alındığında umut verici enerji kaynağı olarak görülmektedir [5]. Optimum ortam şartlarının sağlanmasıyla mikroalglerdeki yağ içeriği %70'e kadar çıkabilmektedir [4]. Mikroalglerin maksimum büyüme hızına ulaşması ortam koşullarının pH'nın nötr (yaklaşık 7-8) olması gerekmektedir [6]. Soğuk ve sıcak ortamlarda büyüeyebilen mikroalg türleri olmasına rağmen çoğu mikroalg türünün büyüme hızının yüksek olduğu optimum ortam sıcaklık aralığı 20-25°C'dir [7]. Fotosentetik türleri olan mikroalglerin fotosentez yaparak büyümesi için yaşam alanlarının yeteri kadar güneş ışığı alması gerekmektedir. Yeterli ışık alınımının sağlanmasında bazen yapay ultraviyole led lambalar kullanılmaktadır [4]. Karbon kaynağı olarak CO₂ kullanan mikroalglerin büyüme hızlarının yavaşlamasına neden olan anaerobik koşulların oluşumunun engellenmesi yeterli havalandırmanın yapılmasıyla sağlanmaktadır [7].

2.1. Fotobiyoreaktörler

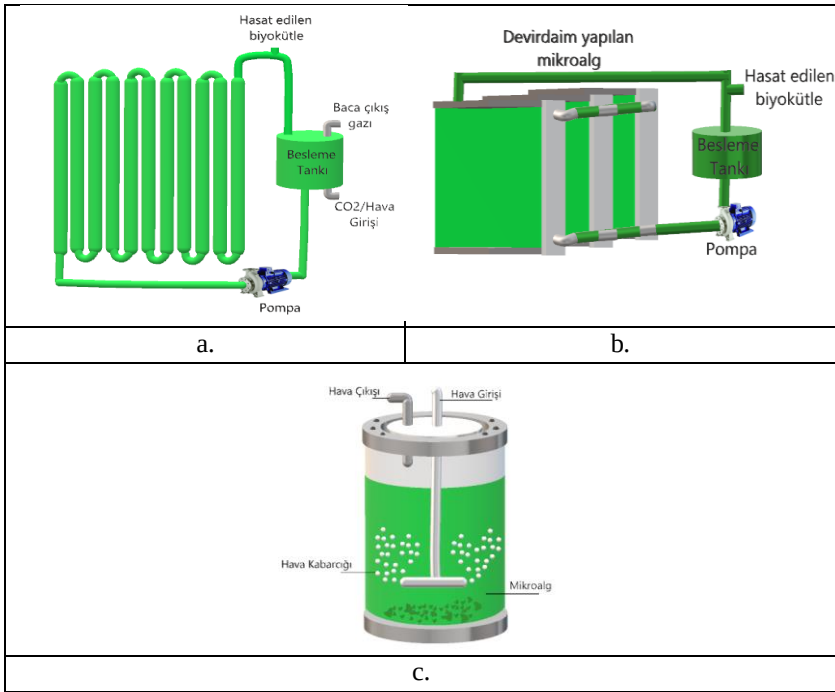
Mikroalglerin büyütülmesi ve hasat edilmesinde çeşitli fotobiyoreaktörler kullanılmaktadır. Fotobiyoreaktörler genel olarak açık havuzlar ve kapalı havuzlar olarak sınıflandırılmaktadır. Dairesel havuzlar, karusel tipi havuzlar ve eğimli havuzlar açık havuzlara örnek gösterilebilir. Açık fotobiyoreaktörlerin kapalı fotobiyoreaktör türlerine kıyasla inşaat maliyetinin düşük olması ve biyokütle üretim veriminin yüksek olması gibi avantajları vardır [1]. Atıksu içerisindeki kirleticilerin mikroalgler için nutrient özelliği göstermesi evsel atıksu arıtma tesislerinde açık havuzların biyolojik arıtma yöntemi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak yapısal özellikleri nedeniyle aşırı soğuk ve sıcak ortamlardan fazla etkilenmesi mikroalg kültür koşullarının bozulmasına neden olmaktadır. Mikroalglerin açık havuzlarda optimum hızda büyümesi bölgesel iklim koşullarının uygun olmasıyla birlikte su içerisinde yeterli besin maddelerinin yeterliliğine bağlıdır. Mikroalgler ortam koşullarına kolay adapte olmasına rağmen toksik maddelerden etkilenecek büyüme hızının düşmesinin engellenmesi için atıksu içeriğine dikkat edilmelidir. Ayrıca havuzda yüksek verimlerde karıştırma yapılmasıyla ölü bölgelerin oluşumunun önüne geçilebilmektedir [1].



Şekil 1. Açık fotobiyoreaktörlerin şematik gösterimi a) Dairesel fotobiyoreaktör, b) Karusel tipi fotobiyoreaktör [1]

Tübüler fotobiyoreaktörler ve plakalı fotobiyoreaktörler sık kullanılan kapalı fotobiyoreaktör türlerinden bazılarıdır. Bu fotobiyoreaktörlerin kapalı yapıya sahip olmaları mikroalgin optimum büyüme koşullarının kontrol edilmesini nispeten kolaylaştırmaktadır. Tübüler fotobiyoreaktörler genelde fotosentez için gerekli ışığın kolayca girmesini sağlamak amacıyla şeffaf cam veya plastik (UV geçirgenliği olan) malzemeden yapılmaktadır. Tüplerin çapı ışık yeterli ışık penetrasyonunu sağlamak amacıyla 0,1 m'den az olmalıdır. Bu tüpler yatay, dikey, eğimli veya sarmal yapılarda olmaktadır. Karıştırma reaktörün altında bulunan pompa ile yapılmaktadır [8]. Diğer kapalı fotobiyoreaktör türü plakalı fotobiyoreaktörlerdir. Düz plakalı fotobiyoreaktörler yapısal özelliği açısından yüksek aydınlatma alanına sahip olup suda yüksek hücre yoğunluğuna ulaşılmasını sağlamaktadır. Şeffaf malzemeden yapılan plakaların kalınlıkları ışık geçirgenliğinin maksimum seviyede tutulması için birkaç milimetredir [9].

Kolon tipi reaktörler laboratuvar ölçekli çalışmalarda kullanılmaktadır. Kolon tip reaktörler genelde 10 cm çapında ve 25 cm yüksekliğinde olmaktadır. Çalışma kapsamına göre seri bağlı reaktörler kullanılabilir. Yapı malzemesi olarak fiberglass veya cam kullanılmasıyla yeterli ışığı geçirgenliği elde edilebilmektedir. Reaktör içerisinde hava giriş ve karıştırma yapıları bulunmaktadır. Yaklaşık 2-3 L hacminde ölü nokta olmayacak hızda karışım sağlanmalıdır. Hava debisi bazı çalışmalarda 400 ml.dk⁻¹'dir. Açık fotobiyoreaktörlere kıyasla maliyetli olmasına rağmen işletimi daha kolaydır [1].



Şekil 2. Fotobiyoreaktörler a.) Tübüler Fotobiyoreaktör, b.) Plakalı Fotobiyoreaktör, c.) Kolon Tipi Fotobiyoreaktörler [1]

2.2. Hasat

Mikroalg biyokütlesi yüksek miktarda su ihtiva etmektedir. Ekstraksiyon veriminin artırılabilmesi mikroalgler hasat edilirken suyun olabildiği kadar uzaklaştırılmasına bağlıdır. Genellikle bu işlem enerji gereksinimi nedeniyle maliyetlidir. Bazı mikroalg türlerinin çökeltme yoluyla kolaylıkla hasat edilebilmesi enerji üretiminde kullanılacak olan türün seçiminde oldukça önemlidir. Filtrasyon yöntemi laboratuvar ölçekli çalışmalarda yüksek verim sağlamasına rağmen büyük ölçekli çalışmalarda tıkanma problemi kullanımını sınırlandırmaktadır. Santrifüjleme, flokülasyon, filtrasyon, çöktürme, elektrokoagülasyon yöntemleri mikroalgin hasat edilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Kullanılacak yöntemin seçimi mikroalg yoğunluğuna ve mikroalg boyutuna bağlıdır [10].

3. Mikroalglerden Biyodizel Eldesi

Biyodizel üretiminde yenabilir tohumların yağları yerine algal yağın kullanılması birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Çalışmalar kapsamında öncelikle laboratuvar ölçekli denemelerde geleneksel ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak biyodizel sentezi yapılmıştır. Son yıllarda ise mikroalglerin hasat edilmesi, lipit ekstraksiyonu ve transesterifikasyonun

birlikte yapıldığı çalışmalar ön plana çıkmıştır. Mikroalglerden direk biyodizel sentezinin en önemli avantajları maliyetin ve sürenin azaltılmasıdır.

3.1. Ekstraksiyon yöntemleri

Mikroalg lipit ekstraksiyonunda belirlenmiş spesifik bir yöntem bulunmamaktadır [11]. Ekstraksiyon yöntemi seçiminde çözücü tüketiminin az, ekstraksiyon veriminin yüksek ve süresinin az olması tercih sebeplerindendir [12]. Büyük ölçekli lipit ekstraksiyonunda ekstraksiyon etkinliği, lipitlerle reaktivite, maliyet, proses güvenliği ve yan ürünün ticari değeri önemli parametrelerdir. Hücre duvarında pasif difüzyon olduğu için hücre duvarının hızlı parçalanması lipit ekstraksiyon verimini artırmaktadır. Ekstraksiyonda çözücü hücre duvarını parçalayarak hücre içi lipide doğrudan erişebilmektedir ve lipit geri kazanım verimliliğini artırmaktadır [13]. Mekanik ve mekanik olmayan birçok yöntem bulunmaktadır.

Tablo 1. Ekstraksiyon yöntemleri

Mekanik yöntemler	Mekanik olmayan yöntemler
Hidrolik press	Ticari solvent kullanımı
Ultrasonikasyon	Asitler
Mikrodalga destekli ekstraksiyon	Nanopartiküller
Elektrik darbesi modu	Süperkritik akışkan
Hücre homojenizasyonu	İyonik sıvı
	Biyolojik enzimler

3.2. Mekanik Yöntemler

Presleme, ultrasonik destekli yağ ekstraksiyonu, mikrodalga destekli yağ ekstraksiyonu, elektrik darbesi modu ve hücre homojenizasyonu yöntemleri mekanik ekstraksiyon yöntemleridir. Mekanik yöntemlerin önemli dezavantajı yüksek biyokütle kayıplarına neden olmasıdır [14]. Ancak solvent kullanımının ve ekstraksiyon süresinin azaltılabilmesi bazı mekanik ekstraksiyon yöntemlerinin avantajlarıdır [15]. Örneğin mikroalg lipit ekstraksiyonu için mekanik presleme kullanılması uygun değildir. Mikroalglerin hücre içi lipit salınımını bloke eden kalın hücre duvarı bulunması hücrenin parçalanarak lipide ulaşılması oldukça zorlaştırmaktadır [16]. Yapılan bir çalışmada mikroalgin hidrolik presleme ile lipitlerin yaklaşık %50'sinin bozulma fraksiyonuna ulaşabildiği ancak preslemeden önce sıvı azot eklenmesi durumunda lipidin bozulma fraksiyonunun %90'a kadar ulaşabildiği raporlanmıştır. Lipit ekstraksiyon veriminin önemli derecede artmasının nedeni sıvı azotla birlikte mikroalg hücrelerinin aniden donmasıyla

hücre duvarının kırılğan hale gelmesi ve böylece hücre içi lipitin salınmasının kolaylaşmasından kaynaklanmaktadır [17].

Ultrasonikasyon yöntemiyle lipit ekstraksiyonunda çözeltilerin karıştırılmasını kolay olması ve hücre duvarını bozmasında yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymaması gibi avantajları vardır [18]. Ultrasonikasyon yöntemi temelde kavitasyonu indükleyen basınç dalgalarını yaymak için ses dalgalarının kullanılmasıdır. Yapılan bir çalışmada [19] ultrasonikasyon yöntemi kullanılarak lipit eldesinde ekstraksiyon süresinin %95 verimle azaldığı görülmektedir. Ancak başka bir çalışmada [20] sonikasyon gücünün ekstraksiyon verimini artırmasına rağmen lipit kalitesini düşürdüğü bu nedenle rijit hücre duvarına sahip mikroalg türlerinde kullanılabileceği raporlanmıştır.

Mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi genellikle ultrasonikasyon yöntemine benzetilmektedir. Bu yöntemin avantajları az miktarda solvent kullanılması ve kısa ısıtma süresi olmasıdır. Mikrodalga enerjisi hızlı enerji transferi sağlayarak etkili ısıtma özelliği göstermektedir [21].

Elektrik darbesi modu yöntemi mikroalg hücresinin membran özelliklerini etkilemek için darbeleri elektrik alanları üretilmesiyle lipit ekstraksiyonudur. Elektrik alanının uygulanmasıyla dış hücre zarının geçirgenliğini ve iletkenliğini artıran zar ötesi voltajla sağlanmaktadır. Elektrik darbe modu yöntemi elektroporasyon olarak bilinmektedir. Seçici olması, hücre içi lipit salınmasına izin verirken solvent kullanılması gerekliliği gibi dezavantajları vardır [21], [22]. Fakat, Garoma & Janda [23] yaptığı çalışmada solvent olarak n-hekzan/ metanol/ su çözücüsü kullanılan yöntemlere kıyasla elektroporasyon yönteminde giren kütle başına en yüksek enerji kazancını elde etmiştir.

Hücre homojenizasyonu yüksek maliyetli olan mikroalgin kurutulması ihtiyacını ortadan kaldıran ve büyük hacimlerde çalışılması kolay olan bir yöntemdir. Halim ve ekibinin [24] yaptığı çalışmada ultrasonikasyon ve presleme yöntemlerine kıyasla daha yüksek lipit verimi elde edilmiştir.

3.3. Mekanik Olmayan Yöntemler

Hücre duvarını parçalamak için solvent kullanımı veya enzimlerin kullanıldığı yöntemleri içermektedir. Kimyasal veya biyolojik maddeler hücre zarıyla etkileşime girerek hücrelere içerisindeki bileşenlerin salınımını sağlamaktadır [25]. Lipit ekstraksiyonu polar veya polar olmayan solventlerin kullanımıyla gerçekleşmektedir [26]. Çalışmalarda genellikle ticari etanol, metanol, hekzan ve kloroform gibi çözücüler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntem olan Bling ve Dyer yönteminde iki fazlı ekstraksiyon kullanılmaktadır. Yöntemde çözücü olarak kullanılan kloroform ve hekzan toksik madde olması nedeniyle çevreye olumsuz etkileri vardır. Ayrıca mikroalg içerisindeki klorofili çözücü olarak kullanılarak ürünün kalitesini etkilemektedir [27]. İdeal solvent seçiminde çözücünün lipide uygun olması ve lipitten kolay

ayrılmasını sağlayacak kadar uçucu olmasına dikkat edilmelidir. Ticari solventlerin çevreye verebileceği zarar nedeniyle yeni çevre dostu ve sürdürülebilir olan yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Asit kullanılan ekstraksiyon yöntemlerinde genellikle ısı kullanılmaktadır. Kuvvetli asit biyobileşenin yüksek sıcaklıklarda hidrolizini gerçekleştirir. Sülfirik asitin kullanıldığı bir çalışmada J.-Y. Park ve diğ. [28] 120 °C de 60 dakika ısıtılan %1 lik asitin kullanılmasıyla *Chlorella vulgaris* mikroalgden elde edilen lipit oranının 4 kat arttığı raporlanmıştır. Ancak başka bir çalışmada nitrik asit konsantrasyonunun artmasının *Nannochloropsis salina* türü mikroalgden elde edilen lipit veriminde azalmaya yol açtığı bulunmuştur [29]. Bu nedenle kullanılacak olan asidin mikroalg türüne göre seçilmesi ve uygun konsantrasyonlarda kullanılması lipit ekstraksiyon verim artışını sağlayabilir.

Nanopartiküller boyutları sayesinde biyomoleküllere kolaylıkla nüfuz edebilir ve etkilşime girebilir. Abdul Razack ve diğ. [30] yaptığı çalışmada gümüş nanoparçacıklarının *Chlorella vulgaris* türü mikroalgin hücre duvarında hasara neden olmasıyla lipit ekstraksiyonunda kullanımının uygun olduğunu belirtmiştir. Çinko oksit nanoparçacıklarının kullanıldığı yöntemde bu parçacıkların hücre zarının geçirgenliğini artırdığı tespit edilmiştir. Nikel oksit nanoparçacıklarının *Chlorella vulgaris* lipit ekstraksiyonunda kullanımı incelenmiş ve ekstraksiyon veriminin %200 arttığı görülmüştür [31], [32]. Ancak nanoparçacıkların sentezinin maliyeti, çevresel kaygılar ve tekrar kullanılabilirliği bu teknolojinin ticari kullanımda uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Süperkritik akışkanlar düşük viskozite, yüksek yayılım gücü, kolay ayırma, yüksek çözünürlük ve düşük yüzey gerilimi nedeniyle geleneksel çözücülere alternatif olarak bulunmuştur. Süperkritik CO₂ biyobileşenlerin ekstraksiyonları için yaygın geri dönüştürülebilir kullanılan süperkritik akışkandır. Millao & Uquiche ve diğ. yaptığı çalışmada [33] süperkritik CO₂'in *Nanno- chloropsis gaditana* türü mikroalg lipit ekstraksiyonunda sıcaklığın ve CO₂ yoğunluğunun artmasının yüksek lipit verimini sağladığı bulunmuştur.

İyonik sıvılar uçucu olmayan ve iyi termal stabiliteye sahip organik çözücülerdir. İyonik sıvılar hem lipit ekstrakte etmekte hem de ıslak biyokütleden proteinler gibi diğer bileşikler geri kazanmakta kullanılmaktadır. Choi ve diğ. [34] yaptığı çalışmada organik solventler ve iyonik sıvıların lipit ekstraksiyonunda kullanılması durumunda verim karşılaştırması yapmıştır. Organik solvent olarak hekzan-metanol karışımı kullanmıştır. İyonik sıvı olarak 1-etil-3-metil imidazolium asetat, 1-etil-3-metil imidazolium dietilfosfat, 1-etil-3-metil imidazolium tetrafloroborat ve 1-etil-3-metil imidazolium klorür kullanmıştır. Çalışma sonucunda İyonik sıvıların lipit verimlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Farklı bir

çalışmada [35] kurutulmuş biyokütleden lipit ekstraksiyonu için iyonik sıvı kullanıldığı durumda verimin arttığı ama biyokütlenin kurutulması nedeniyle maliyetinde arttığı belirtilmiştir.

Biyolojik enzimler kararsız bileşiğin korunmasıyla birlikte hücre duvarının bozulmasıyla lipit geri kazanımı sağlayan ekstraksiyon yöntemidir [36]. Yapılan çalışmalarda optimum enzim seçimi ve ortam şartlarının belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin kombinasyonu mikrolaglerden lipit veriminin artmasını sağlamaktadır. Tekrar kullanılabilirliğinin sağlanması enzimlerin mekanik, termal veya kimyasal strese maruz kalmamasına bağlı olduğu çalışmalarda özellikle belirtilmiştir [37].

3.4. Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretimi çalışmalar kapsamında iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. İlk yöntem mikroalgin lipitinin uygun bir ekstraksiyon yöntemiyle elde edilerek transesterifikasyon reaksiyonuyla biyodizel üretimidir. İkinci yöntem ise hasat edilen mikroalgten tek basmakta biyozel üretimidir. Bu iki yöntemin detayları aşağıda verilmektedir.

3.4.1. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon reaksiyonu bir katalizör varlığında alkolün (metanol veya etanol) bitkisel yağ ile reaksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Reaksiyon sonucunda bitkisel yağ metil veya etil ester (biyodizel) ve gliserine dönüştürmektedir. Katalizör seçimi kullanılacak olan yağa bağlıdır [38], [39]. Biyodizel sentezi çalışmalarında katalizör olarak genellikle KOH kullanılmaktadır. Metanol/katalizör oranına göre reaksiyon sonucunda elde edilen biyodizel verimi değişmektedir. Reaksiyon derecesi 60 °C ve reaksiyon süresi 1-3 saat arasında değişmektedir. Reaksiyon sonrasında homojen olarak karışmış olan gliserin ve biyodizelin ayrılması için oda sıcaklığında yaklaşık bir gün bekletilmesi gerekmektedir. Bu işlemde ayırma hunisi kullanır ve dibe çöken gliserin biyodizelden ayrılır. Üretilen biyodizel kalite durumuna göre yıkama, saflaştırma işlemlerinden geçmelidir [1].

3.4.2. Direk Biyodizel üretimi

Biyodizel üretimi geleneksel yöntemlerde ekstrakte edilmiş lipitlerin transesterifikasyonu reaksiyonu sonucu üretilmektedir. Yapılan yaşam döngü analizi çalışmasında biyodizel üretim maliyetinin yaklaşık %90'nını kurutma ve susuzlaştırma proseslerinin oluşturduğu belirtilmiştir [40]. Son dönemlerde geliştirilen transesterifikasyon yöntemleriyle biyodizel üretim veriminde artış sağlanmıştır [38]. Lipit ekstraksiyonu, solvent geri kazanımı ve transesterifikasyon reaksiyonunun tek adımda birleştirilmesi biyodizel üretiminde daha ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Islak ve kuru mikroalg biyokütlesinin doğrudan biyodizel sentezi üzerine yapılan araştırmalarda

yüksek nem içeriğinin biyodizel verimini azalttığı bulunmuştur [41]. Mikroalg biyokütlesinden doğrudan biyodizel sentezinde alkol ekstraksiyon çözücüsü ve transesterifikasyon reaktanı olarak görev yapmaktadır [42]. Kosolvent kullanımı ekstraksiyon ajanı olarak hareket ederek ve algal yağı alkol ve katalizör arasında homojen bir sistem oluşturarak proses verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir. Doğrudan biyodizel sentezi, tüm lipitlerin biyodizele dönüştürüldüğü lipit kaybını ortadan kaldırır ve gliserol gibi ticari değeri olan ürünlerin eş zamanlı üretimini sağlamaktadır [43].

3.4.2.1. Katalizörle Direkt Biyodizel Üretimi

Katalizör seçimi biyodizel üretim verimini artıran faktörlerden biridir. Biyodizel üretiminde geleneksel katalizörler arasında bitkisel yağın yağ asidi içeriğine bağlı olan baz veya asit katalizörü bulunmaktadır. Baz katalizli bir reaksiyon trigliseritlerin karbonil grubunun elektrofilik kısmına saldırmak için alkolden bir nükleofilik alkoksit oluşturulmaktadır. Asit katalizli reaksiyonda ise trigliseritlerin karbonil grubu protonlanır ve alkol bir tetrahedral ara ürün oluşturmak amacıyla protonlanmış karbona saldırır [44]. Asit katalizli reaksiyonun dezavantajı baz katalizli reaksiyona göre düşük verime sahip olmasıdır. Düşük serbest yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretiminde baz katalizörlerin kullanımı asit katalizörlere kıyasla daha uygundur.

Homojen katalizörlerin homojen olmaları üründen ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca ürünün saflaştırılması ek maliyete ve ekstra atık oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle heterojen katalizör, katalizör geri kazanımı ihtiyacını ortadan kaldırarak biyodizel üretim maliyetini düşürdüğü için doğrudan biyodizel sentezine daha uygun bir seçenektir. Örneğin *Scenedesmus obliquus* türü mikroalgden doğrudan biyodizel üretiminde 1 gram biyokütle, 1 ml hekzan, 20:1 metanol:yağ (ağırlıkça), %15 lik krom-alüminyum kalizörünün 200 rpm'de 80 °C'de 4 saat karıştırılması sonucunda %98 biyodizel üretim verimi elde edilmiştir [45].

3.4.2.2. Süperkritik Şartlarda Direkt Biyodizel Üretimi

Transesterifikasyon reaksiyonu, katalizör kullanımını ortadan kaldıran ve böylece kirleticilerin üretimini önleyen süper kritik koşullar altında da gerçekleştirilebilir [46]. Katalitik olmayan transesterifikasyon, homojen bir reaksiyon fazı oluşturmak için alkolün kritik sıcaklığının üstünde bir sıcaklık gerektirmesine rağmen süperkritik durumda olması gerekmemektedir. Süperkritik metanol, kolza yağı [47], palmiye yağı [48], *Jatropha* yağı [49] ve atık bitkisel yağ [50] gibi çeşitli hammaddelerin transesterifikasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlem yüksek miktarda biyodizel üretmesine rağmen, zorlu reaksiyon koşulları genellikle üretimin verimli bir şekilde devam etmesini sınırlandırmaktadır.

Süperkritik koşullarda metanol, katı mikroalg hücre duvarlarını kırar ve aynı anda lipitin hücre içerisinde solventle difüzyonuna izin vermektedir [40]. Mikroalg biyokütlesinin doğrudan transesterifikasyonunda metanolün biyolojik olarak bozunabilir bir alternatifi olarak etanol kullanılabilir. Burada her iki yağ asidi alkil esterleri için benzer verimler bildirilmiştir [51]. Süperkritik metanole karbon dioksit eklenmesi reaksiyon sıcaklığını düşürmektedir [52]. Bazı araştırmacılar mikroalgal biyodizel üretiminde süperkritik metanol kullanımının verimli bir yöntem olduğunu belirtmektedir.

Metanol toksik ve yenilenemez bir solvent olması nedeniyle, etanol, izopropanol ve butanol gibi daha uzun zincirli alkoller potansiyel alkol alternatifleri olarak çalışılmıştır. Daha uzun zincirli alkollerin kullanılmasıyla üretilen biyodizelin soğuk akış özelliklerinin ve oksidasyon stabilitesini de arttığı yapılan çalışmada belirtilmiştir [53]. Ayrıca yapılan bir çalışmada [54] yağ asidi etil esterlerinin yağ asidi metil esterlerinden daha iyi setan sayısı, oksidasyon kararlılığı ve soğuk akış özelliklerine sahip olduğunu bildirilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında mikroalg yetiştiriciliği, mikroalgin hasatı, ekstraksiyonu ve biyodizel üretimini etkileyen faktörler ana hatlarıyla verilmiştir. Literatür araştırmasında çalışmalarda mikroalgden elde edilen biyodizelin fosil yakıtlara kıyasla hem daha çevreci hem sürdürülebilir olduğu vurgulanmaktadır. Biyodizel üretim maliyetin azaltılmasında farklı yöntemlerin ekonomik analizleri göz önünde bulundurulmalıdır. Sürdürülebilir yakıt olarak biyodizelin kullanılmasının sağlanması hasat, ekstraksiyon ve transesterifikasyon proseslerinin birlikte kullanıldığı doğrudan biyodizel yöntemlerinin geliştirilmesine bağlıdır. Çalışmalar incelendiğinde büyük ölçekli biyodizel üretimine geçmek için yöntemler ekonomik anlamda uygun değildir. Hibrit yöntemler geliştirilerek ve bu yöntemlerin sanayide kullanımı teşvik edilerek mikroalglerin biyodizel hammaddesi olarak kullanımında pazar payının oluşturulması sağlanabilir.

5. Referanslar

- [1] M. Faried, M. Samer, E. Abdelsalam, R. S. Yousef, Y. A. Attia, and A. S. Ali, "Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. May, pp. 893–913, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.199.
- [2] B. H. H. Goh, H. C. Ong, M. Y. Cheah, W.-H. Chen, K. L. Yu, and T. M. I. Mahlia, "Sustainability of direct biodiesel synthesis from microalgae biomass: A critical review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 107, pp. 59–74, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.02.012.

- [3] S. Khan *et al.*, “Biodiesel Production From Algae to Overcome the Energy Crisis,” *HAYATI J. Biosci.*, vol. 24, no. 4, pp. 163–167, 2017, doi: 10.1016/j.hjb.2017.10.003.
- [4] P. Spolaore, C. Joannis-Cassan, E. Duran, and A. Isambert, “Commercial applications of microalgae,” *J. Biosci. Bioeng.*, vol. 101, no. 2, pp. 87–96, Feb. 2006, doi: 10.1263/jbb.101.87.
- [5] Y. Li, M. Horsman, N. Wu, C. Q. Lan, and N. Dubois-Calero, “Biofuels from Microalgae,” *Biotechnol. Prog.*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, Mar. 2008, doi: 10.1021/bp070371k.
- [6] Qingxue Kong, Fei (or initial) Yu, Paul Chen, and Roger Ruan, “High oil content microalgae selection for biodiesel production,” in *2007 Minneapolis, Minnesota, June 17-20, 2007*, 2007, vol. 14 BOOK, p. 1, doi: 10.13031/2013.23441.
- [7] Anil Kommareddy and Dr. Gary Anderson, “Study of Light as a parameter in the growth of algae in a Photo-Bio Reactor (PBR),” in *2003, Las Vegas, NV July 27-30, 2003*, Nov. 2003, p. 1, doi: 10.13031/2013.13868.
- [8] E. Molina, J. Fernández, F. G. Acién, and Y. Chisti, “Tubular photobioreactor design for algal cultures,” *J. Biotechnol.*, vol. 92, no. 2, pp. 113–131, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0168-1656(01)00353-4.
- [9] B. Kiran, R. Kumar, and D. Deshmukh, “Perspectives of microalgal biofuels as a renewable source of energy,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 88, pp. 1228–1244, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.06.022.
- [10] W. N. A. Kadir, M. K. Lam, Y. Uemura, J. W. Lim, and K. T. Lee, “Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: A review,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 171, no. March, pp. 1416–1429, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.06.074.
- [11] A. M. P. Neto *et al.*, “Improvement in microalgae lipid extraction using a sonication-assisted method,” *Renew. Energy*, vol. 55, pp. 525–531, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.01.019.
- [12] M. A. Islam, R. J. Brown, I. O’Hara, M. Kent, and K. Heimann, “Effect of temperature and moisture on high pressure lipid/oil extraction from microalgae,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 88, pp. 307–316, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.08.038.

- [13] L. S. Sierra, C. K. Dixon, and L. R. Wilken, "Enzymatic cell disruption of the microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* for lipid and protein extraction," *Algal Res.*, vol. 25, pp. 149–159, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.algal.2017.04.004.
- [14] Y. Peralta-Ruiz, A. D. González-Delgado, and V. Kafarov, "Evaluation of alternatives for microalgae oil extraction based on exergy analysis," *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 226–236, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.06.065.
- [15] X. Zhang, S. Yan, R. D. Tyagi, P. Drogui, and R. Y. Surampalli, "Ultrasonication assisted lipid extraction from oleaginous microorganisms," *Bioresour. Technol.*, vol. 158, pp. 253–261, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.132.
- [16] M. J. Cooney, G. Young, and R. Pate, "Bio-oil from photosynthetic microalgae: Case study," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 1, pp. 166–177, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.06.134.
- [17] A. Abbassi, M. Ali, and I. A. Watson, "Temperature dependency of cell wall destruction of microalgae with liquid nitrogen pretreatment and hydraulic pressing," *Algal Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 190–194, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.algal.2013.12.008.
- [18] J. A. Gerde, M. Montalbo-Lomboy, L. Yao, D. Grewell, and T. Wang, "Evaluation of microalgae cell disruption by ultrasonic treatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 125, pp. 175–181, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.08.110.
- [19] X. Zhang, S. Yan, R. D. Tyagi, P. Drogui, and R. Y. Surampalli, "Ultrasonication aided biodiesel production from one-step and two-step transesterification of sludge derived lipid," *Energy*, vol. 94, pp. 401–408, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2015.11.016.
- [20] M. Viot, V. Tomao, C. Ginies, F. Visinoni, and F. Chemat, "Microwave-integrated extraction of total fats and oils," *J. Chromatogr. A*, vol. 1196–1197, no. 1–2, pp. 57–64, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.chroma.2008.05.023.
- [21] L. C. Su, Y. H. Hsu, and H. Y. Wang, "Enhanced labeling of microalgae cellular lipids by application of an electric field generated by alternating current," *Bioresour. Technol.*, vol. 111, pp. 323–327, May 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.01.180.
- [22] O. Parniakov *et al.*, "Pulsed electric field assisted extraction of nutritionally valuable compounds from microalgae *Nannochloropsis* spp. using the binary mixture of organic solvents and water," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 27, pp. 79–85, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2014.11.002.

- [23] T. Garoma and D. Janda, "Investigation of the effects of microalgal cell concentration and electroporation, microwave and ultrasonication on lipid extraction efficiency," *Renew. Energy*, vol. 86, pp. 117–123, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.08.009.
- [24] R. Halim, R. Harun, M. K. Danquah, and P. A. Webley, "Microalgal cell disruption for biofuel development," *Appl. Energy*, vol. 91, no. 1, pp. 116–121, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.08.048.
- [25] T. Dong, E. P. Knoshaug, P. T. Pienkos, and L. M. L. Laurens, "Lipid recovery from wet oleaginous microbial biomass for biofuel production: A critical review," *Applied Energy*, vol. 177, Elsevier Ltd, pp. 879–895, Sep. 01, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.002.
- [26] A. E. F. Abomohra, W. Jin, and M. El-Sheekh, "Enhancement of lipid extraction for improved biodiesel recovery from the biodiesel promising microalga *Scenedesmus obliquus*," *Energy Convers. Manag.*, vol. 108, pp. 23–29, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.11.007.
- [27] Z. Liu, S. Rochfort, and B. G. Cocks, "Optimization of a single phase method for lipid extraction from milk," *J. Chromatogr. A*, vol. 1458, pp. 145–149, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.CHROMA.2016.06.055.
- [28] J. Y. Park, Y. K. Oh, J. S. Lee, K. Lee, M. J. Jeong, and S. A. Choi, "Acid-catalyzed hot-water extraction of lipids from *Chlorella vulgaris*," *Bioresour. Technol.*, vol. 153, pp. 408–412, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.065.
- [29] I. Lee, J. Y. Park, S. A. Choi, Y. K. Oh, and J. I. Han, "Hydrothermal nitric acid treatment for effectual lipid extraction from wet microalgae biomass," *Bioresour. Technol.*, vol. 172, pp. 138–142, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2014.08.101.
- [30] S. Abdul Razack, S. Duraianarasan, and V. Mani, "Biosynthesis of silver nanoparticle and its application in cell wall disruption to release carbohydrate and lipid from *C. vulgaris* for biofuel production," *Biotechnol. Reports*, vol. 11, pp. 70–76, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.btre.2016.07.001.
- [31] C. H. Tang, C. Y. Lin, S. H. Lee, and W. H. Wang, "Membrane lipid profiles of coral responded to zinc oxide nanoparticle-induced perturbations on the cellular membrane," *Aquat. Toxicol.*, vol. 187, pp. 72–81, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.aquatox.2017.03.021.
- [32] W. C. Huang and J. D. Kim, "Nickel oxide nanoparticle-based method for simultaneous harvesting and disruption of microalgal cells," *Bioresour. Technol.*, vol. 218, pp. 1290–1293, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.07.091.

- [33] S. Millao and E. Uquiche, "Extraction of oil and carotenoids from pelletized microalgae using supercritical carbon dioxide," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 116, pp. 223–231, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.supflu.2016.05.049.
- [34] S. A. Choi, Y. K. Oh, M. J. Jeong, S. W. Kim, J. S. Lee, and J. Y. Park, "Effects of ionic liquid mixtures on lipid extraction from *Chlorella vulgaris*," *Renew. Energy*, vol. 65, pp. 169–174, May 2014, doi: 10.1016/j.renene.2013.08.015.
- [35] M. Olkiewicz *et al.*, "Efficient extraction of lipids from primary sewage sludge using ionic liquids for biodiesel production," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 153, pp. 118–125, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.seppur.2015.08.038.
- [36] A. Zuorro, S. Miglietta, G. Familiari, and R. Lavecchia, "Enhanced lipid recovery from *Nannochloropsis* microalgae by treatment with optimized cell wall degrading enzyme mixtures," *Bioresour. Technol.*, vol. 212, pp. 35–41, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.04.025.
- [37] A. Zuorro, G. Maffei, and R. Lavecchia, "Optimization of enzyme-assisted lipid extraction from *Nannochloropsis* microalgae," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 67, pp. 106–114, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.jtice.2016.08.016.
- [38] M. A. Islam, K. Heimann, and R. J. Brown, "Microalgae biodiesel: Current status and future needs for engine performance and emissions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, Elsevier Ltd, pp. 1160–1170, Nov. 01, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.041.
- [39] S. R. Chia *et al.*, "Sustainable approaches for algae utilisation in bioenergy production," *Renew. Energy*, vol. 129, pp. 838–852, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.renene.2017.04.001.
- [40] H. Mohamadzadeh Shirazi, J. Karimi-Sabet, and C. Ghotbi, "Biodiesel production from *Spirulina* microalgae feedstock using direct transesterification near supercritical methanol condition," *Bioresour. Technol.*, vol. 239, pp. 378–386, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.04.073.
- [41] H. J. Im, H. S. Lee, M. S. Park, J. W. Yang, and J. W. Lee, "Concurrent extraction and reaction for the production of biodiesel from wet microalgae," *Bioresour. Technol.*, vol. 152, pp. 534–537, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2013.11.023.

- [42] L. Zhu, Y. K. Nugroho, S. R. Shakeel, Z. Li, B. Martinkauppi, and E. Hiltunen, "Using microalgae to produce liquid transportation biodiesel: What is next?," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, Elsevier Ltd, pp. 391–400, Oct. 01, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.089.
- [43] N. Martínez, N. Callejas, E. G. Morais, J. A. Vieira Costa, I. Jachmanian, and I. Vieitez, "Obtaining biodiesel from microalgae oil using ultrasound-assisted in-situ alkaline transesterification," *Fuel*, vol. 202, pp. 512–519, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.04.040.
- [44] A. K. Endalew, Y. Kiros, and R. Zanzi, "Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO)," *Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 2693–2700, May 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.02.010.
- [45] A. Guldhe *et al.*, "Conversion of microalgal lipids to biodiesel using chromium-aluminum mixed oxide as a heterogeneous solid acid catalyst," *Renew. Energy*, vol. 105, pp. 175–182, May 2017, doi: 10.1016/j.renene.2016.12.053.
- [46] S. Jazzar *et al.*, "Direct supercritical methanolysis of wet and dry unwashed marine microalgae (*Nannochloropsis gaditana*) to biodiesel," *Appl. Energy*, vol. 148, pp. 210–219, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.03.069.
- [47] D. Kusdiana and S. Saka, "Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 91, no. 3, pp. 289–295, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0960-8524(03)00201-3.
- [48] E. S. Song, J. won Lim, H. S. Lee, and Y. W. Lee, "Transesterification of RBD palm oil using supercritical methanol," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 44, no. 3, pp. 356–363, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.supflu.2007.09.010.
- [49] S. Lim, S. S. Hoong, L. K. Teong, and S. Bhatia, "Supercritical fluid reactive extraction of *Jatropha curcas* L. seeds with methanol: A novel biodiesel production method," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 18, pp. 7169–7172, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2010.03.134.
- [50] S. M. Ghoreishi and P. Moein, "Biodiesel synthesis from waste vegetable oil via transesterification reaction in supercritical methanol," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 76, pp. 24–31, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.supflu.2013.01.011.
- [51] J. S. Lemões *et al.*, "Sustainable production of biodiesel from microalgae by direct transesterification," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 3, pp. 33–38, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.scp.2016.01.002.

- [52] S. Saka and Y. Isayama, "A new process for catalyst-free production of biodiesel using supercritical methyl acetate," *Fuel*, vol. 88, no. 7, pp. 1307–1313, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.fuel.2008.12.028.
- [53] R. Huang, J. Cheng, Y. Qiu, T. Li, J. Zhou, and K. Cen, "Using renewable ethanol and isopropanol for lipid transesterification in wet microalgae cells to produce biodiesel with low crystallization temperature," *Energy Convers. Manag.*, vol. 105, pp. 791–797, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.08.036.
- [54] H. K. Reddy *et al.*, "Direct conversion of wet algae to crude biodiesel under supercritical ethanol conditions," *Fuel*, vol. 115, pp. 720–726, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.fuel.2013.07.090.

CHAPTER

3

Recent Advances in Science and Technology

**Mikroalglerden Biyohidrojen Üretimi; Hidrojen
Metabolizması, Biyoreaktörlerin Tasarımı ve Biyohidrojen
Üretimindeki Zorluklar (Ayşe Elif Ateş)**

Mikroalglerden Biyohidrojen Üretimi; Hidrojen Metabolizması, Biyoreaktörlerin Tasarımı ve Biyohidrojen Üretimindeki Zorluklar

Ayşe Elif Ateş¹

¹*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü,
E-mail: elifdenizler@istanbul.edu.tr*

1. Giriş

Küresel ısınmayla birlikte ortaya çıkan çevresel sorunların önlenmesi için araştırmacılar fosil yakıtların yerini alabilecek alternatif yenilenebilir enerji üretimi çalışmaları yapmaktadır. Yanma sırasında kirletici gaz salınımına neden olmadan patlayıcı özelliğiyle hidrojen enerjisi son dönemlerde enerji alanında yaygın çalışma konularından biridir. Günümüzde hidrojen üretimi fosil yakıtlardan elektrik üretimi sırasında termokimyasal işlemlerle yapılmaktadır. Petrol endüstrisi %50 ve gübre endüstrisi %37 hidrojen kullanımına sahip olup en yüksek hidrojen ihtiyacı olan endüstrilerdir [1]. Ancak hidrojen enerjisi çalışma konusunun temeli sürdürülebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çalışmalar biyolojik yöntemlerle hidrojen üretimine yönelmiştir. Biyohidrojen üretimi günümüzde sadece laboratuvar ölçeğinde üretilen ve endüstrilerde kullanım miktarını karşılayacak kapasiteye henüz ulaşmamıştır. Hidrojen üretim hızı çalışmalarında maksimum üretimi sağlayabilmek için tasarım ve çalışma parametrelerinin optimizasyonu aşamalarında yaşanan zorluklar halen devam etmektedir [2]. Biyohidrojen üretimi büyük ölçüde sıcaklık ve basınca bağlı olması nedeniyle kimyasal veya elektrokimyasal yöntemlere kıyasla daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Doğal biyolojik dönüşümler sonunda hidrojen üretiminin sağlanması için bu metabolizmaya sahip mikroalgler veya bakteriler kullanılmaktadır. Bununla birlikte hidrojen üretiminde çeşitli mikroorganizmalar kullandığı farklı enzimler ve metabolik yollar mevcuttur. Hidrojenaz veya nitrojenaz enzimleri biyolojik yollarla hidrojen üretiminde kullanılan bazı ökaryotik organizmaların hidrojen metabolizmasını düzenleyen ana enzimlerdir [3].

Alglerden hidrojen üretimiyle ilgili yapılan ilk çalışmalarda çeşitli türler kullanılarak biyofotoliz veya fotosenteze dayalı hidrojen üretimine odaklanılmıştır. Mikroalglerin fotosentez kapasitesi artırılarak hidrojen üretim veriminin artışına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca farklı biyoreaktörler tasarlanarak hücrenin daha çok enerji depolaması sağlanmış ve hidrojen üretim verimi artırılabilmiştir. Işık ve oksijen ihtiyacı enerji tüketimini artırdığından karanlık fermentasyon çalışmalarıyla anaerobik ortamda biyohidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir [3]–[6].

Çalışma derleme çalışması olup hidrojen metabolizması, biyoreaktör tasarımı ve hidrojen enerjisi üretiminde yaşanan zorlukları incelemektedir.

2. Hidrojen Metabolizması

Termokimyasal yöntemlerle hidrojen üretiminde kullanılan kaynaklar fosil yakıtlar ve sudur. Fosil yakıtların tükenmek üzere olması hidrojen üretiminde kullanılmasında sürdürülebilir yöntem olmasını engellemektedir. Hidrojen üretiminde biyolojik yöntemlerin dışında kömürün gazlaştırılması ve suyun elektrolizi gibi yüksek sıcaklık gerektiren yöntemler mevcuttur. Fakat kömürün gazlaştırılması yöntemiyle hidrojen üretimi yüksek enerji gereksinimi nedeniyle çevre dostu olmayan yöntem olarak görülmektedir. Endüstri ihtiyacını karşılayacak kadar hidrojen üretiminde suyun elektrolizi yönteminin kullanılmasıyla açığa çıkan yüksek elektrik ihtiyacı üretimin pahalı elektriğe sahip ülkelerle sınırlandırmaktadır [3], [4].

2.1. Direkt Biyofotoliz

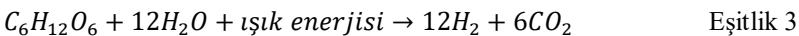
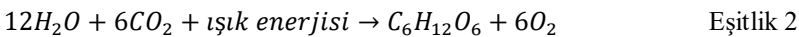
Direkt biyofotoliz, mikroalglerin ve siyanobakterilerin fotosentez yapabilme özelliğiyle suyun doğrudan oksijen ve hidrojene ayrılmasıyla oluşur [7], [8].



Mavi-yeşil alg olarak bilinen siyanobakteriler enerjilerini fotosentez yoluyla elde eden bir türe aittir. Mikroalgler su-ayırıştırıcı reaksiyonlar yoluyla sudaki protonları ve elektronları ayırarak güneş enerjisinden yararlanabilme özelliğine sahiptir. Biyohidrojen üretimi ışığın doğrudan emilmesi ve elektronların hidrojenaz ve nitrojenaz enzimlerine aktarılması yoluyla gerçekleşmektedir. Dezavantajları, hidrojenaz enziminin oksijene karşı çok hassas olmasıdır. Bu nedenle belirli bir miktarda oksijen mevcut olması hidrojenaz aktivitesini inhibe ederek hidrojen üretmesini durdurmaktadır. Ayrıca, direk biyofotoliz yüksek ışık yoğunluğu gerektirmektedir. Avantajı ise yeşil mikroalglerden on kat daha fazla hidrojen dönüşümüdür [4].

2.2. İndirekt Biyofotoliz

İndirekt biyofotolizde süreç iki aşamalıdır. İlk aşama; güneş ışığı ve protonların varlığında su moleküllerinin ayrılarak oksijen oluşmasıdır. İkinci aşamada depolanan karbondihidratla karbondioksit fiksasyonu meydana gelerek hidrojenaz enzimiyle hidrojen gazı üretilir [5].



Mavi-yeşil algler (siyanobakteriler) indirekt biyofotolizde kullanılabilen umut verici mikroorganizmalardır. Avantajları, hidrojen evriminin oksijen

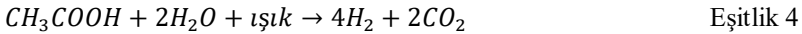
evriminden ayrılmasıdır. Aynı zamanda nispeten daha yüksek hidrojen verimleri elde edilebilmektedir. Ayrıca, yan ürünler etkili bir şekilde hidrojene dönüştürülebilir. Dezavantajı nitrojenazın önemli adenosin trifosfat (ATP) gereksinimidir. Ayrıca büyük ölçekli hidrojen üretiminde sürekli aydınlatmanın zorluğudur [4], [6].

2.3. Karanlık Fermantasyon

Karanlık fermantasyon güneş ışığı, su ve oksijen olmayan koşullarda hidrojen üretimi yöntemidir. Fermentatif mikroorganizmalar, kompleks organik polimerleri, gerekli hidrojen üreten bakterilerle daha düşük moleküler ağırlıklı organik asitleri ve alkollerin karışımına dönüştürülen monomerlere hidrolize eder [4], [9] [24-26]. Avantajları çeşitli karbon kaynaklarının kullanımı, ışısız hidrojen üretimi, bütirik asit, laktik asit ve asetik asit gibi değerli yan ürünler üretilmesidir. Dezavantajları nispeten daha düşük hidrojen verimi elde edilmesidir. Ayrıca nihai ürün karbondioksit içeren gaz karışımı olduğu için hidrojenin ayrılması gereklidir [10].

2.4. Foto-fermantasyon

Fotofermantasyon enerji kaynağı olarak güneş ışığının kullanılmasıyla organik substratların hidrojen ve karbondioksit fermantatif dönüşümüdür.



Enerji kaynağı olarak ışık kullanılmasıyla organik asit substratları, trikarboksilik asit döngüsü (TCA) kullanılarak oksitlenir, elektronlar, protonlar ve karbondioksit üretilir. Örnek olarak mor sülfür bakterileri (PNS) verilebilir [7], [8], [11]–[13]. Çevresel kirleticilerin giderilmesindeki avantajlar, endüstriyel atıkların kullanımı ve karanlık fermantasyondan üretilen organik asitlerin kullanımı fotofermantasyon yönteminin bazı avantajlarıdır. Dezavantajları ise nitrojenin sınırlandırılması gerekliliği ve toksik olması ihtimali nedeniyle endüstriyel atıkların ön arıtma ihtiyacıdır [4], [14].

3. Biyoreaktör Tasarımı ve İşletilmesi

Biyohidrojen üretimi mikroalglerin metabolizması sonucunda gerçekleştirildiği için biyoreaktörlerin tasarımı mikroalglerin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebileceği koşullara bağlıdır [15]–[17]. Fotoheterotrofik bakteriler fotokimyasal verimlilik, absorpsiyon katsayısı ve büyüklük bakımında farklılık göstermektedir. Fakat aydınlık/karanlık döngüleri içeren ışık rejiminin biyolojik faktörlerden daha belirleyici olduğu varsayılmaktadır [8].

Fotobiyoreaktör verimliliğinin artırılmasındaki ana parametre büyük yüzey/hacim oranının sağlanmasıdır. Bunun nedeni alglerin optimum ışığa maruz kalmasıyla hidrojen veriminin artırılabilmesidir. Ancak

fotobiyoreaktörde akış hızı, pH, çözülmüş oksijen, kükürt ve hidrojen gibi faktörlerin izlenmesi gerekli değildir. Gelişen teknolojiyle gaz geçirmeyen sistemlerle biyomühendislerin özel mikroalg kültürünü oluşturmaları, otomatik besin iletimi ve kültür seyreltmesi bilgisayar kontrollü sistemlerle yapılabilmektedir [17]–[19].

3.1. Biyoreaktör Sistemi

Işık ve yüzey alanının en etkin kullanımında fotobiyoreaktörün uygun konfigürasyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle biyokütle karışımı, kültürde besinlerin homojen dağılımını, ışıkla aydınlatılmasını sağlamak ve ayrıca alg biyokütlesinin birikmesini ve sedimentasyonunu önlemek için önemlidir [15], [16].

Modüler tasarım mümkün olan en yüksek oranda büyümeye olanak tanıyacak şekilde yapılmalıdır. Sürdürülebilir gaz çıkışı ve kompakt konfigürasyonla yüksek hidrojen verimi elde edilebilecek ticari ölçekte kullanılabilir olmalıdır. Işığa bağımlı biyohidrojen üretiminde mevcut ilerleme göz önüne alındığında mikroalglerin sülfür yoksunluğu ve sülfür ihtiyacı durumlarına göre teknik ve ekonomik stratejiler geliştirilmelidir [20].

Farklı fotobiyoreaktörlerin karşılaştırıldığı bir çalışmada [21] küçük ölçekli düz panel reaktörler kullanılmış ve reaktörlerin tabanında delikli bir tüp vasıtasıyla verilen gaz yardımıyla karıştırma işlemi yapılmıştır. Yüksek seviyede türbülans oluşturmak için reaktör hacminin 1L'sine 3-4L/dakika hava debisi uygulanmıştır. Paneller dik olarak yerleştirip güneş ışığını doğrudan alabileceği konuma yerleştirilmiştir. Panel fotobiyoreaktörlerde aydınlık/karanlık döngüler kısa tutularak yüksek fotokimyasal verimlilik elde edilmiştir. Ancak düz panel fotobiyoreaktörün dezavantajı havalandırma için gerekli olan enerji ihtiyacının yüksek olmasıdır. Diğer fotobiyoreaktörlerle karşılaştırıldığında ise bu enerji ihtiyacının herhangi bir fotobiyoreaktör kullanımında yine ortaya çıkabileceği çalışmada vurgulanmıştır. Büyük ölçekli düz panel reaktörler birbirinden 1-2 cm aralıkla sabitlenmiş çok sayıda ışık dağıtım paneline sahip dikdörtgen bir fotobiyoreaktörden oluşmuştur. Karıştırma işlemi birleştirilmiş paneller arasına enjekte edilen hava ile sağlanmıştır.

Tübüler fotobiyoreaktörler [21] çapları yaklaşık 5 cm ve uzunlukları 10-100 cm arasında değişebilen uzun şeffaf tüplerden oluşmaktadır. Kültür sıvısı bu borulardan mekanik veya havalandırma pompaları vasıtasıyla pompalanmıştır. Dikey, silindirik veya koni şeklinde kıvrılmış, dikey bir düzlemde, U kıvrımları kullanılarak çit benzeri yapı şeklinde farklı tübüler fotobiyoreaktör çeşidi bulunmaktadır. Boru biçimli reaktör tasarımı oldukça çeşitli olmasına rağmen belirli tasarımların ışık rejimi üzerindeki baskın etkisi ve reaktör yüzeyinde meydana gelen foton akı yoğunluğu farklıdır. Tüplerin hafif eğimli yapıları birçok çalışmada kullanılmaktadır. Tüplerin uzunluğu gaz

birikmesi nedeniyle sınırlıdır, ancak nitrojenaz hidrojen tarafından daha az inhibe edilebildiğinden bazı işlemlerde çok önemli olmamaktadır. Düz panel reaktörler normal şartlarda ışık enerjisinde yüksek fotokimyasal verimlilik veya biyokütle verimi gösterirken biyokütle yoğunluğu yüksektir. Teorik olarak tübüler reaktörler daha kısa aydınlık/karanlık döngüler sayesinde daha yüksek verimle çalışmaktadır.

Tek aşamalı fotobiyoreaktör sistemi araştırmalarının çoğu hidrojen üretimi dışında sebeplerle fotobiyoreaktör sistemlerine odaklanmıştır. Ancak çok aşamalı biyoreaktörler ise biyohidrojen üretimi çalışmalarında kullanılmıştır [3], [16], [22]. Hidrojen üretimi ve enerji geri kazanımında biyofotoliz, fotofermantasyon, karanlık fermentasyon ve mikrobiyal elektroliz olan 4 aşamalı fotobiyoreaktör kullanılmıştır [18]. İlk aşama olan biyofotolizde görünür ışık mavi-yeşil algler tarafından kullanılarak biyofotoliz yoluyla filtrelendir ve filtrelenmemiş kızıl ötesi ışık ikinci aşama fotofermentatif reaktörde mikroplar tarafından kullanılır. Biyokütle besleme stokuyla birlikte ikinci aşamadan çıkan atık, mikroorganizmaların substratı hidrojen ve organik asitlere dönüştürdüğü üçüncü aşama karanlık fermentasyon reaktörüne verilir. Atık organik asitlerle zenginleştirildiğinden fotofermentatif işlemden harici organik asit kaynağı elimine edilebilir. Dördüncü aşama, karanlık fermentasyondan üretilen organik asitleri ışıktan bağımsız işlem atında hidrojene dönüştürmek için mikrobiyal elektroliz hücresi kullanılmaktadır. Böylece gece veya düşük ışık koşulları altında çalıştırılabilmektedir.

Hidrojen metan karışımı Hythane'ye olan ilgi hibrit veya çok aşamalı biyoreaktörlerde biyokütlenin karanlık fermentasyonu ile hidrojen üretiminin sağlanabilmesiyle artmıştır. Temiz yanması ve oldukça verimli biyogaz olan Hythane endüstriyel uygulamalarda gelecek için umut vadeden yakıtlar arasında görülmektedir [23], [24]. Çok aşamalı biyoreaktörlerin büyük ölçekte uygulanmaları yapılmadan önce geliştirilmelidir. Biyokimyasal dönüşüm süreçlerinin entegrasyonu, çok aşamalı reaktör mühendisliği, sistem tasarımı, proses kontrolü, işletme-bakım konularında geniş kapsamlı araştırma yapılarak eksiklerin tamamlanması gerekmektedir. Fotolitik hidrojen üretiminde eş zamanlı hidrojen ve oksijen üretimi başlıca zorluklardandır. Bunlarla birlikte solunum, fotosentetik kapasite oranı, ortak kültür dengesi ve hücre biyokütlesinin konsantrasyonu biyohidrojen üretiminin diğer sorunlarındandır.

3.2. Işığın Ayarlanması

Fotosentetik ışık dönüşüm verimleri düşüktür ve ışık yoğunluğu etkisi nedeniyle daha yüksek ışık yoğunluklarında verim azalma eğilimi göstermektedir[8]. Alg biyokütlesinin üst katmanlarının klorofil duyargaları tarafından foton soğurma oranı, yüksek güneş yoğunlukları oranı, yüksek güneş yoğunlukları altında fotosentezin tüketilebilme hızını aşmaktadır. Algler

hayatta kalabilmek için büyük foton emici klorofil duyargaları tarafından aşırı emilmesi, ısı veya foton kaybına neden olmaktadır.

Mikroalg biyokütlesinin üst katmanında bulunan hücreler yüksek foton emilimine bağlı olarak ciddi foto-inhibisyonuna maruz kalmaktadır [25]. Fotobiyoreaktörler, foton dönüşüm verimliliğini artırmak için alg kültürüne göre ışığı düzenleyebilecek şekilde tasarlanabilirler. Birim hacim başına aydınlatma yüzey alanının 10 kat artırılmasıyla alg biyokütlesindeki üretim verimi yaklaşık %20 oranında artırılabilmiştir. Multifizik model simülasyonları, mikroorganizmalara daha iyi ışık girdileri nedeniyle biyokütle verimliliğinin artan gaz akış hızı ile arttığını göstermiştir [26].

3.3. Biyohidrojen üretimindeki zorluklar

Pratik uygulamalarda doğrudan biyofotoliz yoluyla algal-hidrojen üretiminin verimi konusunda şüpheler dile getirilmiştir. Sürecin en büyük dezavantajı, hidrojen ile birlikte, eşzamanlı oksijen üretiminin olmasıdır. Alglerin hidrojen üretim reaksiyonunu katalize eden anahtar enzim olan hidrojenaz oksijene duyarlıdır. Bu nedenle, evrimleşen oksijen hidrojen üretimi üzerinde engelleyici bir etkiye sahiptir. Bunun sonucunda genellikle güneş ışığı enerjisinden hidrojen enerjisine % 1.5'ten daha az dönüşüm verimliliği sağlanabilmiştir [20]. Ayrıca üretilen oksijen hemen sistemden uzaklaştırılabilirse verimlilik %3-10'a yükseltilebilir.

Hidrojen üretiminin oksijen inhibisyonu sorununu çözmek için hidrojenin ve oksijenin biyolojik üretimini içeren iki fazın mekansal veya zamansal ayrıldığı bir sisteme ihtiyaç vardır. Mekansal ayırma yönteminde mikroalglerin oksijen ve hidrojen üretim süreçleri mekansal olarak ayrılmalıdır. İlk aşamada, mikroalglerin atmosferik CO₂'yi fotosentez yoluyla karbonhidratlara sabitlediği ve işlem sırasında oksijenin açığa çıktığı açık havuzlar kullanılmıştır. İkinci aşamada, karanlık ve anaerobik koşullarda karbonhidratların asetik asite ve ardından güneş ışığının mevcut olduğu hidrojene ayrıldığı kapalı biyoreaktörler kullanılarak hidrojen korunmuştur. Alglerin tekrar açık havuzlara aktarılarak büyümelerine izin verildikten sonra tekrar kullanılabilmesi yapılan çalışmada önerilmektedir [27]. Zamansal ayırma yöntemi, yeşil mikroalg *Chlamydomonas reinhardtii* kullanılarak geliştirilmiştir. İki fazın zaman içinde değiştirilmesiyle oksijen üreten ve hidrojen üreten işlemlerin zamansal olarak ayrılması sağlanmıştır. Fotosentetik oksijen evriminin ilk aşamasında karbonhidratın depolamasıyla birlikte, büyüme ortamının fotosentezin bloke edilmesine ve dolayısıyla oksijen evrimine yol açan kükürttten yoksun bırakıldığı ikinci aşama gelmektedir. İki aşama alg hücrelerinde hidrojenlenmiş aktiviteyi kolaylaştırarak hidrojen üretimini desteklemiştir [28].

Dolaylı biyofotoliz hidrojen üretim teknolojisinin önemli gelişmelerinden biri olmasına rağmen, hidrojen üretiminde bazı önemli zorluklar içermektedir.

Sülfür yoksunluğu olan ortamda hidrojen üretiminin zamanla sınırlı olduğu göz önüne alındığında, pratik kullanımda kararlı bir hidrojen üretiminin sürdürülebilmesi oldukça güçtür. Hidrojenaz, sürdürülebilir hidrojen üretiminin oksijenli ortamda sağlanması verimli değildir. Işığa bağımlı hidrojen üretimi, fotosentetik olarak üretilen oksijenin hidrojenazları inhibe veya inaktive etmesi nedeniyle birkaç gün içinde durabilmektedir. Işık alan ortamda önemli miktarda hidrojen üretimi başlangıçta yaklaşık 60 saat boyunca sabit tutulabilmiş, ancak verimin daha sonra kademeli olarak düşmeye başladığı görülmüştür [29]. Yaklaşık 100 saat sülfür yoksunluğundan sonra, alglerin endojen substratı yenileyerek büyümesi amacıyla normal fotosenteze geri dönmeleri gerekmektedir [30]. Ticari uygulamalarda işlemin sürekliliğini sağlayacak iyileştirmeler yapılmalıdır.

Karanlık fermantasyola üretilen hidrojenin, bir içten yanmalı motorda veya bir yakıt hücresinde tek başına kullanılması için biyohidrojen saflaştırma, depolama ve taşıma gibi bazı konulara değinilmelidir. Sadece hidrojen üreten bir biyofotoliz işleminin aksine, karanlık fermantasyonun gaz halindeki ürünü, birincil hidrojen (genellikle %70'den az) ve CO₂'nin bir karışımıdır, ancak CH₄, H₂S, amonyak ve / veya nem gibi diğer gazları da içerebilir. Hidrojen kullanımının pratik olabilmesi için hidrojenin saflaştırılması esastır [16], [17]. Bununla birlikte, karanlık fermantasyonla hidrojen üretimi, geniş arazi alanı talep etmediği ve hava koşullarından etkilenmediğinden verimli bir süreçtir (güneş radyasyonu şart değildir). Ayrıca, biyohidrojen üretim süreçleri arasında, karanlık fermantasyonun daha uygun olduğu düşünülmektedir. Bu yöntemle hidrojen yüksek oranda elde edilebilir. Substrattan düşük maliyetli hidrojen üretimiyle sonuçlandığından karbonhidratlarla zenginleştirilmiş çeşitli organik bileşikler ve atıksular kullanılabilir [31], [32].

Biyohidrojen ilk olarak 1930'ların sonunda bildirildiğinden [33], biyohidrojen üretimi ile ilgili araştırmalar gelişimin çok erken bir aşamasındadır ve şimdiye kadar sadece düşük dönüşüm verimlilikleri elde etmiştir. Proses verimliliği, güvenilirlik, çalışma esnekliği ve CAPEX ve OPEX'in azaltılması konularında büyük atılımlara ihtiyaç vardır. Özünde, alg hidrojen üretiminin geleceği sadece araştırma ilerlemelerine bağlı değildir. Genetiği değiştirilmiş mikroorganizmalar ve/veya biyoreaktörlerin geliştirilmesi yoluyla verimliliğin artırılması, aynı zamanda ekonomik kaygılar, sosyal kabul ve hidrojen enerji sistemlerinin geliştirilmesiyle ilgilidir.

4. Sonuç

Hidrojenin yenilenebilir bir enerji olarak ortaya çıkmasının önemli ekonomik sonuçları olacaktır ve biyohidrojen gelecekteki hidrojen ekonomisinde önemli bir rol oynayacaktır. Hidrojen, gelecekteki bir yakıt ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak umut verici bir rol üstlenirken, mevcut klasik hidrojen üretim yöntemleri enerji yoğun, maliyetli ve çevre dostu

değildir. Biyohidrojenin pratik uygulamalarının gerçekleştirilmesinde başlıca teknik üretim, taşıma, depolama, dönüştürme ve pratik uygulama maliyetlerinin düşürülmesi gereklidir. Biyohidrojen araştırmalarındaki mevcut ilerlemeyi bir sonraki başarı düzeyine taşımak için, bilimsel ve teknolojik ilerlemeyle multidisipliner çalışmalar yapılmalıdır.

5. Referanslar

- [1] F. Y. Chang and C. Y. Lin, "Biohydrogen production using an up-flow anaerobic sludge blanket reactor," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 1, pp. 33–39, Jan. 2004, doi: 10.1016/S0360-3199(03)00082-X.
- [2] I. Moreno-Garrido, "Microalgae immobilization: Current techniques and uses," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 10, Elsevier, pp. 3949–3964, Jul. 01, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.05.040.
- [3] K. Y. Show, Y. Yan, M. Ling, G. Ye, T. Li, and D. J. Lee, "Hydrogen production from algal biomass – Advances, challenges and prospects," *Bioresour. Technol.*, vol. 257, no. February, pp. 290–300, 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.02.105.
- [4] A. Sharma and S. K. Arya, "Hydrogen from algal biomass: A review of production process," *Biotechnol. Reports*, vol. 15, no. June, pp. 63–69, 2017, doi: 10.1016/j.btre.2017.06.001.
- [5] R. C. Prince and H. S. Khashgi, "The photobiological production of hydrogen: Potential efficiency and effectiveness as a renewable fuel," *Critical Reviews in Microbiology*, vol. 31, no. 1, Taylor & Francis, pp. 19–31, 2005, doi: 10.1080/10408410590912961.
- [6] A. Melis and M. R. Melnicki, "Integrated biological hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 11, pp. 1563–1573, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.ijhydene.2006.06.038.
- [7] B. Johnston, M. C. Mayo, and A. Khare, "Hydrogen: The energy source for the 21st century," *Technovation*, vol. 25, no. 6, pp. 569–585, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.technovation.2003.11.005.
- [8] I. Akkerman, M. Janssen, J. Rocha, and R. H. Wijffels, "Photobiological hydrogen production: Photochemical efficiency and bioreactor design," in *International Journal of Hydrogen Energy*, Nov. 2002, vol. 27, no. 11–12, pp. 1195–1208, doi: 10.1016/S0360-3199(02)00071-X.
- [9] D. Das and T. N. Veziroglu, "Advances in biological hydrogen production processes," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, no. 21, pp. 6046–6057, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.07.098.

- [10] N. Saifuddin and P. Priatharsini, "Developments in Bio-hydrogen Production from Algae: A Review," *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 9, pp. 968–982, May 2016, doi: 10.19026/rjaset.12.2815.
- [11] M. Brouers, D. J. Shi, and D. O. Hall, "[70] Immobilization Methods for Cyanobacteria in Solid Matrices," *Methods Enzymol.*, vol. 167, no. C, pp. 629–636, Jan. 1988, doi: 10.1016/0076-6879(88)67073-X.
- [12] J. Wang and W. Wan, "Factors influencing fermentative hydrogen production: A review," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 2, Pergamon, pp. 799–811, Jan. 01, 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.11.015.
- [13] R. A. Rozendal, H. V. M. Hamelers, G. J. W. Euverink, S. J. Metz, and C. J. N. Buisman, "Principle and perspectives of hydrogen production through biocatalyzed electrolysis," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 12, pp. 1632–1640, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.ijhydene.2005.12.006.
- [14] J. Mathews and G. Wang, "Metabolic pathway engineering for enhanced biohydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 17, pp. 7404–7416, Sep. 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.078.
- [15] "NOPR: Design of bioreactors for biohydrogen production." <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/2422> (accessed May 25, 2020).
- [16] K. Y. Show, D. J. Lee, and J. S. Chang, "Bioreactor and process design for biohydrogen production," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 18, pp. 8524–8533, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2011.04.055.
- [17] K. Y. Show, D. J. Lee, J. H. Tay, C. Y. Lin, and J. S. Chang, "Biohydrogen production: Current perspectives and the way forward," in *International Journal of Hydrogen Energy*, Oct. 2012, vol. 37, no. 20, pp. 15616–15631, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.109.
- [18] K. Y. Show and D. J. Lee, "Bioreactor and Bioprocess Design for Biohydrogen Production," in *Biohydrogen*, Elsevier B.V., 2013, pp. 317–337.
- [19] K. Y. Show and D. J. Lee, "Production of Biohydrogen from Microalgae," in *Biofuels from Algae*, Elsevier Inc., 2013, pp. 189–204.
- [20] T. V. Laurinavichene, S. N. Kosourov, M. L. Ghirardi, M. Seibert, and A. A. Tsygankov, "Prolongation of H₂ photoproduction by immobilized, sulfur-limited *Chlamydomonas reinhardtii* cultures," *J. Biotechnol.*, vol. 134, no. 3–4, pp. 275–277, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.jbiotec.2008.01.006.

- [21] M. Janssen, "Cultivation of microalgae: effect of light/dark cycles on biomass yield," 2002. Accessed: May 26, 2020. [Online]. Available: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/122677>.
- [22] A. Wang *et al.*, "Integrated hydrogen production process from cellulose by combining dark fermentation, microbial fuel cells, and a microbial electrolysis cell," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 5, pp. 4137–4143, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.137.
- [23] C. Cavinato, D. Bolzonella, A. L. Eusebi, and P. Pavan, "Bio-hythane production by thermophilic two-phase anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. Preliminary results."
- [24] A. A. Abreu, F. Tavares, M. M. Alves, and M. A. Pereira, "Boosting dark fermentation with co-cultures of extreme thermophiles for biohythane production from garden waste," *Bioresour. Technol.*, vol. 219, pp. 132–138, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.07.096.
- [25] A. Melis, J. Neidhardt, and J. R. Benemann, "Dunaliella salina (Chlorophyta) with small chlorophyll antenna sizes exhibit higher photosynthetic productivities and photon use efficiencies than normally pigmented cells," *J. Appl. Phycol.*, vol. 10, no. 6, pp. 515–525, 1998, doi: 10.1023/A:1008076231267.
- [26] X. Gao, B. Kong, and R. D. Vigil, "Multiphysics simulation of algal growth in an airlift photobioreactor: Effects of fluid mixing and shear stress," *Bioresour. Technol.*, vol. 251, pp. 75–83, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2017.12.014.
- [27] J. Benemann, "HYDROGEN AND METHANE PRODUCTION THROUGH MICROBIAL PHOTOSYNTHESIS," in *Living Systems As Energy Converters*, Elsevier, 1977, pp. 285–297.
- [28] A. Melis, L. Zhang, M. Forestier, M. L. Ghirardi, and M. Seibert, "Sustained photobiological hydrogen gas production upon reversible inactivation of oxygen evolution in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*," *Plant Physiol.*, vol. 122, no. 1, pp. 127–135, Jan. 2000, doi: 10.1104/pp.122.1.127.
- [29] Z.-P. Zhang, K.-Y. Show, J.-H. Tay, D. T. Liang, D.-J. Lee, and W.-J. Jiang, "Rapid formation of hydrogen-producing granules in an anaerobic continuous stirred tank reactor induced by acid incubation," *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 96, no. 6, pp. 1040–1050, Apr. 2007, doi: 10.1002/bit.21243.
- [30] M. L. Ghirardi *et al.*, "Microalgae: A green source of renewable H₂," *Trends in Biotechnology*, vol. 18, no. 12. Elsevier Current Trends, pp. 506–511, Dec. 01, 2000, doi: 10.1016/S0167-7799(00)01511-0.

- [31] P. C. Hallenbeck and D. Ghosh, “Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward?,” *Trends in Biotechnology*, vol. 27, no. 5. Elsevier Current Trends, pp. 287–297, May 01, 2009, doi: 10.1016/j.tibtech.2009.02.004.
- [32] D. B. Levin and R. Chahine, “Challenges for renewable hydrogen production from biomass,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 4962–4969, May 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.08.067.
- [33] H. Gaffron, “Reduction of carbon dioxide with molecular hydrogen in green algæ,” *Nature*, vol. 143, no. 3614. Nature Publishing Group, pp. 204–205, 1939, doi: 10.1038/143204a0.

CHAPTER
4

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Topology Optimization of an Automobile Handbrake Parts
(Arzum Işıtan, Salih Burak Eroğlu, Muhammed Raşit
Binici)**

Topology Optimization of an Automobile Handbrake Parts

Arzum İŞİTAN¹, Salih Burak EROĞLU², Muhammed Raşit BINİCİ³

¹Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü,
E-mail:aisitan@pau.edu.tr

²Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
E-mail: sburakeroglu@gmail.com

³Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü,
E-mail:m.tstbnc@gmail.com

1. Introduction

In order to produce products with high added value, fast, reliable, and economical structural changes are required in design and manufacturing technologies. Therefore, the use of new and technological methods in place of traditional methods in design and design verification stages is important in order to combat in a technology-based competitive environment. Due to limited resources and high efficiency requirements, engineers are in search of economical and improved designs today. Computer Aided Design (CAD) optimization systems assist engineers at this point.

Topology optimization is the process of placing the material in a prescribed design area most effectively to achieve the best structural performance. In fact, the main purpose is to make the sections of the parts thinner and to lighten the sections, by ensuring that each section of the piece is forced evenly. With optimization, it can be determined that which structure is suitable under loading and at the same time the lightest structure for a part in the design phase. Topology optimization has a wide range of uses, such as mechanical designs, acoustic systems, parts working on thermal loading, electromagnetic designs, optical systems, automotive parts, biomedical products, etc [1,2,3].

A plenty of approaches including homogenization theory and numerical optimization methods have been developed for topology optimization [1,3,4]. Nonlinear, linear, geometric, quadratic, or integer programming techniques can be used to solve optimization problems. Most of these methods are numerical, semi-analytical, and the finite difference techniques. [5,6]. For a successful optimization process, the desired performance goals and expectations should be clearly stated. In addition, it is also important to have information about material properties, resources, and raw material costs, so that the problem can be expressed mathematically. Different values given to independent design variables that define the system are caused different designs to emerge. In design creation, there is never a single correct design. Multiple correct designs can be created at the same time. Therefore, basic objectives, criteria, constraints, and design variables such as cost, profitability, weight, availability, manufacturability, transportability, and energy consumption must be determined correctly according to priority [5,6,7].

In the most general view, the steps followed for shape optimization with identification of the problem and the determination of the objective function can be listed as follows [6]:

- creating of a model for part or assembly
- generating of a finite element mesh
- application of boundary conditions
- evaluation of displacements and stresses
- creating a new shape with little change / disruption of each variable perturbing
- repeating all steps until an occurred convergence.

In the automotive industry, the efforts to reduce the weight without sacrificing the strength of the parts are increasing day by day. Weight/mass reduction is especially important for reducing energy consumption. In order to reduce weight, the material selection can be changed or, using topology optimization, less loading sections can be determined and theirs thickness/dimensions can be reduced.

Some software programs used for optimization analysis can be written as ANSYS, IMSL, MATLAB, ASTROS, and ACM [5]. An optimization example of a vehicle swing arm using ANSYS program can be seen in Figure 1:

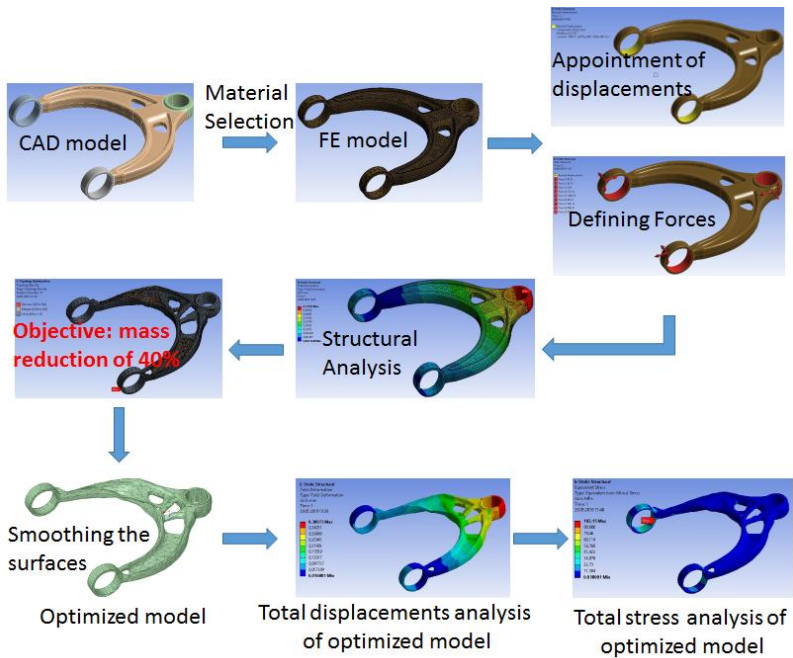


Figure 1. A vehicle swing arm optimization steps

An automobile is made up of systems consisting of many mechanical and electrical components. One of these systems is the hand brake system. In this study, parts of a hand brake system were modelled and load analysis was performed. By making topology optimization, the weight of the parts has been reduced to remain within the strength limits.

2. Material and Methods

In this study, topology optimization of a handbrake system that can be used in light duty vehicles has been realized. The hand brake is a stop system used to hold the vehicle in a fixed position, rather than the service brake, when the vehicle is not moving. It can be considered as one of the vehicle security systems. Its mechanism consists of a pull system, a handle, and a transfer system which are made using high-strength structural steel as a material [8].

Figure 2 shows solid modelling of a unique handbrake mechanism parts. The main rod (Figure 2a) has a circular stroke of approximately 30 degrees. The elliptical gear lock (Figure 2b) acts as a chassis as it carries the entire system. The elliptical gear lock is fixed to the ground with 4 points from the base and there are enclosures for the tooth set (Figure 2c) and the main rod. There are two fixing holes in the thread set. The lock trigger (Figure 2d) is fixed to the main rod from a single area. Figure 3 shows the assembled version of the mechanism.

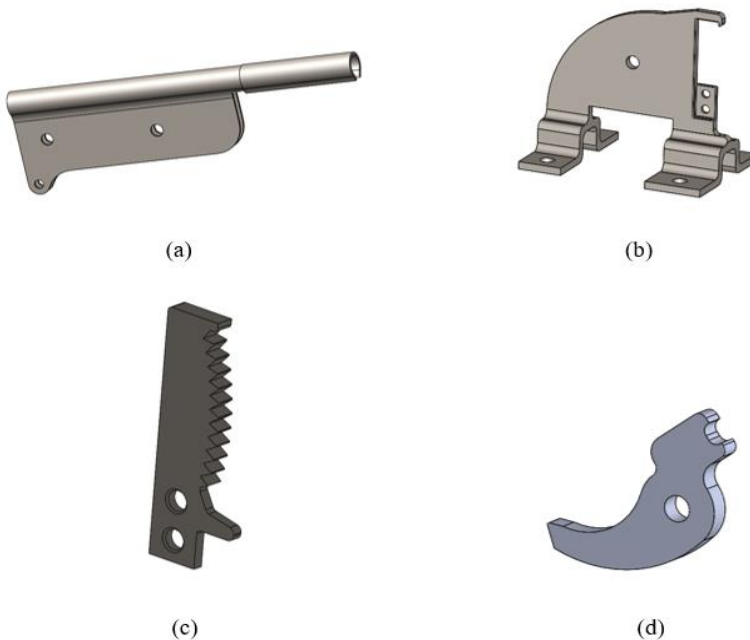


Figure 2. Original handbrake design parts, (a) Main rod, (b) Elliptical gear lock (c) Tooth set (d) Lock trigger

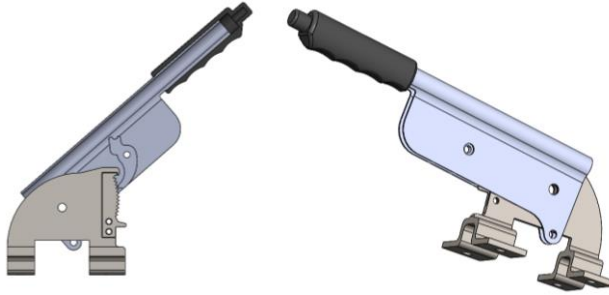


Figure 3. Specific assembled handbrake design modelling

SOLIDWORKS® CAD software was used in modelling studies. SOLIDWORKS® software is CAD software that combines the features needed to design better products, from design, automation and simulation to validation, collaboration and data management, and used to create 2D and 3D solid models in a simple, fast, and efficiently way [9].

Kinematic conflicts were checked by performing solid modelling of the hand brake system. After modelling was completed, the model was saved as *.igs (IGES) format for transferring and analysing to the ANSYS Workbench program. An IGES data file contains surface information for a model, but may also store wireframe, solid model, and circuit diagram information used to exchange 2D or 3D design information between CAD programs [10].

ANSYS Workbench structural analysis software is used to solve complex structural engineering problems. Solutions for structural mechanical problems can be produced with finite element analysis tools in the software [11].

4 elements of the original handbrake design, which is foreseen to be used in service type vehicles, are analysed as main rod, tooth set, elliptical gear lock, and lock trigger. The handbrake force to be taken as basis is accepted as 450 N and applied to different parts of the system [12]. This force is applied to the rest of the system by applying it to a specific area from the pull tab.

The construction material of the system elements is preferred as AISI 4340 steel. It is a steel commonly used in the automotive and aerospace industry. It is frequently used in the production of parts such as gear, shaft, crankshaft, piston rod, and steering shaft, which require mechanical strength and toughness. Although its strength varies between 700-1000 MPa according to the part thickness, it was taken as 710 MPa in calculations and controls and safety coefficients were calculated according to this value.

Finite element analysis studies of the main rod, elliptical gear lock, tooth set, and lock trigger can be seen in Figures 4, 5, 6, and 7 respectively. In Figure 4, 450 N load was applied to the holding area of the main rod and fixed through the screwing hole. The total mass before analysis is 0.317 kg.



Figure 4. Setting constrains and loading conditions of main rod's

In Figure 5, a load of 450 N was applied to the elliptical gear lock at main rod connection point of the part and a 100 N load due to spring force was applied to the seating area of the tooth set. The fixing points were applied to 4 chassis connection holes. The total mass before analysis is 0.431 kg.

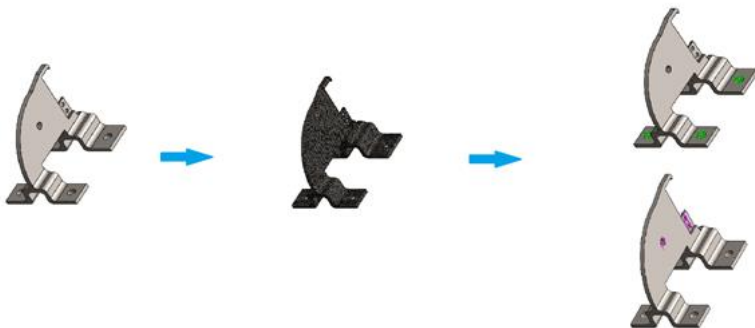


Figure 5. Setting constrains and loading conditions of elliptical gear lock

Figure 6 shows the studies before the analysis of the gear set. A spring force of 100 N was applied to the tooth surface at the top of the embankment. However, the elliptical toothed seat and the holding holes are considered as fixed points. The total mass before the analysis is 0.025 kg.

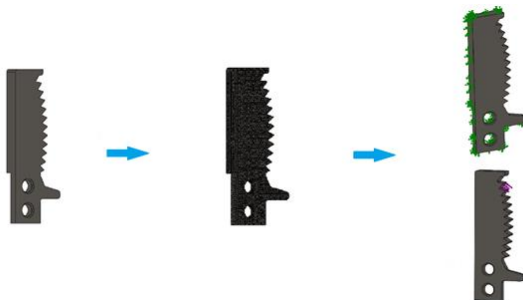


Figure 6. Setting constrains and loading conditions of elliptical gear set

Figure 7 shows the loading and fixing work of the lock trigger. A spring force of 100 N was applied to the spring seat surface of the trigger. The area where the part comes into contact with the tooth set and the main rod bearing hole are accepted as the fixed region. The total mass before the analysis is 0.022 kg.



Figure 7. Setting constraints and loading conditions of lock trigger

After the limitations and the application of loads, structural stress analysis was performed for each part. ANSYS 19.0 R1 program's topology optimization module was used for optimization studies for each of the pre-prototypes. With this module, it can be done size, shape, and topology optimizations.

The constraints and objectives determined for use in optimization processes are given in Table 1. The constraints and objectives determined for use in optimization processes are given in Table 1. In optimization processes, adjustments were made with a minimum gain of 20% by weight.

Table 1: Selected constraints and objectives for topology optimization

Constraint	Objective
Fixing holes	Mass reduction
Tuning channels	Minimum deformation
Holding zone	
Carrier profile cross section for main rod	

By using the topology optimization module of the ANSYS program, after obtaining total deformations and resulting stresses, shape changes were obtained by reducing weights of the sections under low stress. Following these operations, the smoothing of the surfaces was carried out. Loads were applied to the corrected and replaced parts under the same loading conditions, and total deformations and stresses occurred were found.

3. Topology Optimization Studies

In this section, the optimization studies and the results obtained for each part forming the hand brake are given.

Figure 8 shows a diagram of the main rod of the optimization process. The mass at the end before optimization was reduced to 0.202 kg. A gain of 36.18% was achieved by mass. The highest deformation and stress values obtained before optimization are 0.7189 mm and 477.7 MPa, respectively. The maximum deformation value in the optimum design was recorded as 1.411 mm and the equivalent stress 528.2 MPa.

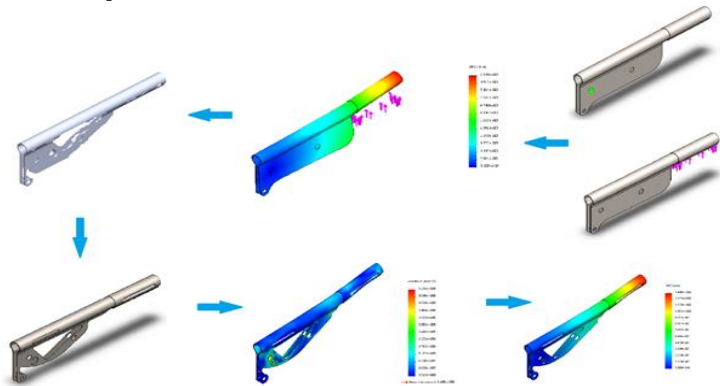


Figure 8. Topology optimization steps of main rod

In Figure 9, the optimization scheme of the elliptical gear can be seen. The mass at the end of optimization was reduced to 0.242 kg and a 43.82% gain was achieved by mass. The maximum deformation value in the optimum design is recorded as 0.0024 mm and 0.01 mm before and after optimization process in orderly. The equivalent stress was obtained before and after optimization in order of 22.67 MPa and 68.66 MPa, also.

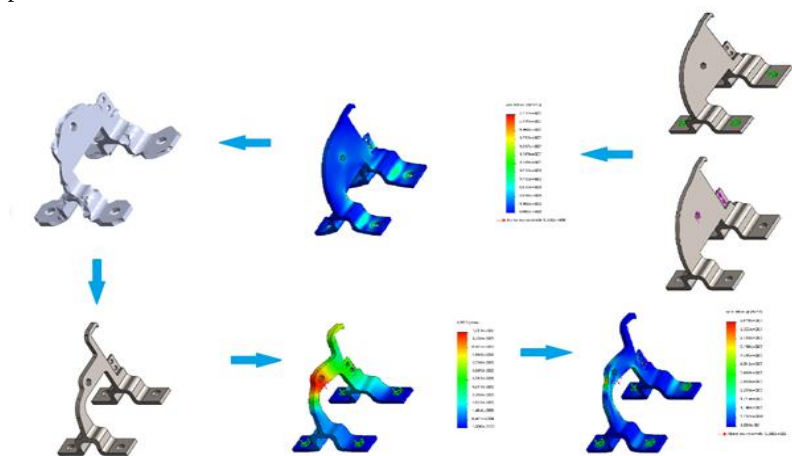


Figure 9. Topology optimization steps of elliptical gear lock

Figure 10 shows the optimization scheme for the tooth set. The mass at the end of the optimization process was reduced to 0.018 kg. A gain of 24.81% was achieved by mass. Before optimization, 4.528×10^{-4} mm deformation and 21.37 MPa equivalent stress values were obtained. The maximum deformation value in the optimum design was recorded as 4.764×10^{-4} mm and equivalent stress as 2.293×10^1 MPa.

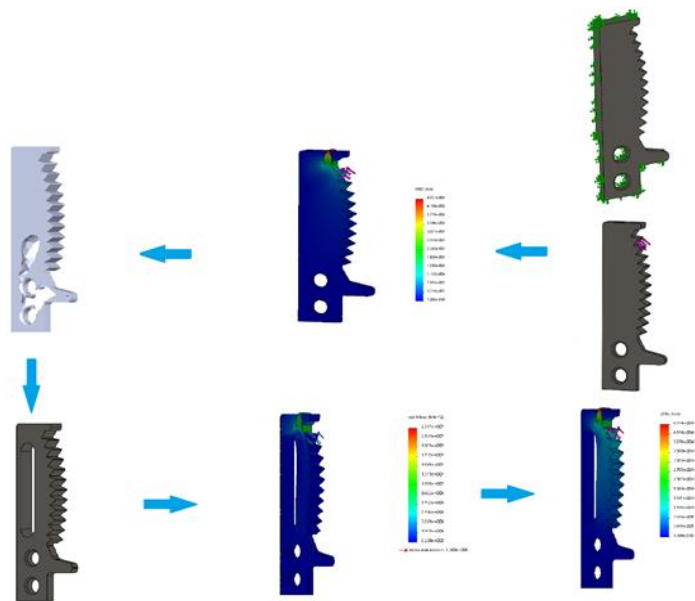


Figure 10. Topology optimization steps of tooth set

Figure 11 shows the optimization scheme for the lock trigger. The mass at the end of the optimization was reduced to 0.015 kg. A gain of 29.04% was achieved by mass. Before optimization process, maximum deformation was obtained as 0.036 mm, and stress was obtained as 71.69 MPa. The maximum deformation value in the optimum design was recorded as 3.638×10^{-3} mm and the equivalent stress was obtained as to be 1.442×10^2 MPa.

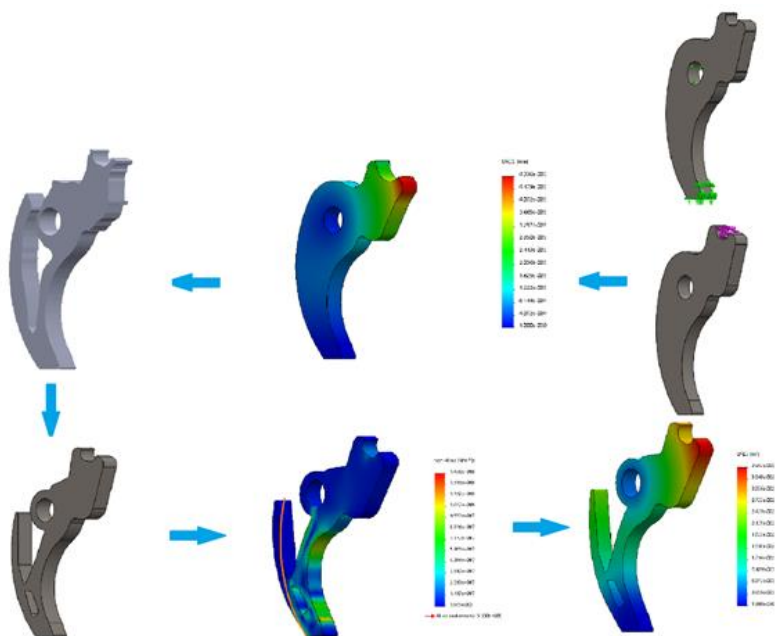


Figure 11. Topology optimization steps of the lock trigger

All values obtained before and after topology optimization and their proportional comparison are summarized in Tables 2-5.

Table 2: Comparison of the mass reduction values obtained before and after optimization

Part	Weight (kg)		Total mass reduction
	Before	After	
Main rod	0.317	0.202	-36.18
Elliptical gear lock	0.431	0.242	-43.82
Tooth set	0.025	0.018	-24.81
Lock trigger	0.022	0.015	-29.04

Table 3: Comparison of the rate of total deformation values obtained before and after optimization

Total deformation			The rate of total deformation occurring in both cases
Part	Before	After	
Main rod	0.7189	1.411	+96.51
Elliptical gear lock	0.0024	0.01	-9.50
Tooth set	0.00045	0.0004	+5.12
Lock trigger	0.03	0.003	+6.15

Table 4: The rate of equivalent stress values obtained before and after optimization

Equivalent stress			The ratio of the equivalent stress
Part	Before	After	
Main rod	477.7	528.2	+10.57
Elliptical gear lock	22.67	68.66	+200.86
Tooth set	21.37	22.93	+7.29
Lock trigger	71.69	144.2	+101.39

Table 5: The obtained safety factors

Part	Safety factor for the latest situation
Main rod	1.34
Elliptical gear lock	10.3
Tooth set	31.0
Lock trigger	4.93

As can be seen from Table 2, gains from 24.81% to 43.82% by weight have been achieved. Considering the total deformation, the rate values of total deformation occurring in both cases, ranging between -9.50% and +96.51% were obtained before and after topology optimization (Table 3). The ratio of the equivalent stress occurring in both cases, the values between 200.86% and 7.29% were obtained. In optimized parts, the safety factor was obtained at least 1.36.

Patel and others [8] modelled and optimized a handbrake lever. They made a weight gain of around 10% and found the safety factor as 5.4. Top et al. [12] have performed topological optimization for modeling a swing arm used in vehicles. In the study, it was aimed to minimize the weight and a 23.5%

reduction was achieved in the new design. Topaç et al. [13] The lower swing part that can be used in military land vehicles has been pre-designed and topology optimized. The obtained topological design has been made productive and design verification has been done. As a result of the analyzes with a safety coefficient of 1.24, the mass gain in the final product was stated to be 19.25%. Işık [14] has performed topology optimization of the propeller shaft connection area (forked flange) used in heavy-duty vehicles. With the topology optimization, around 12% weight gain was achieved. Verification was done both experimentally and theoretically, also.

Compared with the studies in the literature, the values obtained with this study are compatible. It can be said that more weight gain has been achieved. Stress and deformations of optimized parts were distributed to all sections of the parts more equally than the non-optimized parts. As a result, a lighter design with a more even strain on each section of the parts was realized.

4. Conclusions

In this study, a light duty vehicle handbrake system parts was modelled, analysed, and optimized. The material was selected as to be AISI 4340 steel. After the CAD model was created, stress and deformation analyses were completed. With the topology optimization, the weights of the handbrake parts have been reduced, without reducing their function and load-carrying capacities. The results can be summarized as follows:

- Weight reduction of up to 43.82% was achieved in parts.
- The rate of total deformation values were obtained between -9.50% and +96.51% after topology optimization.
- The ratio of the equivalent stress values were obtained 7.29% to 200.86%.
- In optimized parts, the safety factor was obtained at least 1.36. Hence, the optimized design is safe.

5. References

- [1] Sigmund, O., & Maute, K. (2013). Topology optimization approaches. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(6), 1031-1055.
- [2] Albak, E. İ. Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 328-334.
- [3] Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., & Takezawa, A. (2010). A topology optimization method based on the level set method incorporating a fictitious interface energy. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 199(45-48), 2876-2891.

- [4] Wang, M. Y., Wang, X., & Guo, D. (2003). A level set method for structural topology optimization. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 192(1-2), 227-246.
- [5] Rao, S. S. (2019). *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons.
- [6] Papadrakakis, M., Tsompanakis, Y., Hinton, E., & Sienz, J. (1996). Advanced solution methods in topology optimization and shape sensitivity analysis. *Engineering Computations: Int J for Computer-Aided Engineering*, 13(5), 57-90.
- [7] Poyraz, M. (2004). *Bir Kamyon Şasisinin Yapısal Optimizasyonu* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [8] Patel, M. V., Sarawade, S. S., & Gawande, S. H. (2017). Topology optimization and stress validation of the hand brake lever. *International Review of Mechanical Engineering*, 11 (7), 442-447.
- [9] <https://www.solidworks.com/tr> retrieved: 01.05.2020
- [10] <http://help.solidworks.com/SearchEx.aspx?query=iges&version=2011&lang=turkish&prod=SolidWorks> retrieved: 01.05.2020
- [11] <https://www.ansys.com/> retrieved: 01.05.2020
- [12] Agudelo, C. E., & Ferro, E. (2005). Technical overview of brake performance testing for Original Equipment and Aftermarket industries in the US and European markets. *Link Engineering*.
- [12] Top, N., Şahin, İ., & Gökçe, H. (2018). 3B Yazıcı Teknolojisi için Topoloji Optimizasyonu: Otomotivde Salıncak Kolu Üzerine bir Çalışma. In *Third International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE)*.
- [13] Topaç, M. M., Bahar, E., Kaplan, A., & Sarıkaya, E. Z. Topoloji Optimizasyonu Yardımıyla, Askeri Taşıt Bağımsız Ön Süspansiyonu için Alt Salıncak Tasarımı.
- [14] Işık, E. (2009). *Topoloji optimizasyonu: Çatallı flanş uygulaması* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

CHAPTER

5

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Çölyak Hastalığında Probiyotik Kullanımı
(Buket Kunduhoğlu)**

Çölyak Hastalığında Probiyotik Kullanımı

Buket Kunduhoğlu

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 26040 Eskişehir
bkunduh@ogu.edu.tr*

1. Giriş

Gluten, buğdayda bulunan ve hassas bireylerde immün yanıtı yol açan bitkisel proteindir. Glutenin diyet yoluyla alımı sonrasında bu bireylerin gastrointestinal sisteminde (GI) inflamasyona bağlı çeşitli semptomlar oluşmaktadır. Gluten tüketimine bağlı duyarlılığın çeşitleri vardır, bunlar; **Çölyak Hastalığı (ÇH)**, gluten enteropatisi, gluten intoleransı ve çölyak olmayan **gluten duyarlılığıdır (GD)**. Ne yazık ki bu bireyleri tedavi edecek bir yöntem bulunmamaktadır, tek çözüm glutensiz beslenmedir. Bu nedenle günümüzde bu hassasiyetin tedavisinde kullanılabilecek yöntemler araştırılmaktadır. Bu araştırma konularından birisi de probiyotiklerin, özellikle de glutendeki immünojenik peptidleri hidrolize etme yeteneğine sahip probiyotiklerin kullanımıdır. Bu bölümde, ÇH ve GD bireylerin GI’de meydana gelen semptomları gidermede ya da hafifletmede probiyotiklerin kullanım potansiyeli incelenecektir.

2. Gluten içeren gıdalar ve gluten tüketimine bağlı hastalıklar

2.1. Gluten nedir, hangi yiyeceklerde gluten bulunur?

Tahıl tohumlarında (buğday, çavdar, arpa, yulaf, mısır, pirinç) bulunan depo proteinlerinin büyük bir bölümünü **gluten** proteinler oluşturmaktadır. Gluten; **prolamin** ve **glutelin** olmak üzere iki tür proteinden oluşmaktadır. Prolaminler, proline ve glutamine amino asitlerince zengin proteinlerdir. Prolaminler üç farklı tipte sınıflandırılır: kükürt açısından zengin prolaminler (α -, β - γ gliadinler), kükürt bakımından fakir prolaminler (ω -gliadinler) ve yüksek moleküler ağırlıklı prolaminler (Hernández-Espinosa vd., 2015). Glutenin alkol çözeltilerinde (40-70%) çözünebilen kısmı prolamin, alkolde çözünmeyen suda çözünebilen kısmı da glutelin olarak adlandırılır. Buğday gluteninde bulunan prolamin ve glutelin çeşitleri sırasıyla, **gliadin** ve glutenindir. Çeşitli tahıl tohumlarında bulunan prolamin çeşitleri aşağıda verilmiştir (Scherf vd., 2020). Bu bitkilere ait prolaminler yapısal olarak benzer proteinler olduğundan tamamı gluten olarak da adlandırılmaktadır (de Sousa Moraes, 2014).

Buğday	Gliadin
Arpa	Hordein
Çavdar	Sekalin

Mısır	Zein
Yulaf	Avenin
Sorgum	Kafirin

İnsanlarda ÇH, GD ve gluten alerjisi gibi hassasiyetlere neden olan başlıca prolamin türü, buğday gluteninde bulunan gliadin'dir. Ayrıca buna yakın akraba türler olan arpa ve çavdar prolaminleri de ÇH, GD ve gluten alerjisi gibi hassasiyet çeşitlerini tetikleyebilir (Scherf vd., 2020).

Akdeniz diyetinde yaklaşık olarak 20 g/gün kadar gluten alındığı bildirilmiştir. Ayrıca gluten; koruyucu ve visko-elastik özelliği nedeniyle gıda ve ilaç sanayisinde yoğun oranlarda kullanılır. Aromalar, gıda boyaları, emülgatör, rujlar, şampuanlar, diş macunları, losyonlar, posta pulları, bira mayası, dondurma, tatlılar, şekerleme vb. ürünlerde de gluten bulunur. Bu nedenle günlük hayatımızın her aşamasında glutene maruz kalmaktadır (Özkaya ve Özkaya, 2018).

2.2. Gluten Hassasiyeti Çeşitleri ve Semptomları

ÇH ilk olarak 1887'de Samuel Gee tarafından tanımlanmıştır. Bu hastalıktan sorumlu ajanın buğday olduğu 1941'de William Dicke tarafından dile getirilmiştir. Gluten tüketiminin tetiklediği rahatsızlıklar üç çeşitte toplanabilir, bunlar; **ÇH, GD ve gluten alerjisidir** (Leonard vd., 2017).

2.2.1. ÇH

Genetik olarak yatkın bireylerde buğday, çavdar ve arpa gibi tahıların prolamin proteinlerine maruz kalma ile tetiklenen kronik otoimmün ince bağırsak enteropatisisidir. Bu hastalığa yatkınlık insan lökosit antijen (HLA) genleri ile güçlü bir şekilde ilişkilidir ve hastaların yaklaşık % 90'ı HLA-DQ2 (HLA-DQ2.5 ve HLA-DQ2.2) ve HLA-DQ8 haplotiplerini kodlayan alelleri eksprese etmektedirler. HLA-DQ2 ve HLA-DQ8 negatif bireylerde ÇH gelişmesi nadirdir.

ÇH gastrointestinal sistemi (GI) etkilediğinden, tipik klinik tablo; abdominal ağrı, diyare, kusma ve abdominal distansiyon gibi gastrointestinal semptomları içerir. Bu semptomların dışında yetişkinlerde vücut ağırlık kaybı, mineral ve vitamin eksikliklerinden dolayı düşük kemik-mineral yoğunluğu, kemik ağrısı ve kırıkları, osteoporoz, anemiler, dental enamel defektleri, cilt lezyonları, gece körlüğü gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir, özellikle gecikmiş tanılarda kaşeksi ve malnütrisyon görülebilmektedir. ÇH, glutensiz diyet sonrası düzelen intestinal emilim bozukluğu ve villusların kısmen veya tamamen atrofiyle karakterizedir (Rivera vd., 2013)

Beslenme şekli ÇH gelişimine katkıda bulunan temel faktördür. Gliadin prolamin (glutende) ve diğer prolaminler (buğday, arpa, çavdardan ve yulaf), yüksek glutamin ve prolin amino asit içerikleri nedeniyle insan sindirim enzimleri tarafından tam sindirime dirençlidir. Bu prolaminlerin sindirimi sonucunda oluşan ve ince bağırsak duvarından geçebilen peptidler (13-, 19- veya 33-mer peptidler gibi) ÇH ile ilişkili enflamatuvar süreçleri tetiklemektedir (Gutiérrez vd. 2017). Codex standardı glutensiz yiyeceklerdeki glutenin 20 ppm'i geçemeyeceğini belirtir (FAO/WHO, 2008).

ÇH, çevresel, genetik ve immünolojik temelleri en iyi araştırılmış olan hastalıktır. Her ne kadar popülasyonun % 40'ı, ÇH gelişimi için gerekli olan HLA-DQ2 veya HLA-DQ8 genotipini taşısa da, HLA-DQ2 veya HLA-DQ8 taşıyıcılarının sadece % 2-3'ünde ÇH görülür. Genel popülasyonda ÇH prevalansı bölgesel farklılıklarla birlikte % 1'dir. ÇH herhangi bir insan organını veya dokusunu etkileyebilir (Hill vd., 2014).

2.2.2. GD

GI sistemlerinde ÇH ye benzer semptomlar gösteren ancak, ÇH olmadığı belirlenmiş bireylerde de, diyetten glutenin çıkarılmasıyla, bu semptomların yok olduğuna ilişkin bulgular artmaktadır (Kabbani vd., 2014). Bu tür glutene bağlı rahatsızlıklar “Çölyak olmayan-gluten duyarlılığı” (GD) olarak gruplanmıştır. GD, glutenin diyetten çıkarılmasıyla bağırsak ve/veya bağırsak dışı belirtileri iyileşen bireyleri tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Doğrulanmış biyobelirteçlerin eksikliği nedeniyle bu hastalığa tanı koymak güçtür, bu nedenle çölyak olmayan gluten duyarlılığının prevalansı tam olarak bilinmemektedir, ancak çölyak hastalığından daha yaygın olduğu düşünülmektedir. GD, hem ÇH hem de irritabl bağırsak sendromlarına benzer semptomlar oluştursa da, tanı kriterleri ikisine de benzemez (Kabbani vd., 2014; Catassi vd., 2017; Leonard vd., 2017). GD'nın gastrointestinal belirtileri; karın ağrısı, şişkinlik, diyare, kontispanyon ya da her ikisinin birlikte görüldüğü bağırsak düzensizliğidir. Ekstraintestinal belirtileri ise; yavaş düşünme olarak tanımlanan “sisli beyin”, baş ağrısı, eklem ve kas ağrısı, yorgunluk, depresyon, bacaklarda uyuşma ve anemidir (Henggeler vd., 2017).

2.2.3. Buğday alerjisi

Glutene bağlı diğer bir bozukluk tipi buğday alerjisidir. Buğday proteinlerine karşı, tip-2 yardımcı T-hücresi (Th2) aracılı immünolojik reaksiyon olarak tanımlanır. Tipik olarak buğday alımından hemen sonra, anafilaksi belirtileri ile ortaya çıkar. Ağız, boğaz ve cildin şişmesi veya kaşınması; burun tıkanıklığı; sulu gözler; ve nefes almada zorluk. Buğday alerjisi çocuklarda daha yaygındır, bildirilen yaygınlık çocuklarda% 2 ile% 9 arasında ve yetişkinlerde% 0.5 ile% 3 arasındadır (Leonard vd., 2017; Scherf vd., 2020).

2.3. GD ve ÇH bireylerin tedavisi

Glutendeki asıl immünojenik bileşen gliadindir. Gliadinin yapısındaki prolin ve glutamin amino asitlerince zengin 33-mer peptid olarak adlandırılan amino asit dizisinin, genetik olarak yatkın kişilerde inflamatuvar yanıtı başlatan öncü molekül olduğu gösterilmiştir (Demirçeken, 2011). α -gliadin'den izole edilen; LGQQQFPFPQPYPQPQPF, PQPELPYPQPQLPY, QLQFPQPQLPYQPQS sekansları immünotoksiktir. ÇH olan kişilerde, in vitro koşullar altında epitel hücrelere zarar veren peptitler yapılarında; PSQQ, QQQP, QQPY veya QPYP motiflerinden birini içerir. Bu tür peptidlerin immünojenik potansiyelinin ortadan kaldırılması, prolin veya glutamine özgü enzimler kullanılarak, immün sistem hücreleri tarafından tanınan epitopların yapısının degradasyonu veya modifikasyonuna dayanır. Bu amaç için uygulanan enzimler: PEP, transglutaminaz (TG, EC 2.3.2.13), laktik asit bakterileri (LAB) ile sentezlenen peptidazlar, *Aspergillus* cinsi fungusların sentezlediği peptidazlardır (Brzozowski, 2016).

Gliadinin sindirimi ile ortaya çıkan alerjik cevap, ince bağırsakta inflamasyona ve bağırsak duvarlarındaki villuslarda total veya kısmi yıkıma (atrofi) yol açmaktadır. Temel sorun ince bağırsaklarda olmasına karşın tüm sistemler etkilenebilmektedir (Buran vd., 2017). Villuslarda meydana gelen atrofi nedeniyle besin maddeleri, vitaminler ve minerallerin emilimi bozulmaktadır. Geç bebeklik dönemi ve çocuklukta rastlanan kronik ishallerin ve gelişme geriliğinin önde gelen nedenlerinden biridir (Göral vd., 2007).

Hastalık ince bağırsak mukozasında intraepitelyal lenfosit (IEL) artışı, kript hiperplazisi ve villus atrofi bulguları ile tanı alır. IgA/IgG tipi anti-doku transglutaminaz (anti-tTG), anti-endomisium (EMA) antikolları serolojik belirteçlerdir. Genetik yatkınlığı işaret eden HLA-DQ2, HLA-DQ8 doku tipleri tanıyı destekleyicidir (Buran vd., 2017). Çölyak hastalarında, ülseratif kolit ve Crohn hastalığı gibi diğer inflamatuvar barsak hastalıkları da görülebilmektedir. İlerleyen yaşla birlikte ÇH'ye eşlik eden otoimmün tiroid hastalıklar ve nöropatilerde artış görülmüştür (Demirçeken, 2011).

Önceleri nadir bir hastalık olarak Kuzey-Batı Avrupa'nın hastalığı olduğu düşünülen ÇH'nin, bugün bütün dünyada yaygın olduğu bilinmektedir. Farklı toplumlarda rastlanma oranı ortalama %0,3-1'dir (Demirçeken, 2011). ABD ve Avrupa popülasyonlarında ÇH prevalansı yaklaşık %1'dir. Çölyak olmayan-GD'ye rastlanma oranının ise %6 olduğu bildirilmiştir (Chander vd., 2018). ÇH tüm dünyada en sık görülen kronik ve otoimmün bir hastalık olması nedeniyle küresel bir sağlık sorunu olarak ele alınmaktadır (Özkaya ve Özkaya, 2018). ÇH'nin patogenezinde genetik faktörler önemlidir, ancak çevresel faktörler hastalığın başlaması ve ilerleyişi için çok önemli

tetikleyiciler olarak hizmet eder (Chander vd., 2018). Tam tedavi sağlayacak herhangi bir ilaç bulunmamaktadır. Normal ve sağlıklı bir yaşam sürmek için tek yöntem, glutensiz beslenmedir. Yani, duyarlı bireyler başta buğday olmak üzere çavdar, arpa, yulaf ve diğer bazı tahıllardan ve bunlardan üretilen her türlü gıdadan uzak durmak zorundadırlar. Ancak, tahıl unları az bir miktarda bile olsa birçok hazır gıdanın bileşimine girmesi, gıdaların çapraz kontaminasyonu, yetersiz gıda etiketleme ve sosyal kısıtlamalar nedeniyle bir glutensiz diyetle bağlılık kolay değildir (Troncone vd., 2008). Glutenle kontamine olmuş gıdaların farkında olunmaksızın yenilmesi, gluten kaynaklı inflamasyonun tekrar ortaya çıkmasını kolaylaştırır, çünkü bağırsak mikrobiyal dengesi sıkı bir glutensiz diyetten sonra bile kısa zamanda geri kazanılamaz (Nadal vd., 2007; Collado ve ark., 2008, 2009).

Ömür boyu sürecek sıkı bir diyet, hastaları hem psikolojik hem de ekonomik boyutta olumsuz etkileyerek yaşam kalitelerini düşürmektedir. Çünkü hassas bireylerin tüketmesi gereken glutensiz ürünler, normal tüketici grupları için üretilenlerden daha pahalıdır.

3. Gluten kaynaklı inflamasyonların gideriminde probiotik yaklaşım

3.1. Probiyotiklerin tanımı ve önemi

Mikrobiyota; insanlarla birlikte yaşayan mikrobiyal türlerin tamamını ifade etmektedir. İnsan mikrobiyotası, özellikle bağırsak mikrobiyotası, tüm insan genomunda bulunandan yaklaşık 150 kat daha fazla gen taşıyan bir “temel organ” olarak kabul edilmiştir (O’Hara ve Shanahan, 2006). İnsan genomunda bulunanlardan çok daha fazla sayıda metabolik gen içeren mikrobiyota, insanlara eşsiz ve spesifik enzimler ve biyokimyasal yollar sağlar (Gill vd., 2006). Mikrobiyotanın kompozisyonu ve fonksiyonu, lokasyona, yaşa, cinsiyete, ırka ve konağın diyet şekline göre farklılık gösterir (Ursell vd., 2014). Bağırsak mikrobiyotası, immün ve metabolik homeostazisi sağlamada ve patojenlere karşı korunmada önemli bir rol oynar. Bununla birlikte pek çok iç ve dış etken sonucu, mikrobiyota bazen konakçı sağlığını olumsuz etkileyecek şekilde gelişir (disbiyozis/mikrobiyota imbalansı). Disbiyozis, birçok inflamatuvar hastalık ve enfeksiyonun patogenezi ile ilişkilendirilmiştir (Wang vd., 2017).

Probiyotikler “yeterli miktarlarda uygulandığında konakçıya bir sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmaktadır (Hill vd., 2014; FDA/WHO, 2004) ve güvenli olarak kabul edilmektedir (FDA, 2016). Probiyotik terimi, probiyotik ilaçlar, probiyotik yiyecekler (gıdalar, gıda bileşenleri ve diyet takviyeleri), doğrudan beslenen mikrobiyaller (hayvan kullanımı için probiyotikler) ve tasarlanmış probiyotikler (genetiği değiştirilmiş probiyotikler) şeklinde alt kategorilere ayrılabilir (Sanders,

2009). Günümüzde insan kullanımına sunulan ve probiyotik amaçlı olarak kullanılan bakterilerin çoğunluğu, laktik asit bakterileridir (LAB).

Probiyotiklerin konağın bağırsak sağlığı üzerindeki yararlı etkileri;

- (i) patojenlere karşı inhibitör maddelerin üretilmesi (hidrojen peroksit, bakteriyosinler ve organik asitler)
- (ii) adhezyon bölgelerinin bloke edilmesi,
- (iii) besin maddeleri için rekabet
- (iv) toksin reseptörlerinin bozulması ve
- (v) bağışıklığın düzenlenmesi yoluyla ortaya çıkabilir (de Sousa Moraes vd., 2014)

3.2. Probiyotik tüketiminin Çölyak bireylerdeki etkileri

ÇH'yi tetikleyen etkenlerin; gluten tüketimi, mikrobiyota disbiyozisi, enfeksiyonlar ve antibiyotik kullanımı olduğu (Canova vd., 2014; Chander vd., 2018) bilinmektedir. Bu nedenle ÇH ve GD olan bireylerin GI sistem sorunlarını giderme açısından, probiyotik nitelikli LAB'nin önemli bir potansiyeli olduğu düşünülmektedir (Sellitto vd., 2012). Bebeklik çağında ve erken yaştaki enfeksiyonlarda antibiyotik kullanımı intestinal disbiyozisin en önemli nedenidir (Shmidt vd., 2014). Birçok çalışmada, çölyak hastalarındaki disbiyozisin karakteristik belirtisinin *Bifidobacteria* sayısındaki azalma olduğu bildirilmiştir (Sanz, 2007; Di Cagno vd., 2009; Golfetto vd., 2014; Fernández-Crehuet vd., 2016). ÇH riski taşıyan bireylerde düşük *Bifidobacteria* ve *Bifidobacteriaceae* üyesi sayılarına rastlanırken, *Corynebacteria*, *Gemella*, *Clostridium sensu stricto*, *Clostridiaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Raoutella* sayılarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Olivares vd., 2015).

Probiyotiklerin ÇH'deki etkisi hakkındaki kanıtların çoğu hayvan modellerinden gelmektedir. Fare modelleri ile yapılan çalışmalar, probiyotiklerin, doğal ve kazanılmış bağışıklığı modüle edebildiğini ve gliadin kaynaklı inflamasyonu azaltabildiğini göstermiştir (Cristofori vd., 2018). Yine bu konuda yapılan çalışmalarda, bağırsak bakterilerinin immün sistemle etkileşiminin, hem pro-inflamatuvar hem de anti-inflamatuvar T hücresi popülasyonlarının farklılaşmasını sağladıklarını göstermiştir (Round ve Mazmanian, 2009).

Probiyotiklerin terapötik kullanıma yönelik olarak yapılan bazı çalışmalarda, *Lactobacillus*'un gluten hidrolize edebilme yeteneği ve anti-inflamatuvar etkileri kanıtlanmıştır (De Angelis vd., 2006a; Di Cagno vd., 2009; Duar vd., 2015).

Herrán vd. (2017), duodenumdan izole edilen 31 bakteri suşunun gluteni parçaladığını, bunlardan 27'sinin ise 33-mer peptidini hidrolize edebildiğini belirlemiştir.

Başka bir çalışmada, immünojenik buğday peptidlerinin hidrolizinde *Lactobacillus* ve fungal proteaz karışımının etkisi denenmiş, ve hamurun uzun

sürekli fermentasyonu sonunda 33-mer peptidinin *Lactobacillus* tarafından verimli bir şekilde hidrolize edildiği belirlenmiştir (Rizzello vd., 2007). *Lactobacillus ruminis*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus amylovorus* ve *Lactobacillus salivarius*'un, immünojenik gluten peptitlerini hidrolize etme yeteneklerinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Duar vd., 2015). ÇH'nin hayvan modellerinden elde edilen sonuçlar, probiyotik bakterilerin farklı etki mekanizmalarıyla hastalık patolojisi üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir (Chander vd., 2018).

Diğer bir çalışmada, bağırsak sindirimi sırasında, bifidobakteri suşlarının bağırsak epitelini geçirgenliğindeki artışları inhibe ettiği, gliadin türevi peptitlerin tetiklediği proinflamatuvar kaskadları modifiye edebildiği ve *in vitro*da daha az toksik gliadin peptit sekanslarını ürettiği gösterilmiştir (Tavakkoli ve Green, 2013).

Tavakkoli ve Green (2013) tarafından 22 çölyak hastasında *-B. infantis* NSL probiyotik suşunu kullanılarak- plasebo kontrollü, çift körlü ve randomize bir çalışma yapılmıştır. Hastalara üç hafta boyunca *B. infantis* NSL verilmiş, immünolojik ve inflamasyon biyomarkırlarının değişimi belirlenmiştir. Üç haftalık denemenin başında ve sonunda bu hastaların serumlarında antikor (tTG ve DGP) seviyeleri belirlenmiştir. Plasebo verilen hastaların ve probiyotik verilen hastaların serumlarındaki anti-tTG IgA ve IgA DGP değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, probiyotik verilen hastalardaki serum anti-tTG IgA ve IgA DGP değerlerinde %10'luk bir azalma belirlenmiştir, ancak bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı olmamıştır.

Bazı çalışmalarda, tek tür olarak probiyotik kullanımından farklı olarak birden fazla probiyotik suşun bir arada kullanımının gluten hidrolizi açısından etkisi araştırılmıştır. De Angelis ve arkadaşları (2006b), spesifik probiyotik preparat olan VSL#3'ün (*Bifidobacterium breve*, *B. longum*, *B. infantis*, *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* türlerini içeren, sekiz suştan oluşan bir kokteyl), uzun süreli fermentasyon sırasında buğday ununun toksik özelliklerinin azaltılmasındaki rolünü incelemiştir. Bu çalışma sonunda, probiyotik VSL#3'ün gliadin polipeptitlerini hidrolize etmede oldukça aktif olduğunu belirlemiştir. Ancak, Oxadrop (*B. infantis*, *L. acidophilus*, *L. brevis* ve *S. thermophilus*), Florisia (*L. brevis*, *L. salivarius* subsp. *salicinii* ve *L. plantarum*) ve Yovis (*B. breve*, *B. infantis*, *B. longum*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. casei*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* ve *Enterococcus faecium*) gibi diğer çoklu probiyotik tür içeren preparatların, gliadin polipeptitlerini hidrolize etmede etkili olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca VSL#3'te, prolin bakımından zengin peptidlerin hidrolizini sağlayan enzimler ve gliadin epitoplarının hidrolizini düzenleyen aminopeptidaz enzim aktivitelerinin varlığı belirlenmiştir (De Angelis vd. 2006b).

De Palma ve arkadaşları (2010) *B. bifidum* IATA-ES2 suşu ve *B. longum* ATCC 15707 suşunun *in vitro* immünomodulator aktivitesini araştırmıştır. *B. bifidum* IATA-ES2 ve *B. longum* ATCC 15707 suşlarının interleukin-12 (IL-12) ve gamma interferon (IFN- γ) üretimini düşürdüğünü belirlemişlerdir. İki suş da tumour necrosis factor alpha (TNF- α) salınımını indüklemiştir, fakat bu salınım seviyesi *B. bifidum* IATA-ES2’de daha düşük bulunmuştur. En yüksek IL-10 seviyesi, *B. longum* ATCC 15707 varlığında gözlenmiştir.

Diğer bir çalışmada, gliadin ile beslenen ve IFN- γ ile duyarlı hale getirilmiş deney farelerine probiyotik *B. longum* CECT 7347 verilmiştir. Sadece gliadin verilen farelerde, enterosit yüksekliği ve periferel CD4+ hücreleri azalmıştır. Buna karşılık gliadinle birlikte *B. longum* CECT 7347 verilmesiyle, bu etkinin tam tersi görülmüştür. Gliadin ve IFN- γ ile duyarlı hale getirilmiş deney farelerinde ise, ince bağırsaktaki villus genişliği ve enterosit yüksekliğinin kontrole göre azaldığı belirlenmiştir. Yine hassas hale getirilmiş hayvanlarda yüksek NF κ B mRNA ekspresyonu ve TNF- α üretimi gözlenmiştir. Gliadinle birlikte *B. longum* CECT 7347 verilen enteropati modelinde ise NF κ B ve IL-10 seviyesi artmış ancak TNF- α üretimi azalmıştır. Ayrıca, IFN- γ ile duyarlı hale getirilen ve gliadin ile beslenen hayvanlara uygulanan *B. longum* CECT 7347, jejunal yapıda meydana gelen değişikliklerin bir kısmını orta derecede azaltabilmiştir. Bu etkinin, bağırsak bariyeri fonksiyonundaki iyileşmeye katkıda bulunabileceği ve gliadinin lamina propria translokasyonunu önleyebileceği bildirilmiştir (Laparra vd., 2012).

HLA-DQ8-transgenik farelerde yapılan benzer bir çalışmada, *Lactobacillus casei* ATCC 9595 kullanımının, TNF- α düzeyini önemli ölçüde düşürdüğü ve gliadin ile indüklenen ince bağırsak hasarını tamir ettiği bildirilmiştir (D’Arienzo vd. 2011).

Fonksiyonel gıdalar; işlenmiş yiyecekler veya sağlığı teşvik edici katkı maddeleri ile hazırlanmış yiyecekleri kapsayan, sağlığı geliştirme veya hastalık önleme potansiyeli olan yiyeceklerdir (Nagpal vd., 2012). Canlı mikroorganizma içeren fermente gıdalar da probiyotik yararları olan fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilir (Stanton vd., 2005). Probiyotik bakterilerin farklı şekillerde konak sağlığını koruyucu etkileri olduğu bilindiğinden, bunların GD olan bireyler için güvenli olabilecek gıdaların fermentasyonunda kullanılabileceği de düşünülmüştür. *Lactobacillus sanfranciscensis* 7A, *Lactobacillus alimentarius* 15M, *Lactobacillus hilgardii* 51B ve *Lactobacillus brevis* 14G’nin darı, karabuğday unu, buğday ve toksik olmayan yulaftan oluşan karışımdaki gliadinin tamamını fermentasyon sırasında hidrolize ettiği rapor edilmiştir (Di Cagno vd., 2009). Çalışmalar, LAB’ların glutensiz gıda ürünlerindeki eser miktardaki gluteni hidrolize edebileceklerini göstermiştir (Gobbetti vd., 2007). Ekşi hamur mayasından elde edilen 46 LAB suşu proteolitik etkinlikleri açısından taranmış ve bunlardan *Lactobacillus sanfranciscensis* LS40 ve LS41, *Lactobacillus*

plantarum CF1 glutensiz ekmek üretiminde, hamur mayası kültürü olarak kullanılmıştır (Di Cagno vd., 2008).

Ayrıca probiyotikler, “**postbiyotik**” olarak adlandırılan ve konak mikrobiyomunun modülasyonu üzerine etkili olan çeşitli biyolojik aktif metabolik ürünleri de (bakteriyosinler, organik asitler, etanol, diasetil, asetaldehit ve hidrojen peroksit) konak vücudunda salgılar (Kerry vd., 2018). Ancak belirli bir probiyotiğin konakçıda göstereceği faydalı biyolojik aktiviteler; konakçının yaşına, cinsiyetine, fizyolojik durumlarına göre farklılık gösterebilmektedir (Tannis, 2008).

Glutensiz diyetle bir diğer alternatif çözüm önerisi de, glutenin toksik olmayan peptid fragmanlarına parçalanmasını sağlamak amacıyla, bakteriyel oligopeptidazlar olmuştur. Ancak bu enzimlerin midede salgılanan pepsine duyarlı olması ve düşük mide pH’ında etkin olmamaları nedeniyle beklenen başarı sağlanamamıştır. Düşük pH’da aktivite gösterebilecek maya kaynaklı prolil endoproteazın (PEP) duodenumda T hücre aktivasyonunu önlediği bildirilmişse de bu etkinin yüksek dozlarda gözlenmiş, düşük dozlarda kullanımı immünstimulan peptidlerin epitelden geçişini engelleyememiştir. Bu sonuçlara rağmen PEP yine de glutensiz diyetle yardımcı, umut verici bir tedavi olarak gündemdedir (Demirçeken, 2011).

Prolin açısından zengin ve sindirime dirençli peptitler çoklu immünojenik epitoplar içerir. Gluten de prolin amino asitlerince zengin bir proteindir ve memeli proteolitik enzim sistemi tarafından sindirilmesi çok zordur. PEP ler, peptitlerin karboksil tarafındaki prolin kalıntılarını hidrolize eder ve gıdada bulunan glutenin detoksifikasyonu için ve çölyaklar için oral enzim takviyesi olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, antijenik epitopları nötralize ederek, gluten immünojenisitesini azaltma potansiyeline sahip, gluteni hidrolize eden yeni mikrobiyal enzimleri tanımlama konusundaki çalışmalar önem taşımaktadır. Mikrobiyal PEP’ler (aynı zamanda prolil oligopeptidazlar olarak da bilinirler), glutenden türetilmiş oligopeptidlerin karboksil ucundaki prolin kalıntılarının peptit bağlarını hidroliz edebildiklerinden, CD'nin tedavisi için terapötik anahtarlar oluşturabilirler. PEP’ler, bir grup peptidaz grubu olan serin proteaz ailesine aittir ve 30 kalıntıdan daha küçük peptitleri hidrolize edebilir. PEP enziminin membrana bağlı formu karakterize edilmiş olmasına rağmen, genellikle sitosolik olduğu bildirilmektedir. PEP’ler yapısal ve fonksiyonel olarak dipeptidil peptidaz IV (DPP-IV), oligo peptidaz B ve asil-aminoasil peptidaz alt familyaları ile yakından ilişkilidir (Moreno Amador vd., 2019).

Aspergillus niger’den aspergillopepsin ve *Aspergillus oryzae*’den DPP-IV kombinasyonunun, küçük miktarlardaki gluteni *in vitro* olarak başarıyla bozduğu bulunmuştur. Arpadan elde edilen sistein endoproteaz EP-B2 ve *Sphingomonas capsulata*’dan elde edilen PEP karışımının, immünojenik gluten peptidlerini başarılı bir şekilde hidrolize ettiği *in vitro* da belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, KumaMax adındaki sentetik bir enzimin

in vitro sonuçlarına benzerlik göstermiştir. Bu enzimlere ek olarak, sınırlı aktivitelerine rağmen gluten toksisitesinin giderilmesine yardımcı olmak için piyasada esas olarak DPP-IV'e dayanan diğer diyet takviyeleri mevcuttur. *Flavobacterium meningosepticum*, *Sphingomonas capsulate* ve *Myxococcus xanthus* kaynaklı prolin endopeptidazlar, immünojenik gluten amino asit sekanslarını başarılı bir şekilde parçalayabildikleri için farmasötik kullanımdaki potansiyellerini göstermiştir (Moreno Amador vd., 2019).

En iyi karakterize edilmiş LAB olan *Lactococcus lactis*'te, tanımlanan endopeptidazlar arasında PepO, PepO2, PepF1 ve PepF2 bulunur. PepO, PepF1 ve PepF2 enzimlerinin hepsi metaloproteazlardır ve operonlarda kodlanmaktadır. Bu endopeptidazların fizyolojik rolleri belirsizliğini korumaktadır. Bununla birlikte, PepF'nin, azot kıtlığı sırasında protein dönüşümü için önemli olduğu düşünülmektedir (Chen vd., 2003).

Tedavide, tTG'ni baskılayarak glutenin immünstimulan etkisini azaltmak da düşünülmüş, ancak tTG'nin doku hasarı onarımında ve başka sistemlerde de etkin olması nedeniyle bu tedavi şekli kabul görmemiştir. Gluten peptidlerinin HLA DQ2/8 molekülü ile bağlanmasını bloke ederek, T hücre reaktivasyonunu bloke etmek de bir başka tedavi yaklaşımı olarak görülmüştür. Ancak böyle bir bloker ajan kullanımı ile HLA DQ2/8 dışında diğer HLA antijenlerinin etkilenmemesi gerekmektedir, bu nedenle bu konudaki çalışmalar sürmektedir. Hastalığın patogenezinde rol oynayan proinflatuvar sitokinlerden IL-15'in bloke edilmesi veya inhibitör bir sitokin olan IL-10 ile tedaviler de deneysel olarak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak sonuçlar henüz kesin değildir ve yan etkiler nedeniyle glutensiz diyetle alternatif olamamıştır (Demirçeken, 2011).

4. Sonuç

ÇH, gluten proteinleri tarafından tetiklenen bir otoimmün enteropatidir. Yaşam boyu süren bir hastalıktır ve bu duyarlılıktan kaynaklanan semptomlardan uzak kalmanın tek yolu gluten içeren ürünleri diyetten çıkarmaktır. Ancak hassas bireylerin gluteni tamamen diyetlerinden çıkarmaları ve bunu ömür boyu sürdürebilmeleri hem psikolojik hem de ekonomik açıdan kolay değildir. Bu nedenle ÇH'nın tedavisinde ya da bu hassasiyetten kaynaklanan semptomların hafifletilmesinde kullanılabilecek alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

Son 10 yılda yapılan araştırmalar, bağırsak mikrobiyotası ve ÇH arasındaki karmaşık ilişkiye ışık tutmuştur. Ancak, probiyotik mikroorganizmaların bu hastalık üzerindeki etkilerinin moleküler mekanizmaları hala açıklanmaya muhtaçtır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda probiyotiklerin gluten proteinlerini toksik olmayan peptidlere parçalama yetenekleri genellikle *in vitro* deneylerle test edilmiştir. Bununla birlikte probiyotiklerin, gliadinin tetiklediği

inflamasyon bulgularını ne şekilde etkilediği konusu *in vivo* deneylerle de (deney hayvanlarında) araştırılmıştır. Ancak insanlar üzerinde yapılan uygulamaların sayısı çok fazla değildir. Yapılan *in vitro* ve *in vivo* denemelerden edinilen bilgiler ışığında, gliadin peptitlerini parçalayan enzimlere sahip ve anti-inflamatuvar etkileri olan probiyotik suşların, bu hastalığın tedavisinde kullanılmalarının potansiyelini ortaya koymaktadır.

Belirli bir probiyotik suşun konakda göstereceği faydalı biyolojik aktiviteler; konağın yaşına, cinsiyetine, fizyolojik durumlarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, yeni probiyotik türlerin keşfi ve onların biyolojik aktivite profillerinin ortaya konması oldukça büyük önem taşımaktadır. FDA, LAB'ni ve onların çeşitli ürünlerinin tüketici kullanımı için güvenli kabul etmiştir. Bu nedenle özellikle de, gluten hidrolizi yaparak, bu proteini hassas bireyler için antijenik olmayan peptidlere parçalama yeteneğindeki probiyotik LAB bu açıdan umut vaat etmektedirler.

Kaynakça

- Brzozowski, B. 2016. "Immunoreactivity of wheat proteins modified by hydrolysis and polymerisation". *European Food Research and Technology*, 242(7), 1025–1040.
- Buran, T., Sülükçü, Ş., Kasap, E. 2017. "Çölyak Hastalığı İle Birlikte Olan Ülseratif Kolit Tanısı Alan Vaka Sunumu ". *Manisa CBU Journal of Institute of Health Science*, 4(1), 577-579.
- Canova, C., Zabeo, V., Pitter, G., Romor, P., Baldovin, T., Zanotti, R., Simonato, L. 2014. "Association of maternal education, early infections, and antibiotic use with celiac disease: a population-based birth cohort study in northeastern Italy". *American Journal of Epidemiology*, 180(1), 76-85. doi:10.1093/aje/kwu101
- Catassi, C., Alaedini, A., Bojarski, C., Bonaz, B., Bouma, G., Carroccio, A., Castillejo, G., De Magistris, L., Dieterich, W., Di Liberto, D., Elli, L., Fasano, A., Hadjivassiliou, M., Kurien, M., Lionetti, E., Mulder, C.J., Rostami, K., Sapone, A., Scherf, K., Schuppan, D., Trott, N., Volta, U., Zavallos, V., Zopf, Y., Sanders, D.S. 2017. "The Overlapping Area of Non-Celiac Gluten Sensitivity (NCGS) and Wheat-Sensitive Irritable Bowel Syndrome (IBS): An Update.". *Nutrients*, 9(11), 1268. doi:10.3390/nu9111268
- Chander, A.M., Yadav, H., Jain, S., Bhadada, S.K., Dhawan, D.K. 2018. "Cross-talk between gluten, intestinal microbiota and intestinal mucosa in celiac disease: Recent advances and basis of autoimmunity". *Frontiers in microbiology*, 9, 2597.
- Chen, H., Hoover, D.G. 2003. "Bacteriocins and their food applications". *Comp Rev Food Sci Food Saf* 2:82-100.

- Collado, M.C., Donat, E., Ribes-Koninckx, C., Calabuig, M., Sanz, Y. 2008. Imbalances in faecal and duodenal *Bifidobacterium* species composition in active and non-active coeliac disease. *BMC Microbiol.* 8:232. doi: 10.1186/1471- 2180-8-232
- Collado, M.C., Donat, E., Ribes-Koninckx, C., Calabuig, M., Sanz, Y. 2009. Specific duodenal and faecal bacterial groups associated with paediatric coeliac disease. *J. Clin. Pathol.* 62, 264–269. doi: 10.1136/jcp.2008.061366
- Cristofori, F.; Indrio, F.; Miniello, V.L.; De Angelis, M.; Francavilla, R. Probiotics in Celiac Disease. **2018**. *Nutrients*, , 10, 1824.
- De Angelis, M., Siragusa, S., Berloco, M., Caputo, L., Settanni, L., Alfonsi, G., Amerio, M., Grandi, A., Ragni, A., Gobbetti, M. 2006a. "Selection of potential probiotic lactobacilli from pig feces to be used as additives in pelleted feeding". *Research in Microbiology*, 157(8), 792-801.
- De Angelis, M., Rizzelo, C.G., Fasano, A., Clemente, M.G., De Simone, C., Silano, M., De Vincenzi, M., Losito, I., Gobbetti, M. 2006b. "VSL#3 probiotic preparation has the capacity to hydrolyze gliadin polypeptides responsible for celiac sprue". *Biochim. Biophys. Acta* 1762, 80-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbadis.2005.09.008>.
- D'Arienzo, R., Stefanile, R., Maurano, F., Mazzarella, G., Ricca, E., Troncone, R., Auricchio, S., Rossi, M. 2011. "Immunomodulatory effects of *Lactobacillus casei* administration in a mouse model of gliadin-sensitive enteropathy". *Scand. J. Immunol.* 74, 335-341. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3083.2011.02582.x>
- De Palma, G., Cinova, J., Stepankova, R., Tuckova, L., Sanz, Y. 2010. "Pivotal advance: bifidobacteria and Gram-negative bacteria differentially influence immune responses in the proinflammatory milieu of celiac disease". *J. Leukoc. Biol.* 87,765-778. <http://dx.doi.org/10.1189/jlb.0709471>.
- de Sousa Moraes, L.F., Grzeskowiak, L.M., de Sales Teixeira, T.F., Peluzio, M.C.G. 2014. "Intestinal Microbiota and Probiotics in Celiac Disease". *Clinical Microbiology Reviews*, 27(3), 482-489. doi:10.1128/CMR.00106-13
- Demirçeken, F.G. 2011. "Gluten Enteropatisi (Çölyak Hastalığı): Klasik Bir Öykü ve Güncel Gelişmeler". *Güncel Gastroenteroloji*, 15(1), 58-72.

- Di Cagno, R., Rizzello, C.G., De Angelis, M., Cassone, A., Giuliani, G., Benedusi, A., Limitone, A., Surico, R.S., Gobbetti, M. 2008. "Use of Selected Sourdough Strains of *Lactobacillus* For Removing Gluten and Enhancing the Nutritional Properties of Gluten-Free Bread". *Journal of Food Protection*, 71(7), 1491-1495.
- Di Cagno, R., Rizzello, C.G., Gagliardi, F., Ricciuti, P., Ndagijimana, M., Francavilla, R., Guerzoni, M.E., Crecchio, C., Gobbetti, M., De Angelis, M. 2009. "Different fecal microbiotas and volatile organic compounds in treated and untreated children with celiac disease". *Applied and Environmental Microbiology*, 75(12), 3963-3971. doi:10.1128/AEM.02793-08
- Duar, R.M., Clark, K. J., Patil, P.B., Hernández, C., Brüning, S., Burkey, T.E., Madayiputhiya, N., Taylor, S.L., Walter, J. 2015. "Identification and characterization of intestinal lactobacilli strains capable of degrading immunotoxic peptides present in gluten". *Journal of Applied Microbiology*, 118(2), 515-527.
- FAO/WHO. 2008. Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. CODEX STAN 118-1979.
- FDA. (2004). *Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food*. Retrieved from London Ontario, Canada.
- FDA. (2016, 7.31.2018). Generally Recognized as Safe (GRAS) Notification Program.
- Fernández-Crehuet, F.G., Tapia-Paniagua, S., Morinigo-Gutiérrez, M.A., Navas-López, V.M., Serrano, M.J., Blasco-Alonso, J., Sierra-Salinas, C. 2016. "The duodenal microbiota composition in children with active coeliac disease is influenced for the degree of enteropathy". *Anales de Pediatría (English Edition)*, 84(4), 224-230. doi:10.1016/j.anpedi.2015.06.014
- Gill, S.R., Pop, M., Deboy, R.T., Eckburg, P.B., Turnbaugh, P.J., Samuel, B.S., Gordon, J.I., Relman, D.A., Fraser-Liggett, C.M., Nelson, K.E. 2006. "Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome". *Science*, 312(5778), 1355-1359.
- Gobbetti, M., Rizzello, C.G., Di Cagno, R., De Angelis, M. 2007. "Sourdough Lactobacilli and Celiac Disease". *Food Microbiology*, 24(2), 187-196.

- Golfetto, L., de Senna, F.D., Hermes, J., Beserra, B.T., Franca, S., Martinello, F. 2014. "Lower bifidobacteria counts in adult patients with celiac disease on a gluten-free diet". *Arquivos de Gastroenterologia (Archives of Gastroenterology)*, 51(2), 139-143. doi:10.1590/ S0004-28032014000200013
- Göral, V., Yildirim, N., Kaplan, A., Dede, Ş.İ.T., Çelik, M. 2007. "Gluten enteropatisi sıklığı". *Akademik Gastroenteroloji Dergisi*, 6(3), 144-148.
- Gutiérrez, S., Pérez-Andrés, J., Martínez-Blanco, H., Ferrero, M.A., Vaquero, L., Vivas, S., Casqueiro, J., Rodríguez-Aparicio, L.B. 2017. "The human digestive tract has proteases capable of gluten hydrolysis". *Molecular Metabolism* 6, 693-702. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molmet.2017.05.008>
- Henggeler JC, Verissimo M, Ramos F. Non-coeliac gluten sensitivity: a review of the literature. *Trends Food Sci Technol*. 2017;66:84-92
- Hernández-Espinosa, N., Reyes-Reyes, M., González-Jiménez, F.E., Núñez-Bretón, L.C., Cooper-Bribiesca B.L. "The Importance of the Storage Proteins in Cereals (Prolamins)". *VERTIENTES Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, 18(1):3-7, 2015.
- Herrán, A.R., Pérez-Andrés, J., Caminero, A., Nistal, E., Vivas, S., de Morales, J.M.R., Casqueiro, J. 2017. "Gluten-Degrading Bacteria are Present in the Human Small Intestine of Healthy Volunteers and Celiac Patients". *Research in Microbiology*, 168(7), 673-684.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G.R., Merenstein, D.J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R.B., Flint, H.J., Salminen, S., Calder, P.C., Sanders, M.E. 2014. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 11, 506–514. doi:10.1038/nrgastro.2014.66
- Kabbani, T.A., Vanga, R.R., Daniel A., Villafuerte-Galvez, J., Pallav, K., Hansen, J., Mukherjee, R., Dennis, M., Kelly, C.P. 2014. "Celiac Disease or Non-Celiac Gluten Sensitivity? An Approach to Clinical Differential Diagnosis". *The American Journal of Gastroenterology*. doi: 10.1038/ajg.2014.41
- Kerry, R.G., Pradhan, P., Samal, D., Gouda, S., Das, G., Shin, H.S., Patra, J.K. 2018. "Probiotics: The Ultimate Nutritional Supplement" *Microbial Biotechnology* (In (Vol. 2, pp. 141-152). Singapore: Springer.

- Leonard, M.M., Sapone, A., Catassi, C., Fasano, A. 2017. "Celiac Disease and Nonceliac Gluten Sensitivity: A Review". *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 318(7), 647-656. doi:10.1001/jama.2017.9730
- Laparra, J.M., Olivares, M., Gallina, O., Sanz, Y. 2012. "Bifidobacterium longum CECT 7347 modulates immune responses in a gliadin-induced enteropathy animal model". *PLoS One* 7:e30744. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0030744>.
- Moreno Amador, M. de L., Arévalo-Rodríguez, M., Durán, E. M., Martínez Reyes, J. C. ve Sousa Martín, C. 2019. "A new microbial gluten-degrading prolyl endopeptidase: Potential application in celiac disease to reduce gluten immunogenic peptides". *PLoS One*; 14(6): e0218346.
- Nadal, I., Donat, E., Ribes-Koninckx, C., Calabuig, M., Sanz, Y. 2007. Imbalance in the composition of the duodenal microbiota of children with coeliac disease. *J. Med. Microbiol.* 56, 1669–1674. doi: 10.1099/jmm.0.47410-0
- Nagpal, R., Kumar, A., Kumar, M., Behare, P.V., Jain, S. ve Yadav, H. 2012. "Probiotics, Their Health Benefits and Applications for Developing Healthier Foods: A Review". *Fems Microbiology Letters*, 334(1), 1-15.
- O'Hara, A.M. ve Shanahan, F. . 2006. "The gut flora as a forgotten organ". *EMBO Reports*, 7(7), 688–693.
- Olivares, M., Neef, A., Castillejo, G., Palma, G.D., Varea, V., Capilla, A., Palau, F., Nova, E., Marcos, A., Polanco, I., Ribes-Koninckx, C., Ortigosa, L., Izquierdo, L. ve Sanz, Y. 2015. "The HLA-DQ2 genotype selects for early intestinal microbiota composition in infants at high risk of developing coeliac disease". *Gut*, 64(3), 406–417. doi:10.1136/gutjnl-2014-306931
- Özkaya, V. ve Özkaya, Ş.Ö. 2018. "Çölyak Hastalığına Diyetetik Yaklaşım". *Selcuk Medical Journal*, 34(4), 186-193.
- Rivera E., Assiri A., Guandalini S. 2013. "Celiac disease". *Oral Dis.*;19(7):635-41.
- Rizzello, C.G., De Angelis, M., Di Cagno, R., Camarca, A., Silano, M., Losito, I., De Vincenzi, M., De Bari, M.D., Palmisano, F., Maurano, F., Gianfrani, C. ve Gobetti, M. 2007. "Highly Efficient Gluten Degradation by Lactobacilli and Fungal Proteases During Food Processing: New Perspectives for Celiac Disease". *Applied Environmental Microbiology*, 73(14), 4499-4507.

- Round, J.L., Mazmanian, S.K. 2009. "The Gut Microbiota Shapes Intestinal Immune Responses During Health and Disease". *Nature Reviews Immunology*, 9(5), 313.
- Sanders, M.E. . 2009. "How do we know when something called "probiotic" is really a probiotic? A guideline for consumers and health care professionals". *Functional Food Reviews*, 1(1), 3–12.
- Sanz, Y. 2007. "Ecological and functional implications of the acid-adaptation ability of Bifidobacterium: a way of selecting improved probiotic strains". *International Dairy Journal*, 17(11), 1284-1289.
- Scherf, K.A., Catassi, C., Chirido, F., Ciclitira, P.J., Feighery, C., Gianfrani, C., Koning, F., Lundin, K.E.A., Schuppan, D., Smulders, M.J.M., Tranquet, O., Troncone, R., Koehler, P. 2020. "Recent Progress and Recommendations on Celiac Disease From the Working Group on Prolamin Analysis and Toxicity". *Front. Nutr.* 7:29. doi: 10.3389/fnut.2020.00029
- Sellitto, M., Bai, G., Serena, G., Fricke, W.F., Sturgeon, C., Gajer, P., White, J.R., Koenig, S.S., Sakamoto, J., Boothe, D., Gicquelais, R., Kryszak, D., Puppa, E., Catassi, C., Ravel, J. ve Fasano, A. 2012. "Proof of concept of microbiome-metabolome analysis and delayed gluten exposure on celiac disease autoimmunity in genetically at-risk infants". *PloS One*, 7(3), e33387.
- Shmidt, E., Smyrk, T.C., Boswell, C.L., Enders, F.T. ve Oxentenko, A.S. 2014. "Increasing duodenal intraepithelial lymphocytosis found at upper endoscopy: time trends and associations". *Gastrointestinal Endoscopy*, 80(1), 105-111. doi:10.1016/j.gie.2014.01.008
- Stanton, C., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F. ve Van Sinderen, D. 2005. "Fermented Functional Foods Based on Probiotics and their Biogenic Metabolites". *Current Opinion In Biotechnology*, 16(2), 198-203.
- Tannis, A. 2008. "A history of probiotics" Probiotic Rescue: How You can use Probiotics to Fight Cholesterol, Cancer, Superbugs, Digestive Complaints and More (In 1 ed., pp. 13-21): Wiley.
- Tavakkoli A., Green P.H. 2013. "Probiotic Therapy for Celiac Disease". *J Clin Gastroenterol*, 47(2).
- Troncone, R., Auricchio, R. ve Granata, V. 2008. "Issues related to gluten-free diet in coeliac disease". *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 11(3), 329-333.

- Ursell, L.K., Haiser, H.J., Van Treuren, W., Garg, N., Reddivari, L., Vanamala, J., Dorrestein, P.C., Turnbaugh, P.J. ve Knight, R. 2014. "The intestinal metabolome: an intersection between microbiota and host". *Gastroenterology*, 146(6), 1470-1476. doi:10.1053/j.gastro.2014.03.001.
- Wang, B., Yao, M., Lv, L., Ling, Z. ve Li, L. 2017. "The Human Microbiota in Health and Disease". *Engineering*, 3(1), 71-82. doi:<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.01.008>

CHAPTER
6

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Motor Parametrelerinin Tahmininde Bulanık Uzman Sistem
Tasarımı (Ayşe Eldem, Hüseyin Eldem)**

Motor Parametrelerinin Tahmininde Bulanık Uzman Sistem Tasarımı

Ayşe ELDEM¹, Hüseyin ELDEM²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
E-mail: ayseeldem@kmu.edu.tr

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bilgisayar
Teknolojileri Bölümü, E-mail: heldem@kmu.edu.tr

1. Giriş

Bulanık Mantık, kontrol edilen sistemden gelen etkilere ve uzman tecrübelerinden yararlanılarak oluşturulan bulanık kurallara göre karar verme yeteneğine sahip bir uzman sistem olarak ifade edilebilir. Uzman olan kişi, bilgisini kesin sayısal terimler yerine doğal dildeki kelimeleri kullanarak açıklamaktadır. Uzman, bulanık denetim kurallarının doğal dildeki kelimelerle ifade edildiği bir kontrol stratejisi oluşturmak istiyorsa bulanık denetleyiciler vasıtasıyla bunu oluşturmaktadır (Eldem ve ark., 2012).

Bulanık denetleyiciler, klasik denetleyicilere nazaran, uzman insanların tecrübelerinden yararlanmaktadır. Bu sayede, çok değişkenli ve maliyetli sistem tasarımlarında ya da matematiksel olarak modellenmesinde güçlük çekilen sistemlerde son derece önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bulanık denetleyicilerin, klasik denetleyicilere göre bazı avantajları vardır. Bunlar; paralel ve dağıtık kontrol, sözel kontrol, güvenilir kontrol sağlamasıdır. Olumsuz yönleri ise hesaplama maliyeti, kural tanımlama güçlükleri ve optimizasyon problemleridir.

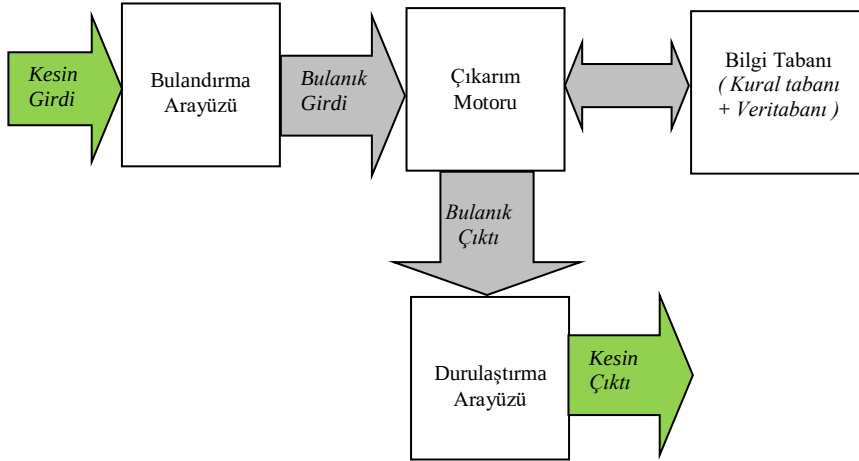
Bulanık mantık denetleyiciler Şekil 1'de gösterildiği gibi bilgi tabanı, bulanıklaştırma, karar verme (çıkarım motoru) ve durulaştırma birimleri olmak üzere dört temel bileşenden oluşur (Eldem ve ark., 2013).

Bulanıklaştırma (Bulandırma Arayüzü), sistemden alınan kesin girdi değerlerini uygun dilsel niteleyicileri kullanarak bulanık değerlere çevirir. Üyelik fonksiyonu ile giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık küme ve üyelik derecesi tespit edilir.

Bilgi tabanı, kontrol kuralları ve verileri işlemede kullanılan gerekli tanımlamaları içeren *veritabanı* ile kontrol stratejisi ve kuralları sözel kontrol kuralları aracılığı ile tanımlayan *kural tabanından* oluşur. Bulanık kural tabanı bulanık bir kontrol sisteminin olmazsa olmazıdır. Tasarlanan sisteme ait veriler, ön işleme adımlarından geçtikten sonra uzman yardımıyla belirlenerek bilgi tabanına yüklenen "eğer - o halde" şeklinde tanımlanan kurallara göre, çıkarım motoru tarafından işlenirler.

Karar verme birimi (Çıkarım Motoru) aşamasında bilgi tabanı ile birlikte çalışarak insanın karar verme yeteneğine benzer bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli kontrolü belirler. Bulanık çıkarım için Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto, Takasi-Sugeno gibi birçok farklı çıkarım yöntemi bulunmaktadır.

Durulama Arayüzü, bulanık çıkarımın sonucunda elde edilen bulanık değerlerin istenilen evrensel kümeye dönüştürerek, gerçekte kullanılacak verilerin elde edilmesini sağlar. Durulama işleminde de maksimum üyelik, ağırlık merkezi, ağırlık ortalaması gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.



Şekil 1: Bulanık Sistem

2. Tasarlanan Sistem

Endüstriyel sistemlerde bir sistemde girdiler ve çıktıların sistematize edilerek performansı yüksek ürünler elde edilmesi temel amaçlardan birisidir. Günümüzde bu anlamda insanlar için çok önemli sektörlerden biri de şüphesiz otomotiv sektörüdür. Hızla gelişen dünyamızda insanların ulaşım ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları araçların başında otomobiller gelmektedir. Otomobil sektöründe, motor performans tespiti için çalışmayı etkileyen parametrelerin değişimlerinin motor performansına nasıl bir etki oluşturacağını belirlenmesi amacıyla testler yapılmaktadır. Üretilen araçlarda girdilere göre etkili çıktıların üretilmesinde birçok deney ve testler yapılmakta ve kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verebilecek birçok farklı segmentte araçlar dizayn edilebilmektedir.

Bulanık mantık uygulamaları otomobil sektöründe de birçok çalışmada kullanılmıştır. Örneğin giriş parametreleri olarak, motor devri ve avans, çıkış parametreleri olarak motor gücü, motor moment, özgül yakıt tüketim miktarı ve emisyon parametrelerinden hidrokarbonun kullanıldığı benzinli bir motorun performans ve emisyon karakteristiklerinin belirlenmesi üzerine bulanık mantık temelli bir çalışma yapılmıştır (Taşdemir and Allahverdi 2009). Bulanık mantık yardımıyla yakıt hücreli hibrit araçlarda güç yönetimi ve ekonomik yakıt tahmini gerçekleştirilmiştir (Li, Li et al. 2009). Farklı bir çalışmada ise Hidrojen yakıtı kullanılan bir dizel motora ait emisyon

değerlerinin bulanık uzman sistemi ile modellenmesi ele alınmıştır (Akbıyık 2008). Jet motoruna ait yakıt sistemi bilgilerine yer verilerek bütün çalışma şartları altında motora uygun basınç ve debide, temiz yakıt akışını sağlayan yakıt sistemi parametrelerinin bulanık mantık ile tasarımı yapılmıştır (İskender 2007).

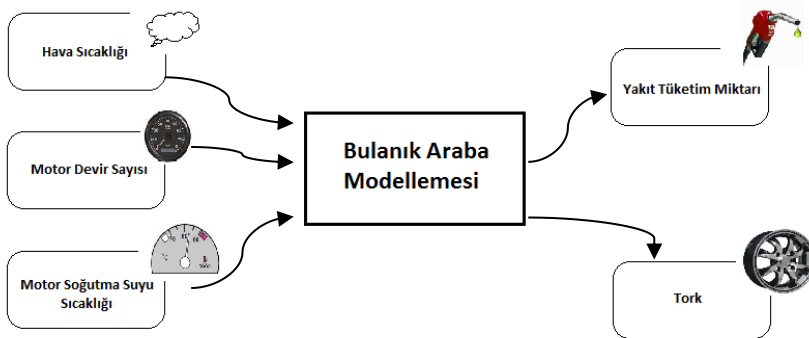
Otomobil sektöründe, bir aracın performansını etkileyen birçok giriş parametresi ve çıkış parametresi bulunmaktadır. Otomobiller farklı gruplar altında toplandığından (benzinli, dizel, vb) çalışmalar da farklılık gösterebilmektedir.

Bu uygulamada bir otomobile ait motor parametreleri dikkate alınarak hava sıcaklığı, motor devir sayısı ve motor soğutma suyu sıcaklığı değerlerinin yakıt tüketim miktarı ile tork değerlerini hangi düzeyde etkilediği, bulanık mantık yardımıyla modellenerek gösterilmesi hedeflenmiştir. Tüketilen yakıt ve motor torku hiç şüphesiz otomotiv sistemleri için önemli çıktılar olup, bu parametrelerin uygun şekilde hangi değere bağlı olarak nasıl değiştiğinin modellenenebilmesi, sektör için yeni kazanımların elde edilmesine katkı sağlayabilecektir. Çıkış parametrelerinin seçimindeki temel amaç, bir otomobili en verimli şekilde kullanımını sağlamak ve bir otomobilden yakıt tüketim miktarı ve torku açısından maksimum performansı elde etmek olmalıdır.

2.1. Sistem Yapısı

Bu aşamada tasarlanan sistemin yapısında otomobil sistemi için önem arz eden parametreler belirlenmiştir. Bulanık mantık ile motor parametrelerinin tahmininde girdi olarak “Hava Sıcaklığı (°C)”, “Motor Devir Sayısı (1/min)” ve “Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı (°C)” parametreleri, çıktı olarak ise “Yakıt Tüketim Miktarı (h/litre)” ile “Tork (N.m)” parametreleri esas alınmıştır.

Şekil 2’de gösterildiği gibi bir otomobil sistemi için havanın sıcaklığı (HS), motor devir sayısı (MDS) ve motor soğutma suyu sıcaklığına (MSSS) göre yakıt tüketimi miktarı (YTM) ile motor torkunu (TORK) belirleyen bir bulanık kontrol sistemi tasarlanmıştır.



Şekil 2: Bulanık Kontrol Sistemi

Giriş ve çıkış parametreleri için belirlenen değer aralıkları;

Giriş Parametreleri:

$$HS = [0^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}]$$

$$MDS = [0 \text{ 1/min} - 6000 \text{ 1/min}]$$

$$MSSS = [0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}]$$

Çıkış Parametreleri:

$$YTM = [0 \text{ h/litre} - 12 \text{ h/litre}]$$

$$\text{TORK} = [0 \text{ N.m} - 120 \text{ N.m}]$$

2.2. Giriş ve Çıkış Parametrelerini Bulanıklaştırma

Öncelikle üç giriş ve iki çıkış parametresi bulunan sistem için dilsel ifadelerin belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 1’de görüldüğü üzere giriş ve çıkış parametrelerinin her biri için üçer adet dilsel ifade belirlenmiştir.

Tablo 1: Dilsel İfadeler

GİRİŞLER			ÇIKIŞLAR	
Hava Sıcaklığı HS (°C)	Motor Devir Sayısı MDS (1/min)	Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı MSSS (°C)	Yakıt Tüketim Miktarı YTM (h/litre)	Tork TORK (N.m)
Soğuk	Düşük	Soğuk	Az	Düşük
Orta	Orta	Orta	Orta	Orta
Sıcak	Yüksek	Sıcak	Çok	Yüksek

Sonrasında dilsel ifadeleri sayısal olarak ifade edebilmek için bulanık kümeler oluşturulmalıdır. Oluşturulacak olan bulanık kümeler ise uzman tarafından belirlenmiş kurallara göre oluşturulmalıdır. Uzmandan alınan kuralların matematiksel fonksiyonları;

Giriş Parametreleri:

a) *Hava Sıcaklığı* için;

$$\mu_{\text{soğuk}}(HS) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{20 - x}{20} \right) & 0 \leq x \leq 20 \\ 0 & x > 20 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}}(HS) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \left(\frac{x}{20} \right) & 1 \leq x \leq 20 \\ \left(\frac{40 - x}{20} \right) & 10 < x < 20 \\ 0 & x = 40 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sıcak}} (\text{HS}) = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \\ \left(\frac{x-20}{20} \right) & 20 < x \leq 40 \\ 1 & x = 40 \end{cases}$$

b) *Motor Devir Sayısı için;*

$$\mu_{\text{düşük}} (\text{MDS}) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{3000-x}{3000} \right) & 0 < x \leq 3000 \\ 0 & x > 3000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} (\text{MDS}) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \left(\frac{x}{3000} \right) & 1 \leq x \leq 3000 \\ \left(\frac{6000-x}{3000} \right) & 3000 < x < 6000 \\ 0 & x = 6000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{yüksek}} (\text{MDS}) = \begin{cases} 0 & x \leq 3000 \\ \left(\frac{x-3000}{3000} \right) & 3000 < x \leq 6000 \\ 1 & x = 6000 \end{cases}$$

c) *Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı için;*

$$\mu_{\text{soğuk}} (\text{MSSS}) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{50-x}{50} \right) & 0 \leq x \leq 50 \\ 0 & x > 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} (\text{MSSS}) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \left(\frac{x}{50} \right) & 1 \leq x \leq 50 \\ \left(\frac{100-x}{50} \right) & 50 < x < 100 \\ 0 & x = 100 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sıcak}} (\text{MSSS}) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \left(\frac{x-50}{50} \right) & 50 < x \leq 100 \\ 1 & x = 100 \end{cases}$$

Cıkış Parametreleri:a) *Yakıt Tüketim Miktarı* için;

$$\mu_{\text{az}} (\text{YTM}) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{5-x}{5} \right) & 0 < x \leq 5 \\ 0 & x > 5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} (\text{YTM}) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \left(\frac{x}{5} \right) & 1 \leq x \leq 5 \\ \left(\frac{10-x}{5} \right) & 5 < x < 10 \\ 0 & x > 10 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{çok}} (\text{YTM}) = \begin{cases} 0 & x \leq 5 \\ \left(\frac{x-5}{5} \right) & 5 < x \leq 10 \\ 1 & x > 10 \end{cases}$$

b) *Tork* için;

$$\mu_{\text{düşük}} (\text{TORK}) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{50-x}{50} \right) & 0 < x \leq 50 \\ 0 & x > 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} (\text{TORK}) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \left(\frac{x}{50} \right) & 1 \leq x \leq 50 \\ \left(\frac{100-x}{50} \right) & 50 < x < 100 \\ 0 & x > 100 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{yüksek}} (\text{TORK}) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \left(\frac{x-50}{50} \right) & 50 < x \leq 100 \\ 1 & x > 100 \end{cases}$$

Oluşturulan kuralların bulanık kümeleri;

Giriş Parametreleri:

a) Hava Sıcaklığı için;

$$\text{Soğuk} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0 + 0.9/2 + 0.8/4 + 0.7/6 + 0.6/8 + 0.5/10 \\ + 0.4/12 + 0.3/14 + 0.2/16 + 0.1/18 + 0/20 \\ + 0/22 + 0/24 + 0/26 + 0/28 + 0/30 \\ + 0/32 + 0/34 + 0/36 + 0/38 + 0/40 \end{array} \right\}$$

$$\text{Orta} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0 + 0.1/2 + 0.2/4 + 0.3/6 + 0.4/8 + 0.5/10 \\ + 0.6/12 + 0.7/14 + 0.8/16 + 0.9/18 + 1/20 \\ + 0.9/22 + 0.8/24 + 0.7/26 + 0.6/28 + 0.5/30 \\ + 0.4/32 + 0.3/34 + 0.2/36 + 0.1/38 + 0/40 \end{array} \right\}$$

$$\text{Sıcak} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0 + 0/2 + 0/4 + 0/6 + 0/8 + 0/10 \\ + 0/12 + 0/14 + 0/16 + 0/18 + 0/20 \\ + 0.1/22 + 0.2/24 + 0.3/26 + 0.4/28 + 0.5/30 \\ + 0.6/32 + 0.7/34 + 0.8/36 + 0.9/38 + 1/40 \end{array} \right\}$$

b) Motor Devir Sayısı için;

$$\text{Düşük} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0 + 0.9/300 + 0.8/600 + 0.7/900 + 0.6/1200 + 0.5/1500 \\ + 0.4/1800 + 0.3/2100 + 0.2/2400 + 0.1/2700 + 0/3000 \\ + 0/3300 + 0/3600 + 0/3900 + 0/4200 + 0/4500 \\ + 0/4800 + 0/5100 + 0/5400 + 0/5700 + 0/6000 \end{array} \right\}$$

$$\text{Orta} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0 + 0.1/300 + 0.2/600 + 0.3/900 + 0.4/1200 + 0.5/1500 \\ + 0.6/1800 + 0.7/2100 + 0.8/2400 + 0.9/2700 + 1/3000 \\ + 0.9/3300 + 0.8/3600 + 0.7/3900 + 0.6/4200 + 0.5/4500 \\ + 0.4/4800 + 0.3/5100 + 0.2/5400 + 0.1/5700 + 0/6000 \end{array} \right\}$$

$$\text{Yüksek} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0 + 0/300 + 0/600 + 0/900 + 0/1200 + 0/1500 \\ + 0/1800 + 0/2100 + 0/2400 + 0/2700 + 0/3000 \\ + 0.1/3300 + 0.2/3600 + 0.3/3900 + 0.4/4200 + 0.5/4500 \\ + 0.6/4800 + 0.7/5100 + 0.8/5400 + 0.9/5700 + 1/6000 \end{array} \right\}$$

c) Hava Sıcaklığı için;

$$\text{Soğuk} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0 + 0.9/5 + 0.8/10 + 0.7/15 + 0.6/20 + 0.5/25 \\ + 0.4/30 + 0.3/35 + 0.2/40 + 0.1/45 + 0/50 \\ + 0/55 + 0/60 + 0/65 + 0/70 + 0/75 \\ + 0/80 + 0/85 + 0/90 + 0/95 + 0/100 \end{array} \right\}$$

$$\text{Orta} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0 + 0.1/5 + 0.2/10 + 0.3/15 + 0.4/20 + 0.5/25 \\ + 0.6/30 + 0.7/35 + 0.8/40 + 0.9/45 + 1/50 \\ + 0.9/55 + 0.8/60 + 0.7/65 + 0.6/70 + 0.5/75 \\ + 0.4/80 + 0.3/85 + 0.2/90 + 0.1/95 + 0/100 \end{array} \right\}$$

$$\text{Sıcak} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0+0/5+0/10+0/15+0/20+0/25 \\ +0/30+0/35+0/40+0/45+0/50 \\ +0.1/55+0.2/60+0.3/65+0.4/70+0.5/75 \\ +0.6/80+0.7/85+0.8/90+0.9/95+1/100 \end{array} \right\}$$

Çıkış Parametreleri:

a) Yakıt Tüketim Miktarı için;

$$\text{Az} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0+0.9/0.5+0.8/1+0.7/1.5+0.6/2+0.5/2.5 \\ +0.4/3+0.3/3.5+0.2/4+0.1/4.5+0/5+0/5.5 \\ +0/6+0/6.5+0/7+0/7.5+0/8+0/8.5+0/9 \\ +0/9.5+0/10+0/10.5+0/11+0/11.5+0/12 \end{array} \right\}$$

$$\text{Orta} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0+0.1/0.5+0.2/1+0.3/1.5+0.4/2+0.5/2.5 \\ +0.6/3+0.7/3.5+0.8/4+0.9/4.5+1/5+0.9/5.5 \\ +0.8/6+0.7/6.5+0.6/7+0.5/7.5+0.4/8+0.3/8.5 \\ +0.2/9+0.1/9.5+0/10+0/10.5+0/11+0/11.5+0/12 \end{array} \right\}$$

$$\text{Çok} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0+0/0.5+0/1+0/1.5+0/2+0/2.5+0/3 \\ +0/3.5+0/4+0/4.5+0/5+0.1/5.5+0.2/6 \\ +0.3/6.5+0.4/7+0.5/7.5+0.6/8+0.7/8.5+0.8/9 \\ +0.9/9.5+1/10+1/10.5+1/11+1/11.5+1/12 \end{array} \right\}$$

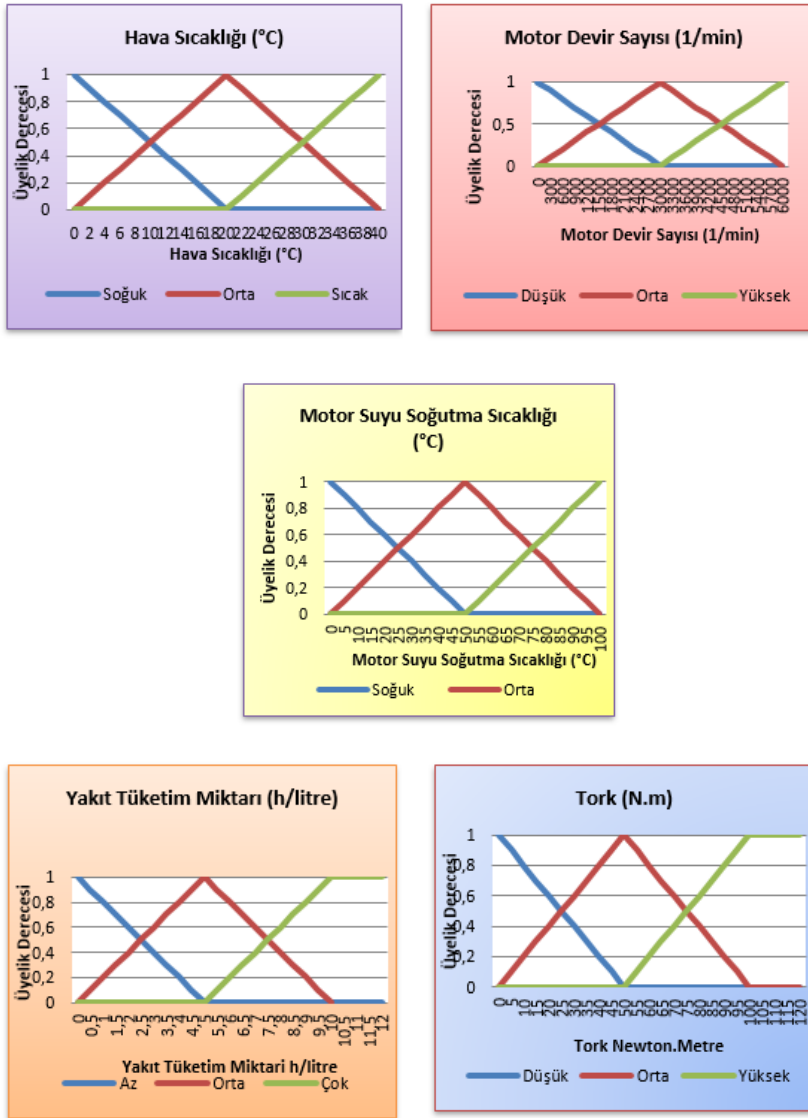
b) Tork için;

$$\text{Düşük} = \left\{ \begin{array}{l} 1/0+0.9/5+0.8/10+0.7/15+0.6/20+0.5/25 \\ +0.4/30+0.3/35+0.2/40+0.1/45+0/50+0/55 \\ +0/60+0/65+0/70+0/75+0/80+0/85+0/90 \\ +0/95+0/100+0/105+0/110+0/115+0/120 \end{array} \right\}$$

$$\text{Orta} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0+0.1/5+0.2/10+0.3/15+0.4/20+0.5/25 \\ +0.6/30+0.7/35+0.8/40+0.9/45+1/50+0.9/55 \\ +0.8/60+0.7/65+0.6/70+0.5/75+0.4/80+0.3/85 \\ +0.2/90+0.1/95+0/100+0/105+0/110+0/115+0/120 \end{array} \right\}$$

$$\text{Yüksek} = \left\{ \begin{array}{l} 0/0+0/5+0/10+0/15+0/20+0/25+0/30 \\ +0/35+0/40+0/45+0/50+0.1/55+0.2/60 \\ +0.3/65+0.4/70+0.5/75+0.6/80+0.7/85+0.8/90 \\ +0.9/95+1/100+1/105+1/110+1/115+1/120 \end{array} \right\}$$

Bulanık kümelerin grafiksel gösterimi ise Şekil 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3: Grafikselsel Gösterim

2.3 Bulanık Kuralların Oluşturulması

Girişteki değişken sayısı üç (3) ve her giriş değişkeni için de üçer (3) tane dilsel ifade olduğu için kurallar tabanında $3 \times 3 \times 3 = 27$ adet kural tanımlanabilir. Kurallar tabanı oluşturulurken üç giriş ile oluşacak bütün ihtimaller düşünülerek çıkış değerleri uzman görüşüne göre Tablo 2'deki gibi yazılmıştır.

Tablo 2: Kurallar Tabanı

Kural No	Hava Sıcaklığı HS (°C)	Motor Devir Sayısı MDS (1/min)	Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı MSSS (°C)	Yakıt Tüketim Miktarı YTM (h/litre)	Tork TORK (N.m)
1	soğuk	düşük	soğuk	çok	orta
2	soğuk	düşük	orta	çok	orta
3	soğuk	düşük	sıcak	orta	yüksek
4	soğuk	orta	soğuk	orta	orta
5	soğuk	orta	orta	orta	yüksek
6	soğuk	orta	sıcak	az	yüksek
7	soğuk	yüksek	soğuk	çok	orta
8	soğuk	yüksek	orta	orta	düşük
9	soğuk	yüksek	sıcak	orta	düşük
10	orta	düşük	soğuk	çok	orta
11	orta	düşük	orta	orta	orta
12	orta	düşük	sıcak	az	yüksek
13	orta	orta	soğuk	orta	orta
14	orta	orta	orta	az	yüksek
15	orta	orta	sıcak	az	yüksek
16	orta	yüksek	soğuk	çok	orta
17	orta	yüksek	orta	orta	düşük
18	orta	yüksek	sıcak	az	düşük
19	sıcak	düşük	soğuk	çok	orta
20	sıcak	düşük	orta	orta	orta
21	sıcak	düşük	sıcak	az	yüksek
22	sıcak	orta	soğuk	orta	orta
23	sıcak	orta	orta	az	yüksek
24	sıcak	orta	sıcak	az	yüksek
25	sıcak	yüksek	soğuk	orta	orta
26	sıcak	yüksek	orta	orta	düşük
27	sıcak	yüksek	sıcak	az	düşük

2.4 Çıkarım Mekanizması

Bu aşamada, mevcut girdiye karşılık gelen çıkış değerleri seçilir. Çıkarım mekanizması, girdilerin bulanık kural tabanı ile birlikte işlenerek çıkışların elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada yaygınlığı ve iyi bilinmesinin yanı sıra etkinliğinden dolayı Mamdani yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem bulanık koşul işlemcisi olarak En Küçük (min) işlemcisini, bileşke işlemcisi olarak da En Büyük-En Küçük (max-min) işlemcisini kullanır.

Sayısal ifadeler dilsel olarak ifade edildikten sonra her üç girişin birlikte oluşturabilecekleri tüm giriş kombinasyonları için kurallar tabanına müracaat edilir ve oradan hangi kuralların ateşleneceği bulunur. Ateşlenen kurallar tespit edildikten sonra *Mamdani (Max-Min) çıkarım mekanizması* kullanılarak ateşlenen kuraldaki giriş değerleri arasından minimum üyelik derecesine sahip olan girişin üyelik derecesi alınır ve bu değer o kuralın çıkışındaki çıkış grafiğinin kesim noktası olarak alınır.

Mamdani'nin ikinci aşaması olan max aşamasında ise ateşlenen bütün kurallar arasından aynı çıkış ifadesini veren kuralların kesim noktası değerlerinden maksimum olanlar alınır. Alınan maksimum kesim noktası değerleriyle çıkışa olabilecek bütün durumlar grafiğe yansıtılır. Bu şekilde çıkarım yapılmış olur.

Örneğin;

- Hava Sıcaklığı = 20
- Motor Devir Sayısı = 600
- Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı = 80

değerleri için ateşlenen kurallar Tablo 3'te gösterildiği üzere 11 – 12 – 14 ve 15. kurallardır.

Tablo 3: Ateşlenen Kurallar

Kural No	Hava Sıcaklığı HS (°C)	Motor Devir Sayısı MDS (1/min)	Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı MSSS (°C)	Yakıt Tüketim Miktarı YTM (h/litre)	Tork TORK (N.m)
11	orta	düşük	orta	orta	orta
12	orta	düşük	sıcak	az	yüksek
14	orta	orta	orta	az	yüksek
15	orta	orta	sıcak	az	yüksek

11. KURAL: Bu kuralda hava sıcaklığının **orta** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=1$, motor devir sayısının **düşük** bulanık kümesindeki üyelik derecesi $\mu=0.8$, motor soğutma suyu sıcaklığının **orta** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=0.4$ tür. Buna göre mamdani'nin ilk adımı $\rightarrow \min(1, 0.8, 0.4) = 0.4$ bulunur.

12. KURAL: Bu kuralda hava sıcaklığının **orta** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=1$, motor devir sayısının **düşük** bulanık kümesindeki üyelik derecesi $\mu=0.8$, motor soğutma suyu sıcaklığının **sıcak** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=0.6$ tür. Buna göre mamdani'nin ilk adımı $\rightarrow \min(1, 0.8, 0.6) = 0.6$ bulunur.

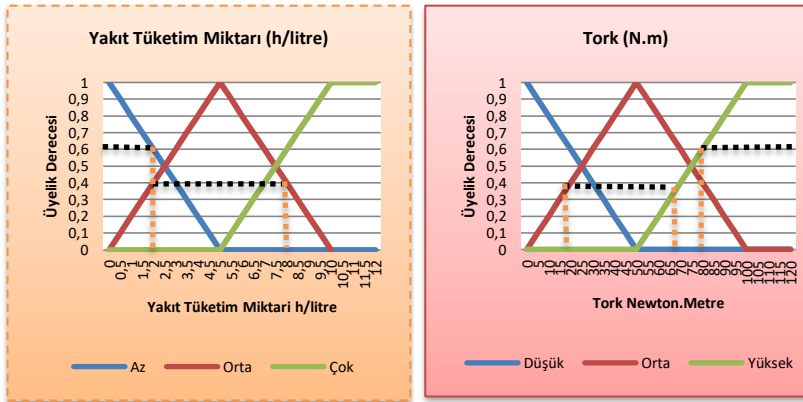
14. KURAL: Bu kuralda hava sıcaklığının **orta** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=1$, motor devir sayısının **orta** bulanık kümesindeki üyelik derecesi $\mu=0.2$, motor soğutma suyu sıcaklığının **orta** bulanık

kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=0.4$ tür. Buna göre mamdani'nin ilk adımı $\rightarrow \min(1, 0.2, 0.4) = 0.2$ bulunur.

15. KURAL: Bu kuralda hava sıcaklığının **orta** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=1$, motor devir sayısının **orta** bulanık kümesindeki üyelik derecesi $\mu=0.2$, motor soğutma suyu sıcaklığının **sıcak** bulanık kümesindeki bulanık üyelik derecesi $\mu=0.6$ tür. Buna göre mamdani'nin ilk adımı $\rightarrow \min(1, 0.2, 0.6) = 0.2$ bulunur.

Mamdani'nin ikinci aşaması olan max aşamasında ise ateşlenen bütün kurallar arasından aynı çıkış ifadesini veren kuralların kesim noktası değerlerinden maksimum olanlar alınır. Buna göre, durum yakıt tüketim miktarı açısından değerlendirildiğinde Mamdani max-min çıkarımına göre 11. kuralın sonucu “orta”, $\max(0.4) = 0.4$ olarak, aynı şekilde 12. 14. ve 15. kuralların sonucu “az” $\max(0.6, 0.2, 0.2) = 0.6$ olarak bulunur.

Durum tork açısından değerlendirildiğinde Mamdani max-min çıkarımına göre 11. kuralın sonucu “orta”, $\max(0.4) = 0.4$ olarak, aynı şekilde 12. 14. ve 15. kuralların sonucu “yüksek” $\max(0.6, 0.2, 0.2) = 0.6$ olarak bulunur. Bu durumda Mamdani çıkarımı sonucu yakıt tüketim miktarı ve tork için oluşan grafikler Şekil 4'te gösterilmiştir:



Şekil 4: Mamdani Çıkarım Sonuçları

2.5. Durulaştırma

Uygulamada çıkışların durulaştırılması aşamasında Centroid Metodu tercih edilmiştir. Centroid Metodu, integral sayesinde her bir noktanın ağırlığını hesapladığından daha hassas, net ve doğru sonuçlar vermektedir. Ağırlık Merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemidir. Aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$z^* = \frac{\int \mu_C(z)zdz}{\int \mu_C(z)dz}$$

Burada kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen ve yamuk türünde olduğundan dolayı integrali alınacak olan fonksiyonlar hep doğrunun integrali olacaktır. Bu yüzden genel bir integral alma metodu şu şekilde geliştirilmiştir.

$$\text{İki noktası bilinen doğru fonksiyonu, } \frac{x - x_1}{x_1 - x_2} = \frac{y - y_1}{y_1 - y_2}$$

integrali alınırsa ve x yerine de Mamdani'den gelecek olan bulanık z değerine koyacağımızı düşünersek,

Centroid denkleminde pay için

$$\int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{z - x_1}{x_1 - x_2} (y_1 - y_2) + y_1 \right) z dz = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \left(\frac{z^3}{3} - x_1 \frac{z^2}{2} \right) + y_1 \frac{z^2}{2}$$

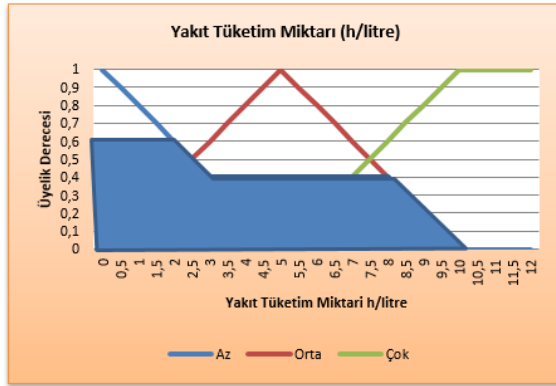
elde edilir. Aynı şekilde payda için,

$$\int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{z - x_1}{x_1 - x_2} (y_1 - y_2) + y_1 \right) dz = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \left(\frac{z^2}{2} - x_1 z \right) + y_1 z$$

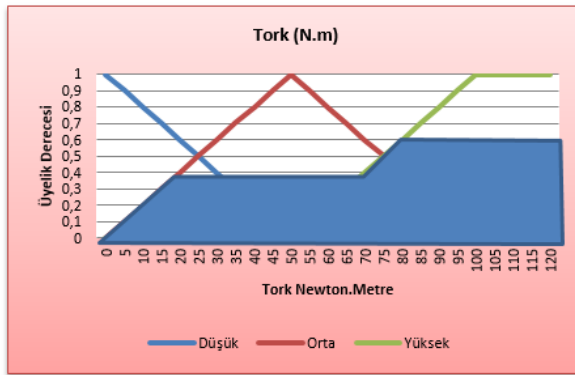
formülü elde edilir. Oluşan bölgede yamuk alanların üst kısmı sabit y fonksiyonu şeklinde olacağından integral işlemi pay ve payda için aşağıdaki şekilde olur,

$$\text{pay için } \int_{z_1}^{z_2} y z dz = y \frac{z^2}{2} \quad \text{payda için } \int_{z_1}^{z_2} y dz = y z \quad \text{olarak bulunur.}$$

Öncelikle verilen örnekte yakıt tüketim miktarı için hesaplanan sınır noktaları Şekil 5'te gösterilmiş olup aynı işlemler tork için yapıldığında da elde edilen sınır noktaları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5: Yakıt Tüketim Miktarı için sınır noktaları



Şekil 6: Tork için sınır noktaları

Sonuç olarak aşağıda belirtilen integralin sonucu hesaplanarak yakıt tüketim miktarı bulunmaktadır.

$$\frac{\int_0^2 0.6z dz + \int_2^3 \left(\frac{z-2}{2-3} (0.6-0.4) + 0.6 \right) z dz + \int_3^8 0.4z dz + \int_8^{10} \left(\frac{z-8}{8-10} (0.4-0) + 0.4 \right) z dz}{\int_0^2 0.6 dz + \int_2^3 \left(\frac{z-2}{2-3} (0.6-0.4) + 0.6 \right) dz + \int_3^8 0.4 dz + \int_8^{10} \left(\frac{z-8}{8-10} (0.4-0) + 0.4 \right) dz}$$

= 4.121 h/litre sonucu elde edilir.

Aynı işlemler tork çıkış değeri için de aynı yöntemle hesaplanmaktadır.

$$\frac{\int_0^{20} \left(\frac{z-0}{0-20} (0-0.4) + 0 \right) z dz + \int_{20}^{70} 0.4 z dz + \int_{70}^{80} \left(\frac{z-70}{70-80} (0.4-0.6) + 0.4 \right) z dz + \int_{80}^{120} 0.6 z dz}{\int_0^{20} \left(\frac{z-0}{0-20} (0-0.4) + 0 \right) dz + \int_{20}^{70} 0.4 dz + \int_{70}^{80} \left(\frac{z-70}{70-80} (0.4-0.6) + 0.4 \right) dz + \int_{80}^{120} 0.6 dz}$$

=70,38 N.m sonucu elde edilir.

2.6. Tasarlanan Arayüz

Bulanık mantık ile motor parametrelerinin tahmininin yapıldığı arayüz Şekil 7’de de gösterildiği üzere tüm giriş-çıkış grafikleri ve kural tabanının, tek bir form üzerinde aynı anda görülebileceği şekilde tasarlanmıştır.

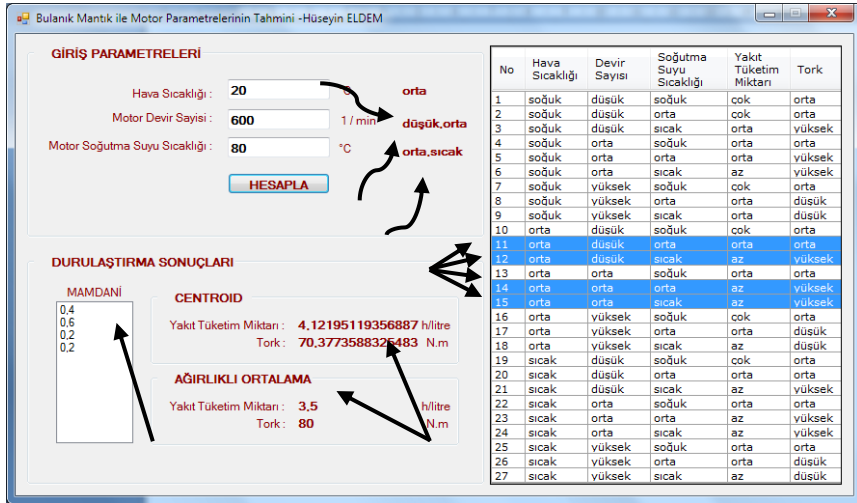
Arayüzde bulanık uzman sistemin giriş parametreleri kısmında kullanıcıdan hava sıcaklığı, motor devir sayısı ve motor soğutma suyu sıcaklığı değerlerinin girilmesi istenmektedir. Program yardımıyla giriş parametrelerinin tamamı girildikten sonra “HESAPLA” butonu aktif olmaktadır. Ana formun sağ tarafında ise veritabanındaki kayıtlı uzman görüşüne göre oluşturulmuş kural tabanı gelmektedir. Giriş değerlerine göre ateşlenen kurallar anında tablo üzerinde seçili hale gelmektedir. Ana formun üzerindeki diğer bir kısım ise *Durulaştırma Sonuçlarının* listelendiği kısımdır. Burada giriş değerleri girilerek “HESAPLA” butonuna basıldığında hesaplanan MAMDANI çıkarım mekanizması sonuçları listelenir. Ayrıca Centroid ve Ağırlıklı Ortalama yöntemlerine göre “Yakıt Tüketim Miktarı” ve “Tork” çıkış değerleri görüntülenmektedir.

No	Hava Sıcaklığı	Devir Sayısı	Soğutma Suyu Sıcaklığı	Yakıt Tüketim Miktarı	Tork
1	soğuk	düşük	soğuk	cok	orta
2	soğuk	düşük	orta	cok	orta
3	soğuk	düşük	sıcak	orta	yüksek
4	soğuk	orta	soğuk	orta	orta
5	soğuk	orta	orta	orta	yüksek
6	soğuk	orta	sıcak	az	yüksek
7	soğuk	yüksek	soğuk	cok	orta
8	soğuk	yüksek	orta	orta	düşük
9	soğuk	yüksek	sıcak	orta	düşük
10	orta	düşük	soğuk	cok	orta
11	orta	düşük	orta	orta	orta
12	orta	düşük	sıcak	az	yüksek
13	orta	orta	soğuk	orta	orta
14	orta	orta	orta	az	yüksek
15	orta	orta	sıcak	az	yüksek
16	orta	yüksek	soğuk	cok	orta
17	orta	yüksek	orta	orta	düşük
18	orta	yüksek	sıcak	az	düşük
19	sıcak	düşük	soğuk	cok	orta
20	sıcak	düşük	orta	orta	orta
21	sıcak	düşük	sıcak	az	yüksek
22	sıcak	orta	soğuk	orta	orta
23	sıcak	orta	orta	az	yüksek
24	sıcak	orta	sıcak	az	yüksek
25	sıcak	yüksek	soğuk	orta	orta
26	sıcak	yüksek	orta	orta	düşük
27	sıcak	yüksek	sıcak	az	düşük

Şekil 7: Tasarlanan Arayüz

Örnek bir hesaplama sonrası oluşan ana form görüntüsü Şekil 8’deki gibidir. Görüldüğü üzere bu giriş değerlerine göre giriş parametreleri kısmında

girilen değerlerin ait oldukları bulanık kümeler yazılmıştır. Ayrıca kuralların bulunduğu tabloda ateşlenen kurallar mavi renkle seçili duruma gelmiştir.



Şekil 8: Örnek hesaplama

3. Sonuç Ve Öneriler

Programlanan arayüz sayesinde girdilerin mamdani çıkarımlarının doğru olarak bulunduğu ve doğru bir şekilde kurallar tabanındaki kuralları ateşlediği tespit edilmiştir. Programda çıkışlar için (yakıt tüketim miktarı ve tork) durulaştırma yöntemlerinden Ağırlıklı Ortalama ve Centroid (Ağırlık Merkezi) metodlarına göre durulaştırılmış sonuçlar hesaplanmış ve bu değerlerde Centroid (Ağırlık Merkezi) metodundaki çıkış değerlerinin Matlab aracılığıyla yapılan bulanık uzman sistemdeki çıkışlara çok benzer sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, bulanık uzman sistem tasarımındaki temel adımlar örneklenerek açıklanmış ve bu bilgiler ışığında bir otomobil sistemi için yakıt tüketim miktarı ve tork değerinin belirlenmesi için bulanık uzman sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem için üç giriş ve iki çıkış kullanılmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda, giriş ve çıkış parametrelerinin sayıları artırılarak ya da diğer yapay zekâ sistemleri ile (YSA, veri madenciliği vb.) birlikte kullanılarak, daha başarılı sonuçların elde edilebilmesine olanak sağlanabilir.

4. Referanslar

- Akbıyık, T. (2008). Hidrojen Yakıtı Kullanılan Bir Dizel Motorun Emisyonlarının Bulanık Uzman Sistem İle Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

- Eldem, A., Başçiftçi, F., Eldem, H., (2013), “Tomato Growing Model Using Fuzzy Expert System”, Advanced Science Letters, ISSN: 1936-6612.
- Eldem, A., Başçiftçi, F., Eldem, H., (2012), “Application of Fuzzy Expert System for Cucumber Growing Irrigation”, Advanced Science Letters, 15, pp: 172–175
- İskender, Ü. (2007). Bulanık Mantık Denetleyicisi İle Uçak Yakıt Tüketiminin Modellenmesi Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Li, X., J. Li, L. Xu and M. Ouyang (2009). Power management and economic estimation of fuel cell hybrid vehicle using fuzzy logic. 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference.
- Taşdemir, Ş. and N. Allahverdi (2009). Definition of Gasoline Engine Performance and Emission Characteristics by Fuzzy Expert System 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09).

CHAPTER 7

Recent Advances in Science and Technology

**Investigation of Seroepidemiology of Bovine Herpes Virus-1
(BoHV-1) and Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV)
Infections in Cattle in the Central Aegean Region of Turkey
(Ömer Barış İnce)**

Investigation of Seroepidemiology of Bovine Herpes Virus-1 (BoHV-1) and Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV) Infections in Cattle in the Central Aegean Region of Turkey

Ömer Barış İnce^{1,2}

¹Pamukkale University Animal Breeding and Genetic Research and Implementation Center, 20000, Kınıklı Campus Pamukkale/Denizli, Turkey

²Province Directorate, Ministry of Agriculture and Forestry, 03100, Afyonkarahisar, Turkey
E-mail: obince@pau.edu.tr

Abstract

Bovine Herpes Virus-1 (BoHV-1) and Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV) are viral diseases of cattle that are widely observed worldwide and cause significant economic losses. In this study, seroepidemiology of BoHV-1 and BVDV infections in clinically healthy cattle in Afyonkarahisar, Kütahya and Uşak provinces located in the Central Aegean Region of Turkey was investigated. For this purpose, a total of 224 blood serum samples were taken from the cattle in the livestock enterprises in the provinces in question. Serum samples were tested using a serum neutralization test to detect BoHV-1 and BVDV antibodies. According to the test result, the seropositivity of BoHV-1 and BVDV was found to be 17.86% and 27.23%, respectively. The lowest values for BoHV-1 and BVDV infections based on provinces were 3.70% (2/54) and 7.41% (4/54) in Uşak province, respectively. The highest values for BoHV-1 and BVDV infections were 27.08% (26/96) and 39.58% (38/96) in Afyonkarahisar province, respectively. The relationship between infections was statistically significant ($P < 0.05$). As a result, it was determined that BoHV-1 and BVDV infections were common in cattle in livestock enterprises in provinces located in the Central Aegean Region. Therefore, it is important for the economy of the region and the country to implement control measures in order to prevent the further spread of these viral factors and reduce the prevalence rate.

Keywords: BoHV-1, BVDV, Seroepidemiology, Cattle, Neutralization

1. Introduction

BoHV-1 and BVDV are viruses that threaten the livestock industry, cause significant economic losses and affect the genital system in cattle, leading to fertility problems as a result of clinical disorders of this system (Avcı and Yavru 2013; Özgünlük and Yıldırım 2017). Diseases caused by BVDV and BoHV-1 are included in the list of infections published by the World Organisation for Animal Health (OIE, 2020). BoHV-1 causes an upper respiratory tract (Infectious Bovine Rhinotracheitis-IBR) and genital tract

infection (Infectious Pustular Vulvovaginitis, Infectious Pustular Balanoposthitis-IPV, IBP) in cattle, and it is an acute disease with a high morbidity and clinical findings that cause rhinitis, tracheitis, conjunctivitis and abortion (Yan et al. 2008; Kaur and Chandra 2016). BoHV-1, which is the agent of IBR infection, is classified in the Alphaherpesviridae subfamily of the Herpesviridae family and causes contagious, acute and latent infection by settling in ganglia with a double-stranded DNA genome and an envelope of 150-200 nm in size, which can vary in shape from cubic to pleomorphic (Biswas et al. 2013; Kaur and Chandra 2016). In BoHV-1 infection, the clinical picture varies depending on virus strain, virus dose, route of infection, immune status of animals and environmental factors (Murphy et al. 1999). BoHV-1 is a common infection in many countries of the world. Prevalence rates vary according to the region and breeding conditions. The main factors affecting the prevalence rates are age, gender and herd size (Boelaert et al. 2005). It was reported that the immune response against BoHV-1 develops either after natural infection or vaccination, and that these antibodies formed protect the animal from clinical disease until the onset of the systemic spread of the virus. Within the scope of control studies of BoHV-1 infection, it is important to identify those who carry antibodies among cattle and remove them from the herd (Babiuk et al. 1996; Dispas et al. 2003).

BVD is a bovine disease that is known worldwide for its significant impact on animal health, welfare and production (OIE 2020). BVDV is in the Pestivirus subgroup of the Flaviviridae family, containing single-stranded RNA genome with positive polarity of 40-60 nm in size (Abe et al. 2016). BVDV has two biotypes, cytopathic and non-cytopathic. The virus has a clinical and subclinical course in cattle, and is manifested by respiratory, digestive and gastrointestinal lesions, immunosuppression, severe diarrhea, mucosal disease (MD), abortion in pregnant animals, congenital defects in newborns, malformations and neonatal mortality according to virulence of the agent (Lanyon et al. 2014; Yılmaz 2016; Mirosław and Polak 2019). Vertical infection in early pregnancy period results in the birth of persistently infected calves, which has big importance in BVDV infection epidemiology (Nikbakht et al. 2015). Persistently infected animals both carry BVDV throughout their lives and are the main agent responsible for the spread of the disease and the persistence of infection in the herd, as they also infect other animals in the herd (Brownlie et al. 1987; Ezanno et al. 2007; Scharnböck et al. 2018; Olum et al. 2020). Since BVDV infections have no cure, prophylactic measures become important. Detection of persistently infected animals in the herd, care, biosafety and vaccination are among the recommended prophylactic measures for infection (Tutuncu and Yazıcı 2016).

BoHV-1 and BVD infections were reported to be common in many countries of the world. The antibody prevalence of BoHV-1 infection at herd level shows a wide variation between 1.1% and 98.8% across countries (Yan

et al. 2008, Jarullah et al. 2012; Ghaemmaghami et al. 2013; Cowley et al. 2014). In studies conducted, the seroprevalence rates of BoHV-1 infection in Turkey, ranging from 6.6% to 79.5%, were reported (Öztürk et al. 1988; Çabalar 1993; Alkan et al. 2005; Tan et al., 2006a; Okur et al. 2007; Duman et al. 2009; Özgünlük and Yıldırım 2017). BVDV infection has a prevalence ranging from 40% to 90% worldwide (Houe 1995; Zemke et al. 2010). In Turkey, the prevalence of BVDV disease varies between 40% and 92%, and the presence of persistently infected animals varies between 0.01% and 4.9% (Alkan et al. 2001, Bilgili and Mamak 2019). Seroprevalence of the BVDV infection and the role of BVDV in clinical pictures of the disease were identified in the studies carried out in Turkey (Bilgili and Mamak 2019).

Common features of BVDV and BoHV-1 infections cause respiratory, digestive and genital system infections in cattle and cause economic losses. Therefore, the aim of the study was to investigate the seroepidemiology of BVDV and BoHV-1 infections in cattle farms in the provinces located in the Central Aegean region of Turkey.

2. Materials and Methods

Sample collection: None of the cattle investigated within the scope of this study conducted in Afyonkarahisar, Kütahya and Uşak provinces located in the Central Aegean region of Turkey were vaccinated against BoHV-1 and BVDV infections. In 10 cattle farms that carry out animal husbandry activities within the boundaries of the region, blood samples of 224 cattle that seemed clinically healthy over the age of 1 through random sampling were taken into tubes to obtain serum from the vena jugularis. Blood samples were centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes with the aid of a cooled centrifuge and transferred to eppendorf tubes. Blood serums were kept and inactivated at 56 °C for 30 minutes and then stored in -20 °C freezer until tests.

Cell Culture: Madin Darby Bovine Kidney (MDBK) was used in the production of viruses to be used in the study, determination of infectious power and implementation of microneutralization tests. Dulbecco's Modified Essential Medium (DMEM) was used in the production of cell cultures by adding 10% Fetal Calf Serum. As the virus strain, the Colorado reference strain of BoHV-1 and NADL strains, the cytopathogenic reference strain of BVDV, were used.

Titration of Viruses: For this purpose, the method reported by Frey and Liess (1971) was used. The infectious power of BoHV-1 Colorado and BVDV-NADL strains produced in cell cultures were determined by using microtitration method and calculated according to Kaerber (1964) method as the Tissue Culture Infective Dose (TCID₅₀/0.1ml).

Serum Neutralization Test: The serum samples obtained from the blood samples collected in the study were tested according to the microneutralization method by following the previously reported procedure for the presence of

specific antibodies responsible for neutralization of BoHV-1 and BVDV (Frey and Liess 1971). In order to determine the antibody titer, serum samples were diluted according to the log2 base starting from 1:2 titer for BoHV-1 and 1:5 titer for BVDV (Brako et al. 1984). The neutralization test was considered positive and seropositive as antibodies were homologous for virus strains and blocked virus reproduction in serum samples in the wells of the microplate without cytopathogenic effect (CPE). Since the antibodies and virus strains were not specific for each other in the wells with CPE, virus reproduction was not blocked and the result was evaluated as seronegative.

Statistical analysis: Data processing was done in the R software (R Core Team 2018). Chi-square tests were used to analyze the rate differences in categorical data. $P < 0.05$ value was accepted to be statistically significant.

3. Results

According to the microtitration test results performed in this study, the TCID₅₀/0.1ml value of BoHV-1 virus was found to be 10^7 , and the TCID₅₀/0.01ml value of BVDV virus was found to be 10^5 . The antibody titer for BoHV-1 was determined between 1:2 and 1:256 as a result of the microneutralization test applied to two-layer dilutions of blood serums determined to have specific antibodies for both agents, whereas BVDV antibody titers were found to carry antibodies in titers ranging from 1:5 to 1:320. While the density for BoHV-1 was between 1:32 and 1:64, the peak value for BVDV was determined to be 1:80.

As a result of the serum neutralization test applied to 224 bovine blood serum samples from Afyonkarahisar, Kütahya and Uşak provinces, the presence of specific antibodies was detected in 40 against BoHV-1 (17.86%) and in 61 against BVDV (27.23%). While seropositivity was observed in all three provinces where the study was carried out, the lowest values for BoHV-1 and BVDV infections were found to be 3.70% (2/54) and 7.41% (4/54) in Uşak province, respectively. The highest values for BoHV-1 and BVDV infections were 27.08% (26/96) and 39.58% (38/96) in Afyonkarahisar province, respectively. The relationship of infections between provinces was statistically significant ($p < 0.05$) (Table 1). Herd-based BoHV-1 and BVDV infection rates ranged from 0.00% to 54.55% and 0.00% to 63.15%, respectively (Table 2).

Table 1. Association between province and prevalence of BoHV-1 and BVDV

Province	No of animals	BoHV-1		BVDV	
		(+)	(%)	(+)	(%)
Afyonkarahisar	96	26	27.08	38	39.58
Kütahya	74	12	16.22	19	25.68
Uşak	54	2	3.70	4	7.41
Total	224	40	17.86	61	27.23
Chi-square test		13.08		18.19	
<i>P-value</i>		0.001*		0.000*	

* <0.05

36.16% (81/224) of the cattle tested were seropositive against at least one of BoHV-1 and BVDV. Specific antibody positivity was determined only against BoHV-1 in 8.03% (18/224) of the seropositive animals and only against BVDV in 14.73% (33/224), while specific antibody positivity against both BoHV-1 and BVDV was determined in 13.39% (30/224) of the seropositive animals. The seropositivity results in terms of BoHV-1 and BVDV were evaluated, and seropositive animals' seropositivity against a single agent and double infection rates are given in Table 3 by province.

Table 2. Prevalence of antibodies to BoHV-1 and BVDV

No of herd	No of animals	No (%) of seropositive animals for	
		BoHV-1	BVDV
1	21	4(19.05)	9(42.85)
2	23	6(26.09)	12(52.17)
3	22	12(54.55)	13(59.09)
4	18	2(11.11)	2(11.11)
5	12	2(16.67)	2(16.66)
6	19	8(42.11)	12(63.15)
7	27	2(7.41)	6(22.22)
8	28	2(7.14)	1(3.57)
9	28	0(0.00)	0(0.00)
10	26	2(7.69)	4(15.38)
Total	224	40(17.86)	61(27.23)

Table 3. Single and double infection rates of viruses by provinces

Province	No of tested animals	BoHV-1 and BVDV							
		BoHV-1		BVDV		BVDV		Total	
		(+)	(%)	(+)	(%)	(+)	(%)	(+)	(%)
Afyonkarahisar	96	12	12.50	16	16.66	16	16.66	44	45.83
Kütahya	74	5	6.75	14	18.91	12	16.21	31	41.89
Uşak	54	1	1.85	3	05.55	2	03.70	6	11.11
Total	224	18	8.03	33	14.73	30	13.39	81	36.16

4. Discussion

BoHV-1 and BVDV infections are very common in Turkey and cause economic losses as in many countries of the world. Although both infections are usually subclinical in adult animals, they are among the most important problems of cattle breeding as herd problems due to their latent and persistent characteristics. BoHV-1 and BVDV infections are widely observed in Turkey and they gain importance in the regions that provide their livelihood with the livestock industry due to the economic losses they cause.

There are studies in many countries for the epidemiology of BoHV-1 infection, and in these studies, the seroprevalence of BoHV-1 is reported to be ranging from 0% to 95%. Seropositivity rates vary depending on the geographical regions and the number of animals in the herd. Although there are countries that applied or is applying eradication for BoHV-1, it still continues to be widespread in many countries of the world (Van et al. 1993; Castrucci et al. 1997; Solis et al. 2003; Boelaert et al. 2005; Ackermann and Engels 2006; Ahmed et al. 2015; Callaby et al. 2016; Patil et al. 2017).

Many studies conducted since 1971, when the presence of neutralizing antibodies against BoHV-1 virus in Turkey was reported for the first time, show that BoHV-1 virus infection is detected at increasing rates (Erhan et al. 1971; Burgu and Akça 1987; Özkul et al. 1995; Alkan et al. 1997; Alkan et al. 2005; Yıldırım et al. 2009). In addition to the few studies conducted in Turkey aiming to determine the seroprevalence of BoHV-1 virus, studies involving one or more provinces come to the forefront. Alkan et al. (2005) reported that they determined positivity ranging from 0.5% to 79.5% for BoHV-1 in their study conducted across Turkey and in at least one province from each geographical region.

In this study, the seroprevalence of BoHV-1 infection was determined to be 17.86% for the sampled population, and rates ranging from 0% to 54.55% were determined in the sampled provinces. The lowest value for BoHV-1 infection was found in Uşak province with 3.70% and the highest value was found in Afyonkarahisar province with 27.08%. When antibody titers in

BoHV-1 positive cattle were examined, it was observed that the vast majority had titers in the range of 1:32 and 1:64. Intensive breeding of large numbers of animals causes rapid increase in incidence, especially in viral infections, due to easier transmission. On the basis of the data obtained in this study, it is seen that the infection rates determined in family-owned enterprises where few animals are raised are lower than the large enterprises for the same reason. This situation can be explained as the lower possibility of transmission due to the small number of animals raised. These results are in parallel with other studies conducted in Turkey (Okur et al. 2007; Yeşilbağ and Güngör 2008; Duman et al. 2009; Gencay et al. 2009; Yavru et al. 2014; Özel and Gür 2015; Yazıcı et al. 2015; Gür et al. 2016; Özgünlük and Yıldırım 2017).

Researchers reported that they found positivity ranging from 0.6% to 96.04% in their studies for BVDV infection conducted across Turkey (Tan et al. 2006b; Kale 2007; Yazıcı et al. 2007; Şişman and Akkan 2008; Duman et al. 2009; Öztürk et al. 2012; Yavru et al. 2014; Bilgili and Mamak 2019). When these data are evaluated, it is observed that BVDV infection is prevalent at different rates in Turkey on the basis of provinces and regions, and even in the same region or province, different positivity values could be detected. These differences may be due to the different test methods used in the study, the geographical location sampled, animal mobility, the number and types of animals in the enterprises, the presence of persistently infected animals and any preventive measures taken against the disease. In this study, the seroprevalence of BVDV infection was determined to be 27.23%, and rates ranging from 0% to 63.15% were determined in the sampled provinces. The lowest value for BVDV infection was found in Uşak province with 7.41% and the highest value was found in Afyonkarahisar province with 39.58%. These results are in parallel with other studies conducted in Turkey (Tan et al. 2006b; Kale 2007; Yazıcı et al. 2007; Şişman and Akkan 2008; Duman et al. 2009; Öztürk et al. 2012; Yavru et al. 2014; Tutuncu and Yazıcı 2016).

The aim of this study was to determine the prevalence rate of BoHV-1 and BVDV infections in livestock enterprises located in the provinces of the Central Aegean region, and samples were taken from their enterprises. Within the framework of the obtained results, it is seen that BoHV-1 and BVDV infections are common in Turkey and their potential to cause serious economic losses in cattle breeding is high, and it is clear that carrying out studies on economic losses in our country will make a valuable contribution to the national economy. As throughout the country, BoHV-1 and BVDV infections are thought to be common in the Central Aegean region and the region has the same potential risk. These results and the results of previous study require control measures to reduce the economic impact of BoHV-1 and BVDV infections. In order to achieve this goal, it is important to establish an adequate biosafety level, and to carry out the controls and antibody screening of the animals that will be newly added to the herd.

5. Conclusion

Consequently, due to the high prevalence of related pathogens in Turkey, training of business owners, control of animal movements, detection and disposal of animals persistently infected with BVDV are recommended and it is thought that vaccine applications may be beneficial in reducing the prevalence and decreasing incidence of related pathogens.

6. Acknowledgements

All data in the study were collected in the context of routine veterinary medicine and owners of animals consented to blood sampling. Animal welfare and ethical rules were taken into consideration in the collection of blood samples. This research did not receive any specific grant from public funding agencies.

7. References

- Abe Y, Tamura T, Torii S, et al., 2016. Genetic and antigenic characterization of bovine viral diarrhea viruses isolated from cattle in Hokkaido. *J Vet Med Sci*, DOI:10.1292/jvms.15-0186.
- Ackermann M, Engels M. 2006. Pro and contra IBR eradication. *Vet Microbiol*, 113,293-302.
- Ahmed WA, Ameer AHA, Al-Rubba and Luma A, 2015. Preliminary investigation of IBR in buffaloe (*Bubalus bubalis*) and cattle (Cross Bred) in Baghdad/ Iraq. *IOSR-JPBS*, 10(5), 75-78.
- Alkan F, Burgu İ, Bilge-Dağalp S, et al., 2005. The seroprevalence of BHV-1 infection on selected dairy cattle herds in Turkey. *Revue Méd Vét*, 156, 166-169.
- Alkan F, Özkul A, Karaoğlu MT, et al., 1997. Sığırlarda viral nedenli solunum sistemi enfeksiyonlarının seroepidemiolojisi. *AÜ Vet Fak Derg*, 44(1), 73-80.
- Alkan F, Yeşilbağ K, Burgu İ, 2001. Persiste enfekte sığırlarda BVDV'nin organ dağılımı *Ankara Üniv Vet Fak Derg*. 48, 111-115.
- Avcı O, Yavru S, 2013. Investigation of Bovine Herpesvirus-1, Bovine Viral Diarrhea Virus and Bovine Herpesvirus-4 in a dairy herd with naturally infected in Konya. *Eurasian Journal Veterinary Science*, 29, 82-86.
- Babiuk LA, Drunen Littel S, Hurk S, Tikoo SK, 1996. Immunology of bovine herpesvirus 1 infection. *Vet Microbiol*. 53, 31-42.

- Bilgili İ, Mamak N, 2019. Isparta İli ve Çevresinde Sığırcılık İşletmelerinde Bovine Viral Diyare Virus (BVDV) Enfeksiyonunun Serolojik Olarak Araştırılması. MAKU J. Health Sci. Inst., 7(2), 105-113.
- Biswas S, Bandyopadhyay S, Dimri U, Patra PH, 2013. Bovine herpesvirüs-1 (BHV-1) a reemerging concern in livestock: a revisit to its biology, epidemiology, diagnosis, and prophylaxis. Vet Q. 33, 68-81.
- Boelaert F, Speybroeck N, De Kruif A, et al., 2005. Risk factors for bovine herpesvirüs-1 seropositivity. Prev Vet Med. 69, 285-295.
- Brako EE, Fulton RW, Nicholson SS, Amborski GF, 1984. Prevalence of bovine herpesvirus-1, BVD, PI-3, goat respiratory syncytial,bovine leukemia,and bluetongue viral antibodies in sheep. Am J Vet Res, 45, 813-816.
- Brownlie J, Clarke MC, Howard CJ, Pocock DH, 1987. Pathogenesis and epidemiology of bovine virus diarrhoea virus infection of cattle. Ann Rech Vet, 18(2), 157– 166.
- Burgu I, Akça Y, 1987. First isolation of IBR virus in Turkey. Trop Anim Health Prod, 19,56.
- Callaby R, Toye P, Jennings A, et al. 2016. Seroprevalence of respiratory viral pathogens of indigenous calves in Western Kenya. Res Vet Sci, 108, 120-124.
- Castrucci G, Martin WB, Frigeri F, et al. 1997. A serological survey of bovine herpesvirus-1 infection in selected dairy herds in northern and central Italy. Comp Immunol Microbiol Infect Dis, 20(4), 315-317.
- Cowley DJB, Graham DA, Guelbenzu M, et al., 2014. Aspects of bovine herpesvirus 1 and bovine viral diarrhoea virus herd-level seroprevalence and vaccination in dairy and beef herds in Northern Ireland. Acta Vet Scand, 67(18), 1-5.
- Çabalar M, 1993. Fertilite problemli ineklerde infectious bovine rhinotracheitis infectious pustular vulvovaginitis (IBR/IPV) virus izolasyonu ve seroepidemiolojisi. Ankara Üniv. Sağ.Bil.Enst. Doktora tezi.
- Dispas M, Schynts F, Lemaire M, et al. 2003. Isolation of a glycoprotein E-deleted bovine herpesvirus type 1 strain in the field, Vet Rec. 153, 209-212.

- Duman R, Yavru S, Kale K, Avcı O, 2009. Seroprevalence of viral upper respiratory infections in dairy cattle. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 15(4), 539-542.
- Erhan M, Onar B, Csontos L, Hopkins IG, 1971. Serological survey on some virus and bedsonia diseases of cattle, sheep and horse. *Pendik Vet Kont ve Arast Enst Derg*, 4(2), 55-58.
- Ezanno P, Fourichon C, Viet AF, Seegers H, 2007. Sensitivity analysis to identify key-parameters in modelling the spread of bovine viral diarrhoea virus in a dairy herd. *Prev Vet Med*, 80, 49-64.
- Frey HR, Liess B, 1971. Vermehrungskinetik und Verwendbarkeit einer zytopathogenen VD-MD Virusstammes für diagnostische Untersuchungen mit der Mikrotiter-methode. *Zbl Vet Med B*, 18, 61-71.
- Gencay A, Dağalp SB, Can Şahna K, et al., 2009. Kayseri bölgesindeki sığırlarda bovine herpesvirus tip 1 (BHV-1) enfeksiyonunun seroprevalansı. *FÜ Sağ Bil Vet Derg*, 23(1), 47-52.
- Ghaemmaghami S, Ahmadi M, Deniko A, et al., 2013. Serological study of BVDV and BHV-1 infections in industrial dairy herds of Arak, Iran. *Iran J Veterinary Sci Technol*, 5(2), 53-61.
- Gür S, Acar A, Gençay A, et al., 2016. Ege Bölgesinde Infectious Bovine Rhinotracheitis virüs enfeksiyonunun serolojik olarak araştırılması. *MAKÜ Sağ Bil Enst Derg*, 4(1), 1-10.
- Houe H, 1995. Epidemiology of bovine viral diarrhoea virus. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, 11, 521-547.
- Jarullah BA, Zarkov I, Lyutskanov M, Uchatov V, 2012. Comparative serological studies of bovine viral diarrhea Disease in cattle herd populations in republics of Iraq and Bulgaria by using serological test. *Trakia J of Sci*, 10(1), 76-78.
- Kale M, 2007. Sığırlarda Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV) Enfeksiyonunun Fertilité ile İlişkisinin Araştırılması. *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 106O366 Burdur, s. 1-116.
- Kaerber G, 1964. In diagnostic procedures for virus and rickettsial disease. *Pub Health Ass*, (New York) 3, 48-50.

- Kaur G, Chandra M, 2016. Herpesvirus in Bovines: Importance of Bovine Herpesvirus Type 1, Herpesviridae, Jozsef Ongradi, IntechOpen, DOI: 10.5772/63157. Available from: <https://www.intechopen.com/books/herpesviridae/herpesvirus-in-bovines-importance-of-bovine-herpesvirus-type-1> Access date: 01.03.2020.
- Lanyon SR, Hill FI, Reichel MP, Brownlie J, 2014. Bovine viral diarrhoea: pathogenesis and diagnosis Vet J, 199, 201-209.
- Mirosław P, Polak M, 2019. Increased genetic variation of bovine viral diarrhoea virus in dairy cattle in Poland. BMC Vet Res. 15(1), 278. doi: 10.1186/s12917-019-2029-z. Available from: <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-019-2029-z> Access date:12.09.2019
- Murphy FA, Gibbs EPJ, Horzinek MG, Studdert MJ, 1999. Herpesviridae. In: Veterinary Virology Chapter 18, Academic Press, 411-418.
- Nikbakht, G., Tabatabaei, S., Lotfollahzadeh, S., et al., 2015. Seroprevalence of bovine viral diarrhoea virus, bovine herpesvirus 1 and bovine leukaemia virus in Iranian cattle and associations among studied agents. J Appl Anim Res, 43(1), 22– 25.
- OIE. 2020. Listed Diseases, World Organisation for Animal Health. Available from: <https://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/oie-listed-diseases-2020/> Access date: 20.05.2020.
- Okur GS, Yazıcı Z, Albayrak H, Cakıroğlu D, 2007. Seroprevalence of bovine viral respiratory diseases. Acta Vet, (Beograd), 57(1), 11-16.
- Olum MO, Mungube EO, Njanja J, et al., 2020. Seroprevalence of Canine Neosporosis and Bovine Viral Diarrhoea in Dairy Cattle in Selected Regions of Kenya. *Transbound Emerg Dis*, doi: 10.1111/tbed.13429 Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tbed.13429> Access date:10.04.2020.
- Özel M, Gür S, 2015. Serological investigation for bovine viral diarrhoea and bovine herpesvirus type-1 viruses in precolostral calves and their dams. Harran Üniv Vet Fak Derg, 4(2), 57-63.
- Özgünlük İ, Yıldırım Y, 2017. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Sığırlarda Bovine Herpes Virus 1 (BHV 1) ve Bovine Viral Diarrhoea Virus (BVDV) Enfeksiyonlarının Serolojik Olarak Araştırılması. Harran Üniv Vet Fak Derg, 6 (2), 152-157.

- Özkul A, Çabalar M, Bilge S, et al., 1995. Süt sığırcılığı işletmelerinde rastlanan IBR/IPV ve BVD virus enfeksiyonlarının. infertilite olgularındaki rolü. Ankara Üniv Vet Fak Derg, 42(3), 381-387.
- Öztürk, D., Kale, M., Pehlivanoglu, F., et al., 2012. Evaluation for Some Bacterial and Viral Abortions of Dairy Cattle Farms in Burdur District of Turkey. Kafkas Üniv Vet Fak Derg, 18(2), 255-258.
- Öztürk F, Toker A, Yavru S, 1988. Konya Hayvancılık Merkez Araştırma Enstitüsü sığırlarında Enfeksiyöz Bovine Rhinotracheitis/ Enfeksiyöz Pustuler Vulvovaginitis (IBR-IPV) üzerinde araştırmalar. Selcuk Üniv Vet Fak Derg, 4,53-64.
- Patil SS, Prajapati A, Krishnamoorthy P, et al., 2017. Seroprevalence of infectious bovine rhinotracheitis in organized dairy farms of India. Indian J Anim Res, 51 (1), 151-154.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available online: <http://www.R-project.org>. Access date; 01.06.2018.
- Scharnböck B, Roch FF, Richter V, et al., 2018. A meta-analysis of bovine viral diarrhoea virus (BVDV) prevalences in the global cattle population. Scientific Reports, 8(1), 14420. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32831-2>
- Solis-Calderon JJ, Segura-Correa VM, Segura-Correa JC, Alvarado-Islas A. 2003. Seroprevalence of and risk factors for infectious bovine rhinotracheitis in beef cattle herds of Yucatan, Mexico. Prev Vet Med, 57(4), 199-208.
- Şişman H, Akkan HA, 2008. Muğla İli ve çevresinde sığırcılık işletmelerinde Bovine Viral Diyare (BVDV) enfeksiyonunun serolojik olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Van
- Tan MT, Karaoğlu T, Erol N, Yıldırım Y, 2006b. Serological and virological investigations of bovine viral diarrhoea virus (BVDV) infection in dairy cattle herds in Aydın province. Turk J Vet Anim Sci, 30, 299-304.
- Tan MT, Yıldırım Y, Erol N, Güngör B, 2006a. The Seroprevalence of Bovine Herpes Virus type 1 (BHV-1) and Bovine Leukemia Virus (BLV) in Selected Dairy Cattle Herds in Aydın Province, Turkey. Turk J Vet Anim Sci, 30, 353-357.
- Tutuncu H, Yazıcı Z, 2016. Screening for Persistently Infected Cattle with Bovine Viral Diarrhea Virüs in Small-Scale Family Farms located in Samsun Province, Northern Turkey. JAPS. 26, 291-293.

- Van Wuyckhuise L, Bosch J, Franken P, et al., 1993. The prevalence of infectious bovine rhinotracheitis (IBR) in the Netherlands. In: Proceedings of the Dutch Society for Veterinary Epidemiology and Economics (VEEC), 7-15.
- Yan BF, Chao YJ, Chen Z, et al., 2008. Serological survey of bovine herpesvirus type 1 infection in China. *Vet Microbiol*, 127, 136-141.
- Yavru S, Avcı O, Kale M, 2014. Serologic and virologic investigation of BHV-1, BVDV and BHV-4 in cattle with metritis. *Anim Vet Sci*, 2(5), 142-145.
- Yazıcı Z, Albayrak H, Ozan E, Gumusova S. 2015. Serological Status of Bovine Herpes Virüs type 1 in Cattle in Small Scale Private Farms in the Central Black Sea Region, Turkey. *Pak Vet J*, 35, 101-102.
- Yazıcı Z, Okur GS, Albayrak H, 2007. Serological profile of some viral infections in unvaccinated cattle in Turkey. *Medycyna Weterinarna* 63(2), 187-189.
- Yeşilbağ K, Güngör B, 2008. Seroprevalence of bovine respiratory viruses in North-Western Turkey. *Trop Anim Health Prod*, 40(1), 55-60.
- Yıldırım Y, Yılmaz V, Faraji Majarashin AR, 2009. Kuzeydoğu anadolu bölgesi sınır illerinde bulunan sığırlarda viral solunum sistemi enfeksiyonlarının seroprevalansı. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 15(4), 601-606.
- Yılmaz V, 2016. Prevalence of antibodies to bovine viral diarrhea virus (BVDV) in blood and milk serum in dairy cattle in Kars district of Turkey. *Indian J Anim Res*, 50(5), 811-815.
- Zemke J, Knig P, Mischkale K, et al., 2010. Novel BVDV-2 mutants as new candidates for modified-live vaccines. *Vet Microbiol*, 142, 69-80.

CHAPTER

8

Recent Advances in Science and Technology

**Türkiye’de Seracılık ve Örtüaltı Üretiminde Mevcut Durum
(Hülya Saygı)**

Türkiye’de Seracılık ve Örtüaltı Üretiminde Mevcut Durum

Hülya SAYĞI

Çukurova Üniversitesi Yumurtalık Meslek Yüksekokulu
E-mail:hulutas@cu.edu.tr

1. Giriş

Örtüaltı yetiştiricilik, iklim şartlarının kontrol altına alınarak her dönemde özellikle ürünlerin kıt olduğu zamanda mevsimi dışında yapılan bir üretim şeklidir. Genellikle sera ve plastik tünellerde yapılan örtüaltı üretim, çeşitli örtü malzemeler kullanılarak iklim şartlarının kontrol edilmesi ve böylece mevsimi dışında pazar değeri olan ürünlerin üretiminin yapıldığı tarımsal faaliyetleri kapsamaktadır. Ülkemizde örtü altı yetiştiricilik serüveni, tarımsal üretimde erkencilik sağlanmak amacıyla ilk başlarda basit bir üretim yöntemi olan alçak plastik tüneller ile başladığı söylenebilir. Gelişen teknolojiye bağlı olarak tarımsal üretimde ortaya çıka dönüşüm ile Ülkemizde giderek daha yaygınlaşan ve daha kompleks bir yapıya sahip olan seralarda üretim faaliyetlerinin yoğunlaştığı görülmektedir. Seralar, yılın her döneminde üretim yapabilmeye imkan veren, üretimde gereken iklim şartlarını (sıcaklık, nem, ışıklandırma, CO₂ gübrelemesi) kontrollü bir ortamda yapay olarak oluşturan, dış çevreden yalıtılmış yapılarda yapılan diğer bir örtüaltı yetiştiricilik şeklidir. Bu üretim şeklindeki temel amaç mevsimi dışında tarımsal üretim yaparak pazarlamada zaman faydası sağlamak ve böylece daha fazla gelir elde etmek olduğunu söyleyebiliriz. Ancak değişen ihtiyaçlar ve artan nüfusun ihtiyacı olan besinlerin tedarikinin sürekliliğinin sağlanması sorununun çözümü olarak seralardaki üretim amaçları da değişime uğramıştır. Bu değişimlere göre temel amaç yine güncelliğini korumakla birlikte birim alandan daha fazla faydalanılarak üretim miktarının artırılması, üreticinin daha yüksek gelir elde etmesi, tarımsal üretimin her döneme yaygınlaştırılması ve böylece sürekli bir istihdam ortamının oluşturulması, tarımsal üretimde atıl kaynakların en aza indirilmesi, ekonomik değeri yüksek ürünlerin üretilmesi ilk öncelikle sayılabilir.

2. Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği

Tarımda üretimin sürekliliğini sağlayan bu üretim şeklinin önemi Ülkemizde de anlaşılmış ve bu alanda yapılan yatırımlar ile son yıllarda hızla artmıştır. TÜİK 2019 yılı verilerine göre 789.604 da alanda örtü altı yetiştiricilik yapılmaktadır. Seralarda yapılan tarımsal üretim günümüzde sanayi üretim faaliyeti haline gelmiştir. Bu durumun en önemli faktörü ise ticari anlamda elde edilen yüksek gelir ki bu gelirin arkasındaki temel çekim noktası ise gıda tedarikinin sürekliliğinin sağlanmasına yönelik artan taleptir. Gıda tedarikinin sürekliliğinin sağlanması her dönemde tarımsal üretime

imkan veren ortamı sağlayan seralar tıpkı bir sanayi işletmesi gibi özellikler taşımakta ve bu yönde gelişmektedir. Ülkemizde ve dünyada artan nüfus gıdaya olan talebi arttırmakta artan gıda talebini karşılamak ise sınırlı olan tarımsal kaynakları etkin ve verimli kullanmak yanında onları geliştirmek yeni üretim alanları oluşturmak ve tarımsal üretimi sürekli kılmak ile mümkün olacaktır. Diğer yandan tarımsal faaliyetlerin ekonomiye katkısının artırılması ve küçük aile işletmeleri ile kırsal kesim için istihdam yaratması bakımından önemli bir çözüm aracı olarak seracılık alanı stratejik bir önem arz etmektedir.

2.1. Türkiye’de Seracılığın Mevcut Durumu

Ülkemizde 1940’lı yıllarda Antalya’da başlayan seracılık seracılık, 1970’li yıllarda yoğun olarak Akdeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi’nin kıyı kesimlerinde yapılmış, 1970’li yıllardan sonra ticari anlamda önemi anlaşıldıkça hızla gelişim göstermiştir. Seracılıktaki değişimin hızını ve boyutunu anlamak için seralardaki tarımsal üretimin 1995 yılında 363 (da) alanda yapıldığı ve 2019 yılında ise bu alanın 790 (da) alan ile yaklaşık iki katından fazla bir alanda yapılmakta olduğunu belirtmek yeterli olacaktır.

Ülkemizdeki seracılığın başladığı ilk dönemler itibari ile bölgelere göre seracılık faaliyetlerinin dağılımının iklim özelliklerinin taşıdığı değerlere bağlı olarak yıllık ortalama sıcaklık dağılımıyla büyük oranda paralellik göstermektedir. Ülkemizde yapılmakta olan seracılık faaliyetlerinin sermaye ve teknik yetersizlik gibi nedenlerle iklim özelliklerine bağlı olarak daha az yatırım ve uygun şartlar sunması nedeniyle iklim koşullarının en elverişli olduğu (jeotermal seracılık yapılan iller hariç) güney illerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Teknolojiye bağlı olarak değişen üretim anlayışı tarımsal üretimde de etkisini göstermiş seraların zor iklim koşullarına uygun yapılma maliyetlerini düşürmüş, seralarda alternatif enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin kullanılmasına imkan sağlamış, böylece seracılığın nispeten daha zor koşulları olan iç bölgelerde de yapılabilmesini sağlamıştır. Bunun sonucu Denizli, Aydın, Manisa, İzmir, Kütahya, Afyon, Balıkesir ve Urfa illeri tarımsal üretimde jeotermal seracılığın yaygın olarak yapıldığı illerimizdir.

Ülkemizde tarımsal üretim anlamında seracılık alan ve niteliklerine göre 1995 yılında 363.042 da alanda yapılmaktayken artan önemi ve ticari başarısı ile bu alana yapılan yatırımlar artarak devam etmiş, 2019 yılına gelindiğinde 790 da’lık bir alana ulaşmıştır. Söz konusu 790 da’lık seracılık üretim alanının yaklaşık 75 da’lık alanı cam, 379 da’lık alanı plastik, 111 da’lık alanı yüksek tünel ve 224 da’lık alanın da alçak tünellerden oluşmaktadır. Ülkemizdeki seracılığın gelişimi analiz edildiğinde yıllık ortalama büyüme hızının % 15 olduğu görülmektedir.

Çizelge 1’de sunulan verilerde de görüldüğü gibi 1995-2019 yılları baz alındığında sera üretim alanlarının sürekli bir gelişim gösterdiği görülmektedir. Bu gelişim yönü analiz edildiğinde değişimin sadece yapılmakta olan sera üretim alanlarının artışı ile ilgili olmadığı aynı zamanda üretilen seraların niteliğinde de değişim yaşandığı görülmektedir (Karataş ve ark., 2013). Buna göre Çizelge 1’de üretimin daha kompleks olduğu cam ve plastik sera alanlarında artış olduğunu, nispeten daha basit üretim olan alçak tünel alanlarının azalmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 1. Niteliklerine göre örtü altı tarım alanları(da)

Yıllar	Cam Sera	Plastik Sera	Yüksek Tünel	Alçak tünel	Toplam
1995	34	109	21	199	363
2002	64	180	61	230	536
2003	70	167	61	185	483
2004	72	169	66	171	478
2005	65	171	67	164	468
2010	81	231	82	171	564
2014	81	299	113	157	649
2015	80	309	113	162	664
2016	80	329	113	170	692
2017	86	355	120	191	752
2018	78	369	114	211	772
2019	75	379	111	224	790

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2019.

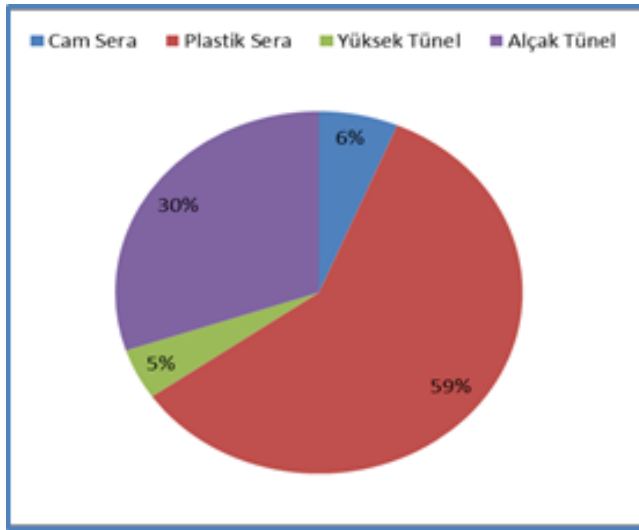
Ülkemizde seralarda yapılan tarımsal üretimin büyük çoğunluğunu sebze üretimini oluşturmaktadır. 2019 yılı itibarıyla 31 milyon ton olarak gerçekleşen sebze üretiminin 23,2 milyon tonu açık alanda yapılan sebze yetiştiriciliğinde, 7,8 milyon tonu örtüaltında sebze yetiştiriciliğinde yani seralarda üretilmiştir. Toplam sera ve diğer tarımsal üretim örtüaltı varlığımız 790 bin da alana ulaşmış ve bu alan yapılan yatırımlar ile daha da artmaya devam etmektedir. Ülkemiz, tarımsal üretimde sahip olduğu üretim gücü, örtüaltı varlığı bakımından dünyada ilk dört ülke arasında yer alırken Avrupa’da ise İspanya ile birlikte ilk sıralarda yer almaktadır.

Ülkemizde 2010 yılından itibaren örtüaltı üretim varlığındaki değişim analiz edildiğinde örtüaltı işletme büyüklüğünün 2 da’lık alandan 4 da’lı alana yükseldiği görülmektedir (Anonim, 2010). Bu gelişimin arkasında örtüaltı yetiştiriciliğinin artan önemi ile bu alana yapılan yatırımların artmasını sağlayacak destek, hibe ve kredilerin etkisi büyüktür. Bu sağlanan imkanlar ile ülkemizde teknolojik şartlarda üretim yapan örtüaltı işletmelerinin sayısı hızla artmaktadır. Bunların 2019 yılı itibarıyla ortalama büyüklüğü 27 da’lık

alan seviyelerindedir. Ülkemiz örtüaltı yapılan 7,8 ton'luk sebze üretiminin değeri yaklaşık 10 milyar TL'dir. Modern seralarda yapılan üretimin %70 ise ihraç edilmektedir. Ülkemiz örtüaltı sebze üretiminde ilk sırayı %48'lik payla (3.8 milyon ton) Antalya almaktadır. Antalya'yı %16 (1,2 milyon ton) üretimi ile Mersin, %13 (1 milyon ton) üretimi ile Adana ve %9 (690 bin ton) üretimi ile Muğla izlemektedir. Bu 4 il, toplam örtü altı üretim miktarı yaklaşık 7 milyon tonunu gerçekleştirmekte ve Ülkemiz örtüaltı üretiminin %86'sını oluşturmaktadır.

2.1.1. Alan

Ülkemiz sahip olduğu 790 bin da'lık tarımsal üretim örtüaltı varlığı ile dünyada 4. sırada bulunmaktadır. Bu alanda ilk üç sırayı Çin, Güney Kore ve İspanya almaktadır. Avrupa özelinde değerlendirdiğimizde ise ilk sırayı İspanya, ikinci sırayı Ülkemiz almaktadır. Ülkemizin sahip olduğu toplam örtüaltı varlığının nitelikleri açısından yapımında kullanılan materyelin özelliklerine göre yüzde dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre örtüaltı varlığımızın 75.000 da'lık alanın cam sera, 379.000 da'lık alanın plastik sera, 111.000 da'lık alanın yüksek plastik tünel ve 224.000 da'lık alanın alçak plastik tünel şeklinde olduğu görülmektedir(Şekil 1).



Şekil 1. Örtüaltı alanının yapı şekillerine göre dağılımı (%)

2.1.2. Ülkemiz Örtüaltı Üretim Miktarları

İlk önceleri ticari amaçlarla başlayan tarımsal üretimde örtüaltı yetiştiriciliği gıda tedarikinin sürekliliğini sağlamak üzere her dönemde üretim faaliyetlerinin yapılabilmesi avantajı ile yapılan üretim miktarında yıllar itibarı ile artış göstermiştir. Çizelge 2'ye göre 2019 yılı örtüaltı (sebze ve meyve) üretim miktarı 8.437 bin ton olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Ülkemiz Örtüaltı Üretim Miktarları (Bin Ton)

Yıllar	Cam Sera	Plastik Sera	Yüksek Tünel	Alçak Tünel	Toplam
2002	999	1.980	369	923	4.271
2003	1.188	2.134	404	801	4.528
2004	1.218	2.041	383	713	4.354
2005	1.182	2.129	412	743	4.465
2010	1.345	2.895	601	910	5.750
2014	1.259	3.554	744	919	6.482
2015	1.276	3.676	805	963	6.720
2016	1.289	4.011	838	1.028	7.165
2017	1.319	4.168	792	1.104	7.383
2018	1.316	4.615	891	1.249	8.071
2019	1.311	4.902	875	1.349	8.437

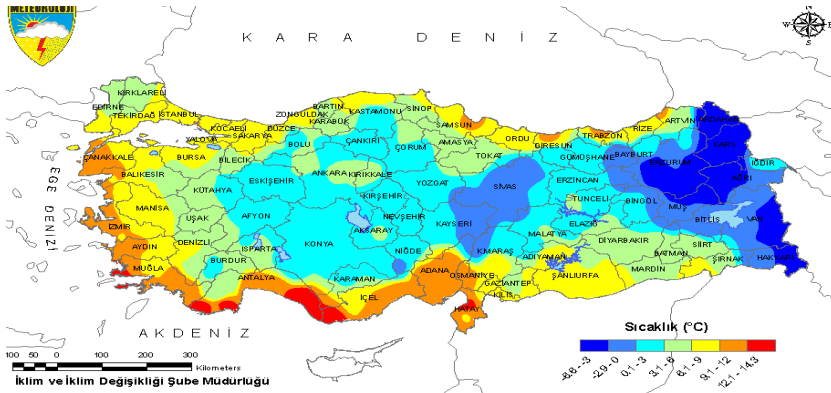
Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2019.

Seracılıkta en önemli sorun, istenilen iklim şartlarını (özellikle sıcaklık) sağlayacak kontrollü tarımsal üretim ortamının oluşturulmasıdır. Bu anlamda istenilen iklim şartlarının sağlanması, üretimin kesintisiz yapılması için seralarda ısıtma yapılması gerekmekte bu durum ise sera işletim maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Bu sorun teknolojinin sağladığı imkanlar ile aşılabilmektedir. Bu anlamda büyük tüketim merkezlerine hızlı ve düşük maliyetle ulaşımın sağlanması, üretim sürecindeki kullanılan başta örtü materyali gibi girdilerin kolay ve düşük maliyetle elde edilebilmesi ve seralarda istenilen iklim şartları ve kontrollü üretim ortamının oluşturulmasında alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasını sağlayacak makine, ekipman ve teçhizatın üretilmesi teknoloji ile mümkün olmuştur.

Ülkemizdeki seracılık faaliyetlerinin bölgelere göre gelişiminin yıllık ortalama sıcaklık dağılımıyla büyük oranda paralellik gösterdiğini belirtmiştik. Bunun altında yatan en önemli nedenin ilk başlarda sera kurulum ve işletim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle seracılık faaliyetlerinin asıl amacından saparak iklime bağlı olarak gerçekleştiğini söyleyebiliriz. İlk yıllarda kurulum ve işletim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yavaş bir gelişim performansı göstermiştir. Ancak bu durum, teknolojiden sağlanan faydalar sayesinde üretim girdi maliyetlerinin düşmesine ve artan talep dolayısıyla seracılık faaliyetlerinden sağlanan karlılığın artmasına bağlı olarak artık geçerliliğini kaybetmiş teknolojik gelişmelere paralel olarak düşen maliyetler ve artan karlılık sayesinde cazip bir yatırım alanı haline dönüşmüştür.

Ülkemizin sahip olduğu alternatif enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerji kaynaklarıdır. Ülkemiz bu alanda sahip olduğu potansiyeli açısından dünyada yedinci sırada, Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. Bu

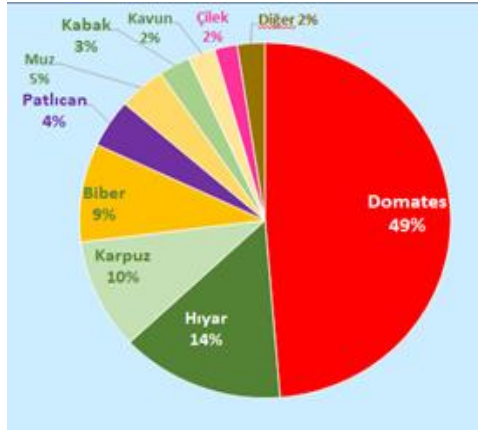
ucuz ve doğal enerji kaynağının Ülkemizde seralarda kullanılması ile birlikte nispeten iklim şartlarının daha ağır olduğu bölgelerde örtüaltı yetiştiricilik gelişmeye başlamış, jeotermal enerji ile ısıtılan sera varlığı artarak 4.344 da'lık alana ulaşmıştır. Örtüaltı tarımsal üretimdeki ürün çeşitliliği açısından analiz edildiğinde sebze üretiminin 7.814.543 ton, meyve üretiminin 622.073 ton ve süs bitkileri üretiminin 1.238.975.594 adet olduğu görülmektedir (TÜİK, 2019). Bu değişimi son yıllarda seracılığın Denizli, Aydın, Manisa, İzmir, Kütahya, Afyon, Balıkesir ve Urfa illeri başta olmak üzere iç bölgelerimizde de gelişmesi ile gözlemlemekteyiz. Yine Ülkemizde gelişen teknolojiye bağlı olarak işletmeye sokulan modern sera varlığı yaklaşık 13 bin dekadır. Bu seralarda ihracata yönelik dış çevre ortamından tamamen yalıtılmış ortamlarda üretimin üzerinde tam kontrolün sağlandığı topraksız tarım metodu ile üretim yapılmaktadır.



Şekil 2. Türkiye’de Yıllık Ortalama Sıcaklık

2.2. Yetiştiriciliği Yapılan Türler

Sera alanlarının yetiştirilen ürünlere göre dağılımı incelendiğinde, toplam alanın %96’sında sebze türlerinin, %3’ünde kesme çiçek ve iç mekan bitkilerinin ve %1’inde meyve türlerinin yetiştiriciliğinin yapıldığı görülmektedir. 2019 yılı itibarıyla sebze seralarının %48’sinde domates, %14’ünde hıyar, %10’unda karpuz, %9’unda biber %5’inde muz ve %4’ünde patlıcan yetiştirilirken geriye kalan %9’luk dilimde ise kabak, kavun, çilek ve diğer ürünler yer almaktadır (Çizelge 3). Türkiye sebze üretim miktarı bakımından yıllara göre artış gözlenmiştir (Çizelge 4).



Şekil 3. Türkiye Örtüaltı Ürün Deseni (TÜİK, 2019)

Çizelge 3. Örtüaltında Yetiştirilen Ürünler (2019 Yılı)

	Ürünler	Üretim (Ton)	Oran (%)
1	Domates	4.083.681	48
2	Hıyar	1.156.997	14
3	Karpuz	877.505	10
4	Biber	749.769	9
5	Muz	424.837	5
6	Patlıcan	323.009	4
7	Kabak (Sakız)	211.953	3
8	Kavun	205.340	2
9	Çilek	195.206	2
10	Diğer	200.702	2
TOPLAM		8.436.616	

Çizelge 4. Sebzelerin Üretim Miktarı (Ton)

Yıllar	Domates	Hıyar	Kavun	Karpuz	Soğan (Kuru)
2005	10050000	1745000	1825000	3970000	2070000
2006	9854877	1799613	1765605	3805306	1765396
2007	9936552	1670459	1661130	3796680	1859442
2008	10985355	1682776	1749935	4002285	2007118
2009	10745572	1735010	1679191	3810205	1849582
2010	10052000	1739191	1611695	3683103	1900000
2011	11003433	1749174	1647988	3864489	2141373
2012	11350000	1741878	1688687	4022296	1735854
2013	11820000	1754613	1699550	3887324	1904846
2014	11850000	1780472	1707302	3885617	1790000
2015	12615000	1822636	1719620	3918558	1879189
2016	12600000	1811681	1854356	3928892	2120581
2017	12750000	1827782	1813422	4011313	2175911
2018	12150000	1848273	1753942	4031174	1930695
2019	12841990	1916645	1777059	3870515	2200000

TÜİK, 2019

3. Sonuç

İnsanlığın var olmasından bu yana var olan ve günümüz modern dünyasının da en temel sorunu olan artan nüfus ve buna bağlı olarak ortaya çıkan besin ihtiyacının karşılanması sorundur. Diğer taraftan gıda tedarikinin sürekliliğinin sağlanması, istihdam sorunlarının çözümü, tarımın giderek artan stratejik önemi, kıt tarımsal üretim kaynakları, artarak devam eden çevre kirliliği ve buna bağlı olumsuz iklim şartları ve kontrol edilemeyen tarımsal üretimde karşılaşılan zararlılar ve hastalıklar farklı üretim yöntemlerinin geliştirilip uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu anlamda ilk başlarda ticari amaçlarla ortaya çıkan seracılık, her dönemde tarımsal üretime imkan tanınması ile gıda tedarikinde sürekliliğin sağlanması açısından stratejik bir tarımsal faaliyet haline gelmiş ve giderek bir sanayi faaliyetine dönüşmeye başlamıştır. Ülkemiz tarımsal üretim kaynakları açısından kendi kendine yetebilecek kapasiteye sahiptir. Ancak dünyada meydana gelen değişimlerden kendimizi soyutlamamız mümkün görünmemektedir. Bu nedenle Ülkemizde de dünya ile paralel görülen sorunların (nüfusun artışı, beslenme, iklimsel değişimler, istihdam, zararlı ve hastalıklar) çözümünde seracılık faaliyetleri öne çıkmaktadır. Seracılık tarımsal üretimde iklim şartlarına bağlı kalınmadan her dönemde üretim yapabilmeye imkan sağlayan, dış çevreden yalıtılmış yapay bir ortamda üretimin tamamen kontrol altında gerçekleştirildiği yapılardır. Tarımsal üretimde seracılık ile hedeflenen temel amaçlar ticari kazanç ve gıda tedarikinin sürekliliğinin sağlanması yanında küçük toprak sahiplerinin tarımsal üretim sürecinde yer alması, tarımsal üretimden sağlanacak ekonomik katkının artırılması mümkün olacaktır.

Bir sanayi faaliyeti olarak seracılıkta tarımsal üretim için kullanılacak enerji kaynağı önemli bir sorun oluşturmaktadır. Seracılıkta, tarımsal üretimin yapılabilmesi için uygun iklim şartlarının oluşturulması temel üretim mantığıdır. Bu anlamda uygun iklim şartlarının oluşturulması için belirli bir sıcaklığın sağlanması gerekmekte bu da kurulum maliyetleri yanında seraların işletim maliyetlerini, ürün maliyetlerini ve karlılığı etkilemektedir. Bu maliyetlerin düşürülmesinde günümüz teknolojisinin önemli katkıları bulunmaktadır. Seracılıkta tarımsal üretim için uygun iklim şartlarının sağlanmasında günümüz teknolojisi ile çevreye zarar vermeyen düşük maliyetli alternatif enerji kaynaklarının kullanımı mümkün hale gelmiştir. Ülkemiz güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynakları açısından da zengin kaynaklara sahiptir. Genel olarak tarımsal anlamda mukayeseli bir üstünlüğe sahip olduğumuzu bir gerçektir. Seracılık faaliyetleri ile bu üstünlük bir üst aşamaya taşınmakta ve ülke ekonomisine tarımsal üretimin etkinliği ve verimliliği açısından büyük katkılar sağlamaktadır.

4. Referanslar

KARATAŞ, B.S. ve Durdu, Ö.F., 2013. Aydın İli Koşullarında Sera Isıtmasında Jeotermal Enerjinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2013, 50 (1): 47-56. ISSN 1018 – 8851

<http://www.tuik.gov.tr>, 01.10.2019

<http://www.faostat.fao.org>, 15.10.2009

https://www.google.com/search?q=T%C3%BCrkiye+Y%C4%B1ll%C4%B1k+Ortalama+S%C4%B1caklı%C4%B1k+Da%C4%9F%C4%B1l%C4%B1%C5%9F%C4%B1+Haritas%C4%B1+2019&sxsrf=ALeKk01UB_8ATqc9GnguQhuSEYz_iycnA:1591128165198&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=GJAOIGSr5PmX4M%253A%252Ca6myhiSedGI3M%252C_&vet=1&usg=AI4_kQy8HH4NVK094AZ1b_2qQ6zmIT2jA&sa=X&ved=2ahUKEwjJjdCo9uPpAhWvShUIHQTrBwYQ9QEwAnoECAoQGw#imgsrc=GJAOIGSr5PmX4M:

https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_622_lk5l43wg_seracilik- ortualti- bitki- yetistiriciligi-sektor-raporu-2015.pdf

www.tarim.gov.tr.

CHAPTER
9

**Recent Advances in Science and
Technology**

*The Properties of Ti-based Biomaterials and a Comparative
Evaluation of the Production Methods*

**Titanyum Bazlı Biyomalzemelerin Özellikleri ve Üretim
Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi (Pınar
Uyan, Semih Küçükkör, Özgür Cengiz)**

Titanyum Bazlı Biyomalzemelerin Özellikleri ve Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

The Properties of Ti-based Biomaterials and a Comparative Evaluation of the Production Methods

Pınar Uyan^{1,2}, Semih Küçükkör³, Özgür Cengiz⁴

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bilecik, Türkiye, E-mail: pinar.uyan@bilecik.edu.tr

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik, Türkiye

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, GSF Seramik Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, E-mail: ocengiz1@gmail.com

1. Giriş

Titanyum, atom numarası 22; atom ağırlığı 47,87 olan ve periyodik tabloda 4B grubunda yer alan bir geçiş elementidir. Element olarak keşfi ve isimlendirilmesi geçmişe dayanmaktadır. 1791’de doğa gezisi sırasında amatör bir jeolog olan *Cornwall* ve bir papaz olan *William Gregor* tarafından, İngiltere’nin *Manaccan* bölgesinin yakınlarında bir akarsuda bulunan siyah kumların mıknaatısla etkileşimi gözlemlenmiştir. Mineraller incelendiğinde ilmenit gözlemlenirken o zamana kadar bulunmuş hiçbir elementin özelliklerini taşımayan beyaz bir oksit elementi, *Royal Geological Society of Cornwall*’da ve Alman bilim dergisi *Crell’s Annalen*’de bildirilmiştir (Krebs, 2006; John, 2001). Aynı yıllarda *Franz Joseph Muller* de beyaz oksitine benzer bir elementi üretmiştir (Krebs, 2006). Bu olaylardan bağımsız bir şekilde Alman kimyager *Martin Heinrich Klaproth* 1795’te Macaristan’da rutil oksidi yeniden keşfederek oksidin yeni bir element içerdiğini bulmuş ve bu elemente titanyum adını vermiştir (John, 2001).

Titanyum α , β , $\alpha+\beta$ olarak üç farklı şekilde gruplandırılır (Welsch ve ark., 1998). Elementel haldeki bazı fiziksel özellikleri ve alaşım (Ti6Al4V) haldeki özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1’ de verilmektedir (Rännar ve ark., 2017; Kotan ve Bor, 2007).

Tablo 1: Saf Ti ve Ti6Al4V Alaşımının Özellikleri

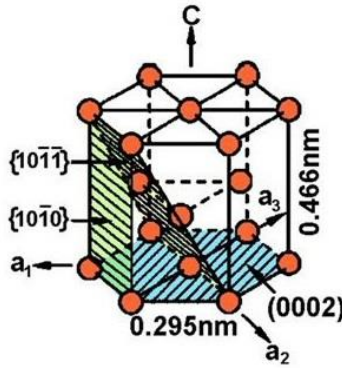
Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Saf Ti	Ti6Al4V
Yoğunluk (g/cm ³)	4,51	4,43
Ergime Sıcaklığı (°C)	1675	163-1650
Dönüşüm Sıcaklığı (°C)	882	985
Elastik Modülü (GPa)	100-145	110-140
Akma Dayanımı (MPa)	140	800-1100
Çekme Dayanımı (MPa)	235	900-1200
Kesit Alan Daralması (%)	30	36
Yorulma Dayanımı (MPa)	250	240
Kırılma Tokluğu (MPa √m)	99-140	75
Kayma Modülü (GPa)	40	44
Sertlik (Vickers)	120-280	300-400
Sertlik (Brinell)	265	334
Isıl İletkenlik (W/mK)	17,2	6,7

Titanyum mineralleri, boya, plastik ve kâğıt endüstrilerinde kullanılan titanyum dioksit pigmentinin elde edilmesinde, uzay ve uçak endüstrisinde, savaş sanayinde, kimya, tıp ve elektrokimya endüstrilerinde kullanılan stratejik öneme sahip bir hammaddedir (Welsch ve ark.,1998).

Titanyum bazlı malzemeler; alfa, beta ve alfa-beta titanyum isimleri ile üç farklı kategoride değerlendirilmektedir.

1.1. Alfa Titanyum (α -Ti)

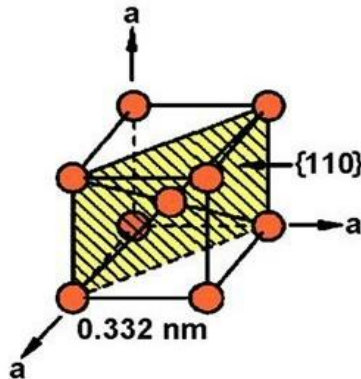
α -Titanyum malzemeler, yapıları gereği yüksek mukavemete, yüksek sıcaklıkta mükemmel sürünme direncine sahiptir. Oda sıcaklığından 882 °C'ye kadar hegzagonal sıkı paket (HCP) birim hücre yapısına sahiptir (Şekil 1.1). α -Ti birim hücre hacmi 0,10581 nm³ olarak hesaplanmıştır (Kotan ve Bor, 2007; ASM 1972).



Şekil 1: α -Titanyum Kristal Kafes Yapısı

1.2. Beta Titanyum (β -Ti)

Yapı gereği β -Titanyum yüksek çekme dayanımı ve yorulma mukavemetine sahiptir. Oda sıcaklığından 882 °C'ye kadar yüzey merkezli kübik (BCC) yapıdadır. β -Ti birim hücre hacmi 0,0366 nm³ olarak hesaplanmıştır (Kotan ve Bor, 2007; ASM 1972).



Şekil 2: β -Titanyum Kristal Kafes Yapısı

1.3. Alfa-Beta Titanyum ($\alpha+\beta$ - Ti)

Kompozit bir yapı gibi düşünülürse α fazının sağladığı yüksek sıcaklıktaki mükemmel sürünme dayanımı, süneklik ve tokluk ile β fazının sağladığı yüksek çekme dayanımı ve yorulma mukavemeti özelliklerinden ileri gelmektedir (Kotan ve Bor, 2007; ASM 1972).

1.4. Biyomalzeme Olarak Titanyum Bazlı Malzemeler

Biyomedikal uygulamalarda, günümüzde önemli bir kullanım potansiyeli olan malzemeler, implant malzemelerdir. Kullanılan implantın yerleştirildiği bölgede biyo-uyumluluk ve biyo-fonksiyonellik açısından değerlendirilmesi en az üç kriter ile yapılmaktadır. Bu üç kriter şunlardır (Kasemo ve Lausmaa, 1986);

- i. Biyolojik uyumluluk (biyouyumluluk)
- ii. Morfolojik uyumluluk
- iii. Mekanik uyumluluk

İmplantlar vücudun neresinde kullanılırsa kullanılsın yumuşak veya sert dokular ile uyumlu ve kararlı bir mekanik ilişki kurabilmesi gerekmektedir. Kararsız bir implant, hedeflenen etkiyi sağlayamayabilir, tamamen fonksiyonu kaybedebilir ya da dokuya aşırı zarar verebilir. Bu durumlardan biri ya da birkaçı hastaya acı verebilir. Bu durum cerrahi müdahale ile implantın çıkarılmasını gerektirebilir.

Titanyum ve titanyum alaşımları biyomedikal uygulamalarda, işlenebilirlik, şekillendirilebilirlik, korozyon direnci, biyo-uyumluluk ve nispeten düşük elastikiyet modülüne (kemiğin 5-7 katı) sahip olması gibi arzu edilen özelliklerden dolayı, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Alaşım özellikleri rapor edilen çalışmalardan elde edilen ortalama değerler ile kullanım yerleri Tablo 2’de verilmektedir (Callister, 2007).

Tablo 2: Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Yerleri ve Ortalama Mekanik Özellikleri

Alaşım Türü	Çekme Dayanımı [MPa]	Akma Dayanımı [MPa]	Süneklik (50 mm ölçü boyunda kopma-uzama)	Kullanım Alanları
Saf Titanyum (Ticari)	484	414	25	Jet motor gövdeleri, uçak gövde ve kanat yüzeyleri
α -Titanyum	826	784	16	Gaz türbin çerçeveleri ve kimyasal işlem donanımları
α (yaklaşık)	950	890	15	Dövme jet motoru parçaları
$\alpha+\beta$ -Titanyum	947	877	14	Yüksek dayanımlı protez implantları, kimyasal işlem donanımları
$\alpha+\beta$ -Titanyum	1050	985	14	Roket motor gövdeleri
β -Titanyum	1223	1150	10	Dayanım/Tokluk gerektiren uçak gövde parçaları

Kemik içi implantlar farklı şekilde saf veya alaşımlı titanyumdan yapılmaktadır. İmplant yüzeyindeki oksit tabakasının inert etkisi, fizyolojik sıvı, protein, sert ve yumuşak dokunun metal yüzeyini daha iyi kavramasını sağlar. Kemikle bağlanması çok iyi ve doku tarafından kabul edilirliliği yüksek olan titanyum, yerleştirildikten sonra vücudun bir parçası haline gelir.

Titanyumun biyomalzeme olarak kullanılmasındaki başlıca avantajlar şöyle sıralanabilir (Callister, 2007);

- Mekanik özelliklerinin iyi olması,
- Korozyon özelliklerinin yüksek olması,
- Uzun süreli implantasyonda (deri içine yerleştirme) iyi biyo-uyumluluğa sahip olması,
- Enjekte edilen maddelerle birlikte kimyasal reaksiyona girme olasılığının en az olması,
- Manyetik olmaması, MR (magnetik rezonans) için uyumlu olması,
- Yoğunluğunun düşük olması,
- Hipoalerjik (alerjik özelliği az) olmasıdır (Callister, 2007).

2. Titanyum Bazlı Malzeme Üretim Yöntemleri

Titanyum bazlı malzemelerin günümüze dek kullanılmakta olan ve son teknolojik gelişmeler ile yönlenen üretim yöntemleri, süreç parametreleri tartışılarak ve birbirleri ile kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

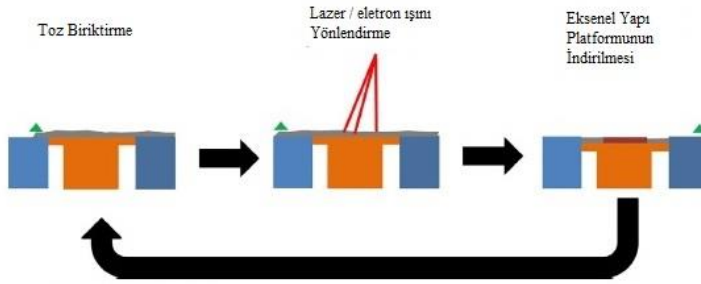
2.1. Toz Yatak Füzyonu (PBF) ile Üretim

PBF olarak adlandırılan L-PBF (lazer) ve E-PBF (lens) olarak ikiye ayrılan yöntem tozun eritilerek seçilmiş bölgelerin işleyen bir enerji kaynağı kullanılarak yapılan üretim tipidir. Enerji kaynaklarına göre ayrılan bu yöntemde L-PBF lazer enerji kaynağının aynalar sayesinde odaklanıp toz yüzeyi tarayıp, taranan bölgelerin erimesiyle katman oluşturulması prensibi kullanılmakta iken; E-PBF yönteminde elektron ışınlarını lensler yardımı ile odaklanması ile tarama yapılmaktadır.

Bütün proses bilgisayar destekli bir cihaz yardımı ile gerekli yazılımlar kullanılarak dizayn edilmiş parçaların bir güç kaynağı yardımı ile bir düzleme serilen tozların taranarak katman halde sertleştirilip tekrardan tozların serilerek tekrara edilen süre sonunda nihai ürün elde edilmesi ile sonuçlanması prensibine dayanmaktadır. PBF yöntemini genel olarak adımlamak gerekirse adımlar aşağıdaki gibidir;

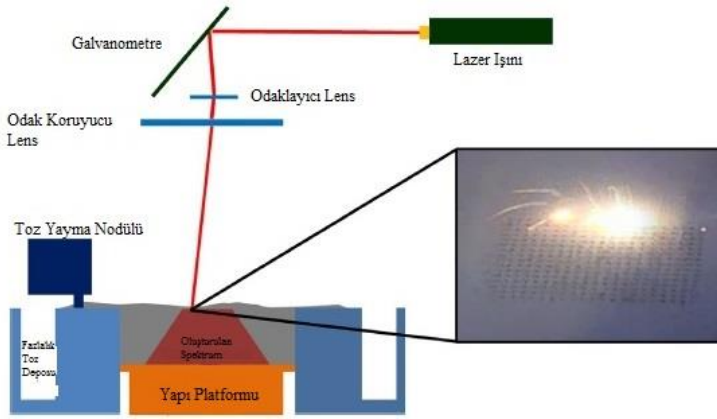
- Bir toz tabakasının taranarak eritilmesi (L-PBF için genellikle 20-100 μm ve E-PBF için 100 μm).
- İnşa edilecek platformun önceden belirlenmiş toz tabakası kalınlığı kadar alçaltılması.
- Toz tabakasının platforma bırakılması.
- İşlem, gerekli nihai ürün tamamlanana kadar ardışık toz katmanları ile tekrar edilmesidir (Chua ve Leong, 2017).

PBF yönteminde tozun içerisine herhangi bir bağlayıcı katılmadan üretim sağlanmaktadır bu da doğrudan metalik parça üretiminde bağlayıcı püskürtme işlemlerine karşı büyük avantaj sağlamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: PBF Yönteminin Basit Şematik Gösterimi (Sing ve ark., 2016).

L-PBF ticari olarak seçici lazer eritme (SLM) ya da doğrudan metal lazer eritme (DMLM) olarak da bilinmektedir ve bu yöntemde enerji kaynağı olarak fiber lazer olarak kullanılmaktadır (Rafı ve ark., 2013). Bu işlem üretilecek malzemenin saflığının artırılması için inert (argon veya azot) bir gaz ortamında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İnert ortamda üretilecek ürünün iç yapısını etkileyecek hidrojen ve oksijen alımı azaltılır (Şekil 4).

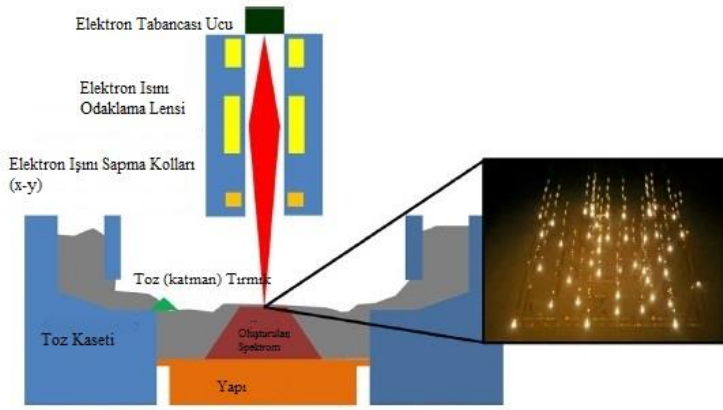


Şekil 4: L-PBF Sisteminin Temsili Görüntüsü (Sing ve ark., 2016).

L-PBF sistemindeki lazer modülüne ve lazer nokta çapına bağlı olarak 1kW'a kadar çalışabilir (Chua ve Leong, 2017). Sistem kolu x ve y yönünde hareket ederken tozun yayıldığı bölme yukarı aşağı hareket ederek 3 boyutlu bir yapı oluşumuna izin vermektedir. İşlem sırasında 20-100 μm kalınlığında bir toz tabakası yapı platformuna yayılır.

Toz, *powder recoater* (tozu yeniden kaplama) ünitesi tarafından düzlem boyunca taşınır ve yayılır (Şekil 4). Bazı L-PBF sistemleri için yapı platformu 400 °C'ye kadar ön ısıtma uygulanabilir (Mertens ve ark., 2018). Makine bilgisayarına yüklenen parçanın çiziminin olduğu bilgisayar destekli tasarım (CAD-Computer Aided Design) dosyası sistem tarafından tanımlanır ve iki şekilde uygulanır. Birincisi konturlama işleminde lazer parçanın dış sınırından başlamaktadır. İkincisi ise konturlama işleminde lazer parçanın iç kısımdan başlamak. Bu başlangıç parçanın şekline ve yapısına göre değişmektedir. İşlemler periyodik olarak devam eder lazer uç katman şeklini verir, *powder recoater* (yeniden kaplama) düzleme toz yayılımını sağlar ve yine lazer uç katman şeklini verir. L-PBF üretim tipi zigomatik kemik ve parmak gibi ortopedik implant üretimlerinde kullanılan çalışmalar bulunmaktadır (Rotaru ve ark., 2015; Merkt ve ark., 2014).

Ticari adı EBM olan E-PBF ise işlem sırasında metal tozu eritmek için elektron ışını kullanmaktadır. Bu işlem için vakum odasında gerçekleşmelidir. Vakum odası, oksijensiz bir ortam olarak ayarlandığından parçada yüksek içyapı saflığı ve istenilen miktarda ortama hidrojen salınımı yapılabileceğinden avantajlı bir yöntemdir. Bu nedenle Ti6Al4V gibi yüksek reaktiviteye sahip biyomalzemelerden bir parça imalatı için kritik bir noktadır (Parthasarathy ve ark., 2010). Bir diğer avantajı ise üretilen parçalar da diğer üretim yöntemine göre daha düşük artık gerimeler ve üretim 700 °C civarında bir üretim sıcaklığına sahip olduğundan çarpılma, bozulma gibi etkenlerin görülmesi ortadan kaldırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: E-PBF Sisteminin Şematik Anlatımı (Sing ve ark., 2016).

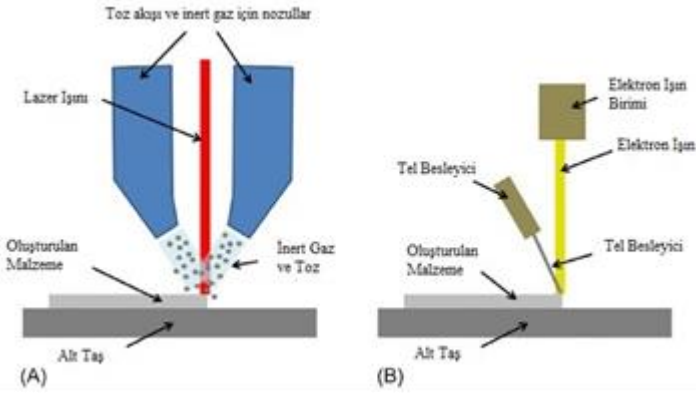
E-PBF sisteminde kullanılan elektron tabancası, 100 kW/cm^2 'nin üzerinde odaklanma ışın ile ışın yoğunluğu ise 60 kW bir enerji ile çalışmaktadır. Elektron tabancası bağlantısı hareketi için lensler, sapma bobinleri, ışın ve ışının yapı platformunun hareketini kontrol ederek üretim sağlanır. $100 \text{ }\mu\text{m}$ kalınlığında toz tabakası işlem sırasında hareketli tırmık benzeri yapı aracılığı ile toz platforma yayılır. Hareketli bu yapının her iki tarafından platforma toz yayılımı sağlanır.

Toz tabakası ön ısıtma ile her tabaka yüksek tarama hızına sahip elektron demeti kullanılarak üretim sağlanır. L-PBF gibi bilgisayar destekli makineye yüklenen CAD dosyasına çizilen ürün üretilmiş olur. Süreç kendini tekrarlayarak devam eder (Rafi ve ark., 2013). E-PBF *maksillofasiyal* plaka, kalça, diz ve çene *replasmaları* gibi ortopedik ürünler üretilmektedir (Cronskär ve ark., 2013; Mazzoli ve ark., 2009; Jardini ve ark., 2014; Jardini, 2014).

2.2. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (DED) Yöntemi ile Üretim

DED ısı girdisi ve malzemenin aynı anda eklenmesi ile yapılan bir AM süreçler grubudur. Isı ortama bir lazer, elektron ışın ya da plazma arkı olarak kullanılabilir. Malzeme besleme türü toz ya da tel olabilmektedir. Tozlar, metal tellerine kıyasla altlığa daha az bağlanmaktadır.

DED sistemi de E-PBF sistemi gibi vakumlu bir ortam istenmektedir. Vakum ortamı yüksek oksidasyon sorunlarını ve malzeme içi saflık sorunlarını ortadan kaldırmaktadır. Toz ürün kullanan DED yönteminde genellikle makineler nozullarda toz ile ortama asal gazlar üflerler, böylece erimez bölge kaplanmış ve oksitlenme oranı azaltılmış olur (Lee, 2008; Gokuldoss ve ark., 2017). Sistemde birden fazla nozul kullanımına olanak sağlamaktadır (Şekil 6). Bu kullanım birden fazla materyalin karıştırılmasına olanak sağlamaktadır (Mazzucato ve ark., 2017; Liu ve DuPont, 2003; Li ve ark., 2017).

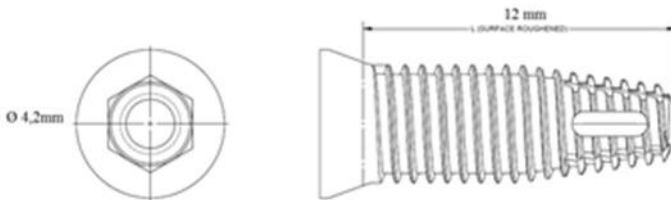


Şekil 6: (A) Toz Beslemeli DED; (B) Tel Beslemeli DED ile Üretim İşleyişi Gösterimi.

Üretimde kullanılan toz boyutları genelde daha yüksek enerji yoğunluğu gerektirdiğinden bu yönde DED sistemleri PBF sistemlerinden farklılık gösterir. DED sistemlerinin avantajı PBF ile üretime göre daha hızlı yapılanma oranına sahiptir. DED ile üretimin dezavantajı düşük yüzey kalitesidir. PBF ile üretimde yanı sıra DED ile toz yatağı kullanmadan mevcut parça onarımı veya baskı yapılabilir (Yusuf ve Gao, 2017).

2.3. Biyomedikal Ti-bazlı Alaşımların Yeni Teknoloji Üretimleri

Ti6Al4V tozları, toz öğütücü içerisinde seramik bilyeler ile toz 25 μm seviyesine indirilmektedir. Ayrıştırılan tozlar, yazıcıya yerleştirilerek CAD programında bilgisayar destekli çizimi gerçekleştirilir (Şekil 3.1). Makine tablasına (1015 adet; 25 cm x 30 cm x 20 cm boyutlarında) yerleştirilip simüle edilir. Buradaki önemli nokta üretilecek ürünün çizim aşamasında teknik olarak dayanım ve üretim sürecine uygun ve başarılı olması için birtakım parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir (Şekil 7). Üretimin başarısını etkileyen ve ilk aşama olan tasarım sırasında yaşanabilecek hataların baştan önlenmesi gerekmektedir.



Şekil 7: Diş İmplantı Alt Vidası Teknik Çizimi

Üretim yöntemi, kaynak yapmak ile eşdeğer olup ani ısınma ile oluşan eriyik havuzu ve hızlı soğuma içeren Ti6Al4V üretim hızına ve ortamın

ayarlanabilir sıcaklığına bağlı olacak şekilde $\alpha+\beta$ iç yapısı oluşturulmasına dayanmaktadır. Üretilen üründe kalite bakımından dikkat edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır. Bunlar; artık gerilme, eğer kompleks bir parça üretiliyorsa deformasyon sorunları, katmanlar arası malzemenin lazerin yetersiz kalarak yapışmasının az olması ve eriyik havuzunun yani soğuk malzemenin bir anda yönlendirilmiş lazer karşısında ilk enerjinin verilerek malzemenin anlık buharlaşma ısısına çıkarak, eriyik bir havuz oluşturması ve malzemenin buraya dolmasının gecikerek burada bir baloncuk olması gibi birçok üretime bağlı kalite hatasıdır. Bu hataların giderilmesi aşamasında, üretilecek parçanın çok komplike (karmaşık) olmaması gerekmekte; yapı simülasyonunun dikkatli izlenerek basım hızının ve lazer gücünün ayarlanması, parçalar arası uzaklığın iyi hesaplanması, toz yeniden kaplayıcının tozu tabla üzerine yeterli ve tam yayılabilmesi gibi etkenler önem arz etmektedir.

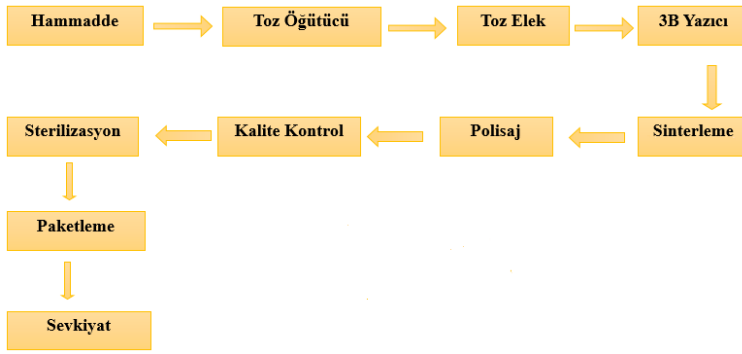
Üretimin ilk aşama olan hammadde temini ile son aşaması olan kalite kontrol ve sevkiyat aşamaları dahil tüm süreci, malzeme karakteristikleri ve üretim yöntemi kadar, uygun tasarım da etkilemektedir. Tasarım aşaması ise, pek çok parametreyi göz önünden bulundurmaya gerektiren bir aşamadır (Şekil 8).



Şekil 8: Ürün Tasarımı Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler.

Tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak bakarak ürün tasarlanır ve simülasyona yapılan hatalar düzeltildikten sonra ürün artık makine tarafından basılmaya hazır hale gelir makine haznesine yeri kadar toz koyulup makineye argon gazı bağlanılır, tasarım makine bilgisayarına yüklenir. Makine çalıştırılır ve yaklaşık 8 saatlik basım süreci bittiğinde ortamdan fazlalık toz makine içeriği ile gelen ve süpürge ile süpürülerek tasarlanmış ürünler üretilmiş olur. Ürünler makine tablasından kesilerek ayrılır. Üretilen ürünler daha sonra sinterleme için fırına konulur. Sinterleme işlemi üretilen ürün

içerisindeki artık gerilmelerin giderilmesi için yapılmaktadır. Sinterleme fırınında 500-600 °C sıcaklıkta 1,5-2 saat arasında bekletilir artık gerilmeler giderilmiş olur. Gerilim giderilmesi yapılan ürünler polisaj ve yüzey düzeltimi işleminden sonra kalite kontrole tabi tutulmalıdır. Ayrıca çekme, basma, eğme, çentik darbe, yorulma, yorulma çatlak ilerleme, kırılma tokluğu gibi mekanik özellikler ile SEM, XRD, tane boyutu ölçümü, mikro sertlik deneyleri gerçekleştirilerek standartlar ile kıyaslanmaktadır. Ürün vücut içerisinde kullanılacağı durumlar için *invivo* deneyleri gerçekleştirilmelidir. Bunun için öncelikli olarak deney hayvanları kullanılmaktadır. Toz olarak başlayan malzemenin nihai ürüne giden yolları üretim akış şeması ile anlaşılabilir (Şekil 9).



Şekil 9: Ürün Üretimi Akım Şeması Basamakları.

3. Kıyaslamalı Üretim Yöntemleri ve Parametreleri

Biyomalzeme alanında kullanılan titanyum bazlı implantların son teknoloji farklı üretim yöntemleri ile üretilmiş ürünlerin kalite deney sonuçları kıyaslamalı olarak değerlendirilmelidir. Bu doğrultuda, üretim yöntemine göre elde edilen mekanik değerler incelenebilir. Göz önünde bulundurulmuş bu değerler, üretim seçiminin birincil ayağını oluşturmaktadır.

Tablo 3: L-PBF, E-PBF, DED ve Dövme Yöntemleri ile Üretilmiş Ti6Al4V Mekanik Özellikleri (Mazzucato ve ark., 2017; Liu ve ark., 2003; Li ve ark., 2016)

Özellikler	L-PBF	E-PBF	DED	Dövme
Gerilme Direnci (MPa)	973-1407	915-1200	920-1163	934-1173
Akma Dayanımı (MPa)	885-1333	830-1150	850-1105	862-999
Uzama (%)	5-19	13-25	4-17	6-7
Mikro-sertlik (HV)	381-479	360-460		294-360

Ti6Al4V toz üretimi için, kıyaslamalı üretim teknikleri-nihai özellikler değerlendirildiğinde; L-PBF yönteminin avantaj sağlamakta olduğu görülmektedir (Tablo 3). Bu yöntemin seçilmesinin avantajı, diğer yöntemlere nazaran daha ince tozlar ile üretilerek yavaş basım hızında ürünün daha iyi kalitede üretilmesidir. Nitekim bu durum, verilen veriler doğrultusunda anlaşılmaktadır. Yeni nesil eklemeli üretim parametrelerinin ve ürün üretim maliyetlerinin ulaşılabilirliği dolayısı ile seçimi, göreceli olarak üretim yöntemi seçimini etkilemektedir.

Sonuç olarak, tüm üretim yöntemlerinin seçiminde ve uygulamalarında temel alınan birtakım parametreler ve göz önünde bulundurulması gereken basamaklar bulunmaktadır. Bu aşamalar şöyle özetlenebilir;

- i. Malzeme seçimi
- ii. Üretilen malzemenin bilgisayar destekli ortamda çizimi ve üretim simülasyonu
- iii. Üretim yöntemi
- iv. Kalite ve karakterizasyon
- v. Sterilizasyon
- vi. Hayvanlar üzerindeki test denemeleri

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Titanyum metal ve alaşımları üstün fiziksel ve kimyasal özellikler göstermekte fakat elde edilmesi, işlenmesi çok zor ve pahalı olduğundan metal olarak kullanımı özel alanlarla sınırlanmakta olan malzemelerdir.

Biyomalzeme olarak kullanım alanı her geçen gün genişlemekte olan metal ve metal alaşımlardan, Titanyum bazlı olanlar ağırlık olarak değerlendirildiğinde; son teknoloji üretim yöntemlerinden en avantajlı olanları, günümüze dek yapılan çalışmalar karşılaştırılmalı olarak yorumlanmıştır. Buna göre, L-PBF başta olmak üzere eklemeli imalat yöntemleri yeni nesil üretim yöntemlerinden göreceli daha avantajlıdır. Ancak, yeni teknoloji üretim yöntemlerinin ekonomik yönü, üretim aşaması hassasiyetleri (ürün özellikleri ve tasarım gibi) ile proses parametreleri ile nihai ürün özellikleri değerlendirilerek belirlenmelidir.

5. Referanslar

ASM Metals Handbook (1972), “*Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*”, p. 351, USA.

Callister, W. (2007), *Materials science and engineering : an introduction*, Jr.—7th ed. p. cm.,TA403.C23 2007, John Wiley & Sons, USA.

Cronskär, M., Bäckström, M., Rännar, L. E. (2013), “Production of customized hip stem prostheses - A comparison between conventional machining and electron beam melting (EBM),” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 19, no. 5, pp. 365–372.

- Chua, C. K., Leong, K.F. (2017), *3D printing and additive manufacturing: Principles and applications: The 5th edition of rapid prototyping: Principles and applications*.
- Gokuldoss, P. K., Kolla, S., Eckert, J. (2017), "Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting-selection guidelines," *Materials (Basel)*., vol. 10, no. 6.
- Jardini, A. L. *et al.* (2014), "Customised titanium implant fabricated in additive manufacturing for craniomaxillofacial surgery: This paper discusses the design and fabrication of a metallic implant for the reconstruction of a large cranial defect," *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 9, no. 2, pp. 115–125.
- Jardini, A. L. *et al.* (2014), "Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing," *J. Cranio-Maxillofacial Surg.*.
- John, E. (2001), "An A-Z Guide to The Elements," *Oxford Univ. Press*.
- Lee, H. K. (2008), "Effects of the cladding parameters on the deposition efficiency in pulsed Nd:YAG laser cladding," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 202, no. 1–3, pp. 321–327.
- Li, W. *et al.* (2017), "Fabrication and characterization of a functionally graded material from Ti-6Al-4V to SS316 by laser metal deposition," *Addit. Manuf.*, vol. 14, pp. 95–104.
- Liu, W., DuPont, J. N. (2003), "Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by laser engineered net shaping," *Scr. Mater.*, vol. 48, no. 9, pp. 1337–1342.
- Kasemo, B., Lausmaa, J. (1986), "Surface science aspects on inorganic biomaterials," *Crit. Rev. Biocompat.*.
- Kotan, G., A. Ş. Bor, A.Ş. (2007), "Production and characterization of high porosity Ti-6Al-4V foam by space holder technique powder metallurgy," *Turkish J. Eng. Environ. Sci.*, vol. 31, no. 3, pp. 149–156.
- Krebs, R.E. (2006), *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements*.
- Mazzoli, A., Germani, M., Raffaelli, R. (2009), "Direct fabrication through electron beam melting technology of custom cranial implants designed in a PHANToM-based haptic environment," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 8, pp. 3186–3192.

- Mazzucato, F., Tusacciu, S., Lai, M., Biamino, S., Lombardi, M., Valente, A. (2017), "Monitoring Approach to Evaluate the Performances of a New Deposition Nozzle Solution for DED Systems," *Technologies*, vol. 5, no. 2, p. 29.
- Merkt, S., Kleyer, A., Hueber, A. (2014), "The Additive Manufacture of Patient-tailored Finger Implants: Feasibility study: implants based on XtremeCT technique," *Laser Tech. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 54–56.
- Mertens, R., Dadbakhsh, S., Van Humbeeck, J., Kruth, J. P. (2018), "Application of base plate preheating during selective laser melting," *Procedia CIRP*, vol. 74, pp. 5–11.
- Parthasarathy, J., Starly, B., Raman, S., Christensen, A. (2010), "Mechanical evaluation of porous titanium (Ti6Al4V) structures with electron beam melting (EBM)," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 3, no. 3, pp. 249–259.
- Rafi, H. K., Karthik, N.V., Gong, H., Starr, T. L., Stucker, B. E. (2013), "Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 22, no. 12, pp. 3872–3883.
- Rännar, L. E., Koptug, A., Olsén, J., Saeidi, K., Shen, Z. (2017), "Hierarchical structures of stainless steel 316L manufactured by Electron Beam Melting," *Addit. Manuf.*, vol. 17, no. 2010, pp. 106–112.
- Rotaru, H., Schumacher, R., Kim, S. G., Dinu, C. (2015), "Erratum to: Selective laser melted titanium implants: a new technique for the reconstruction of extensive zygomatic complex defects," *Maxillofac. Plast. Reconstr. Surg.*, vol. 37, no. 1, p. 400001.
- Sing, S. L., An, J., Yeong, W. Y., Wiria, F. E. (2016), "Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs," *J. Orthop. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 369–385.
- Welsch, G., Boyer, R., Collings, E. W. (1998), *Materials properties handbook: Titanium alloys*, 2nd ed., p. 1176, Ohio, USA.

CHAPTER
10

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Biyoelektromanyetik Uygulamalar için Bobin Sistemleri ile
Manyetik Alan Desenleri Oluşturma (Serhat
Küçükdermenci)**

Biyoelektromanyetik Uygulamalar için Bobin Sistemleri ile Manyetik Alan Desenleri Oluşturma

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ

*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü, kucukdermenci@balikesir.edu.tr*

1. Giriş

Homojen manyetik alan ve statik manyetik alansız bölge gibi farklı manyetik alan paternlerine çeşitli biyoelektromanyetik uygulamalarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu elektromanyetik uygulamalardan bazıları manyetik ferro sıvı hipertermi (MFH) ve manyetik nanoparçacık görüntülemidir (MPI) (Tay ve diğ., 2018). MFH dikkat çeken kanser tedavi yöntemlerinden biridir (Kandasamy ve diğ., 2018; Hensley ve diğ., 2017). Manyetik nano parçacıklar (MNP'ler) yüksek frekanslı manyetik alana maruz kaldıklarında ısı üretebilirler (Pavel ve diğ., 2009). Üretilen ısı kanserli hücreleri etkisiz hale getirmek için kullanılır. MFH uygulamalarındaki kritik sorun MNP'lerin tümör çevresindeki sağlıklı dokulara yayılmasıdır. Bundan dolayı çevredeki tümörsüz dokulara zarar vermeden tümörü doğru bir şekilde ısıtmak oldukça zorlaşmaktadır. MNP'lerin zamanla dağılımından ziyade harici manyetik alan kaynağını kontrol etmek çok daha kolay olduğundan, manyetik odaklama yöntemi çok dikkat çekmiştir (Jordan ve diğ., 2009).

Zamanla MFH'ye başka teknolojiler dahil edilmiştir. Bu teknolojiler arasında MNP sıcaklık ölçümü (Tang ve diğ., 2017; Du ve diğ., 2018), MNP sıcaklık kontrolü (Hensley ve diğ., 2017; Astefanoaei ve diğ., 2014), MNP görüntüleme (Xie ve diğ., 2013; Gleich ve diğ., 2005) sayılabilir.

Statik manyetik alansız nokta (FFP) bir manyetik alan bölgesinde statik manyetik alanın yaklaşık olarak sıfır olduğu noktadır. FFP çeşitli kaynaklardan üretilen manyetik akı yoğunluklarının bileşkesi ile ortaya çıkarılabilir. Bu kaynaklar sabit mıknatıslar ya da elektromıknatıslar olabilir. Elektromıknatısların üreteceği manyetik akı yoğunluklarının analizi için analitik, simülasyon veya deneysel yöntemler önerilebilir.

Analitik yöntemde, bobinlerin geometrileri ve bobin akımları da hesaba katılarak Biot-Savart yasasıyla hesaplamalar yapılabilir. Bu çalışmada analitik. simülasyon ve deneysel yaklaşımlardan örnekler verilmiştir.

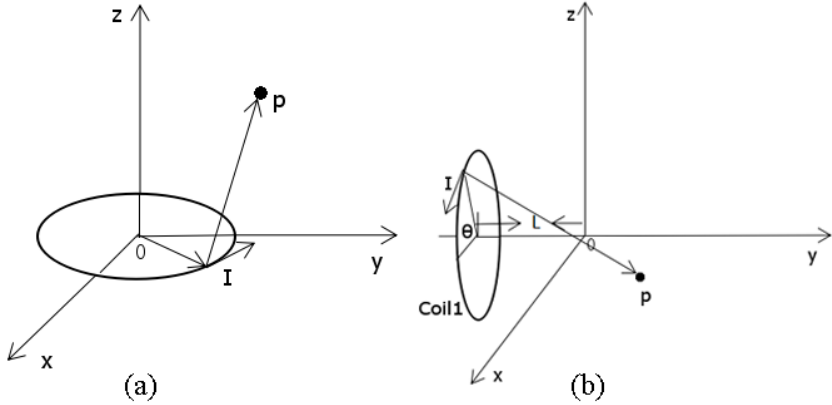
2. Analitik yaklaşım

Biot-Savart yasası, akım elemanı tarafından oluşturulan manyetik alanı uzayda herhangi bir P noktası için tanımlar. Bu yasa eşitlik (1) ile ifade edilir.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times \vec{r}}{r^2} \quad (1)$$

Burada I akım, dl diferansiyel akım elemanı, e_r kaynak noktadan hedef noktaya işaret eden birim vektörü ve μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliğidir.

Kartezyen koordinat sistemi için xy düzleminde ve merkezi orijinde olan (bkz. Şekil 1a) bir bobinin P noktasındaki (x, y, z) manyetik akı yoğunluğu B eşitlik (2) ile ifade edilir (Yang ve diğ., 2016).



Şekil 1: Kartezyen koordinat sistemindeki bobin ve hedef nokta.
(Ma ve diğ., 2019)

$$B_x = \frac{\mu_0 I R z}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\left[(x - R \cos \theta)^2 + (y - R \cos \theta)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I R z}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sin \theta d\theta}{\left[(x - R \cos \theta)^2 + (y - R \cos \theta)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{R(R - x \cos \theta - y \sin \theta) d\theta}{\left[(x - R \cos \theta)^2 + (y - R \cos \theta)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

Burada, I bobin akımı, μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği, R bobin yarıçapı, x , y ve z P 'nin koordinatları ve B_x , B_y ve B_z manyetik akı yoğunluğun kartezyen koordinat sistemindeki bileşenleridir.

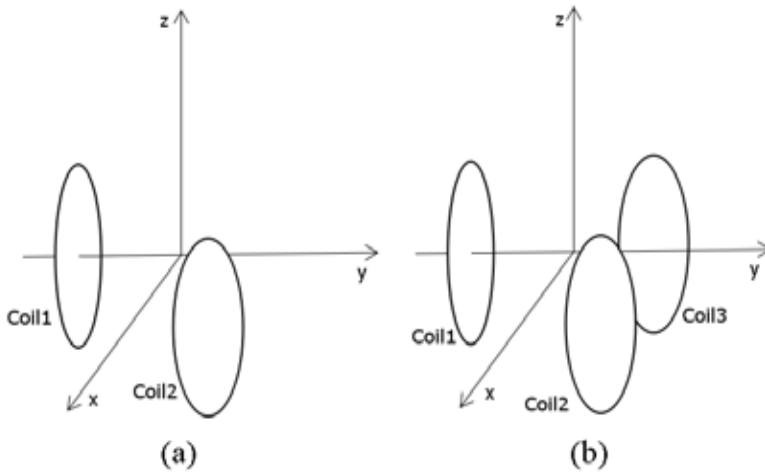
Hesap kolaylığı için bobini yz düzleminde ve merkezi $(0, -L, 0)$ noktasında olacak şekilde (bkz. Şekil 1b) yeniden düzenlenir. Statik manyetik alansız noktanın konumu xy düzleminde $P(x, y, 0)$ olarak tanımlanır ve kısaca $P(x, y)$ olarak ifade edilebilir. Bu durumda bobin 1 tarafından $P(x, y, z)$ noktasında üretilen manyetik akı yoğunluğu eşitlik (2)'ye koordinat dönüşümü uygulayarak eşitlik (3) ile ifade edilebilir. B_1 vektörü (B_{1x} , B_{1y} , B_{1z}) bobin 1 tarafından üretilen manyetik akı yoğunluğudur. Hedef nokta xy düzleminde olduğundan B_1 vektörü (B_{1x} , B_{1y}) olarak yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 B1_x &= \frac{\mu_0 IR}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(y+L) \sin \theta d\theta}{\left[(z-R \cos \theta)^2 + (x-R \cos \theta)^2 + (y+L)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3) \\
 B1_y &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{R(R-z \cos \theta - x \sin \theta) d\theta}{\left[(z-R \cos \theta)^2 + (x-R \cos \theta)^2 + (y+L)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \\
 B1_z &= \frac{\mu_0 IR}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(y+L) \cos \theta d\theta}{\left[(z-R \cos \theta)^2 + (x-R \cos \theta)^2 + (y+L)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}
 \end{aligned}$$

P noktasının statik manyetik alansız nokta (FFP) olması isteniyorsa bobin 1 yanında diğer bobinlerin ürettiği manyetik akı yoğunluk vektörlerinin hedef noktada bileşkelerinin sıfır olması istenir.

2.1. Bobinlerin manyetik akı yoğunluklarının hesaplanması

Bobin 1 eşleniği z eksenini çevresinde saat yönünün tersine 120 derece döndürülerek bobin 2 konumlanır (bkz. Şekil 2 (a)). Yine benzer şekilde bobin 1 240 derece döndürülerek bobin 3 konumlanmış olur (bkz. Şekil 2 (b)).



Şekil 2: Sisteme bobin 2 ve bobin 3 eklenmesi.
(Bobin 2 için 120 derece ve bobin 3 için 240 derece dönüş açısı)
(Ma ve diğ., 2019)

Bobin 2'nin P noktasında manyetik akı yoğunluğu hesaplanırken, Bobin 1 için düşünülen P (x, y) konumu, z eksenini etrafında saat yönünde 120 derece döndürülerek bobin 2 için P1'e (x1, y1) olarak verilir. Döndürme formülü eşitlik (4) ile ifade edilir.

$$(x, y)^* \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} = (x1, y1) \quad (4)$$

burada $\delta = 2\pi/3$ yani 120 derecedir.

Bobin 1 için düşünülen P (x, y) konumu, z eksenini etrafında saat yönünde 240 derece döndürülerek bobin 3 için P1'e (x1, y1) olarak verilir. Döndürme formülü eşitlik (5) ile ifade edilir.

$$(x, y)^* \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} = (x1, y1) \quad (5)$$

burada $\delta = 4\pi/3$ yani 240 derecedir.

Bobin 1 için p1 kullanılarak manyetik akı yoğunluğu Bp1 = (Bp1_x, Bp1_y) elde edilir. bu sonuç 120 derecelik ($\delta = 2\pi/3$) döndürme açısı kullanılarak bobin 2 için B2 = (B2_x, B2_y) manyetik akı yoğunluğu elde edilir. Döndürme formülü eşitlik (6) 'deki gibidir.

$$(Bp1_x, Bp1_y)^* \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} = (B2_x, B2_y) \quad (6)$$

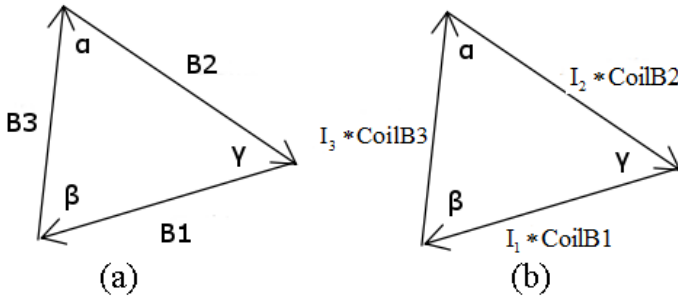
Bobin 1 için p2 kullanılarak manyetik akı yoğunluğu Bp2 = (Bp2_x, Bp2_y) elde edilir. Bu sonuç 240 derecelik ($\delta = 4\pi/3$) döndürme açısı kullanılarak B2 = (B2_x, B2_y) manyetik akı yoğunluğu elde edilir. Döndürme formülü eşitlik (7) 'deki gibidir.

$$(Bp2_x, Bp2_y)^* \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} = (B3_x, B3_y) \quad (7)$$

Böylece üç bobinin p noktasında sırasıyla B1, B2 ve B3 manyetik akı yoğunluğu elde edilebilir. P'nin xy düzleminde olduğu belirtildiğinden, z eksenini yönündeki manyetik akı yoğunluğunun bileşeni sıfırdır. B1, B2 ve B3 iki boyutlu vektörler olarak düşünülebilir.

2.2. Bobin akımlarının hesaplanması

B1, B2 ve B3 vektörlerinin P noktasında bileşkelerinin 0 olması demek üç vektörün Şekil 3 (a) 'da gösterildiği uç uca bir üçgen oluşturması anlamına gelir.



Şekil 3: Üç vektörün uç uca bir üçgen oluşturması

Eşitlik (8) sinüs teoreminden türetilecek olursa;

$$\frac{|B1|}{\sin \alpha} = \frac{|B2|}{\sin \beta} = \frac{|B3|}{\sin \gamma} \quad (8)$$

Biot-Savart yasasına göre, diferansiyel akım elemanı Idl 'in p noktasında $d\mathbf{B}$ diferansiyel manyetik akı yoğunluğunu ürettiği görülebilir. Akım değeri $d\mathbf{B}$ vektörünün yönünü etkilemez sadece boyutunu etkiler. Yönü belirleyen dl ve e_r 'nin vektörel çarpımıdır. Formül 2'den, akım değeri 1 iken sahip bobin 1'in manyetik akı yoğunluğu B ise akım I olduğunda manyetik akı yoğunluğunun $I*B$ olduğu görülebilir.

Manyetik akı yoğunluklarının (CoilB1, CoilB2 ve CoilB3) bobin akımları 1 iken hesaplanması hesap kolaylığı sağlar. Daha sonra $\sin\alpha$, $\sin\beta$ ve $\sin\gamma$ hesaplanır. Şekil 3b'de gösterilen üçgen kenarlarını temsil eden vektör toplamaları $I1 * CoilB1$, $I2 * CoilB2$ ve $I3 * CoilB3$ eşitlik (9) ile ifade edilebilir.

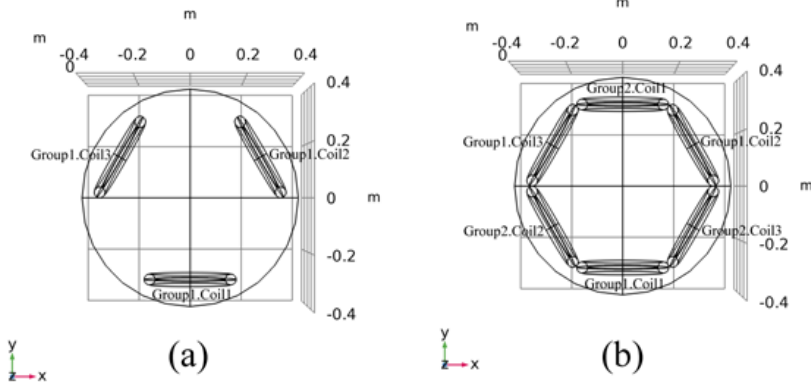
$$\frac{|I_1 * CoilB1|}{\sin \alpha} = \frac{|I_2 * CoilB2|}{\sin \beta} = \frac{|I_3 * CoilB3|}{\sin \gamma} \quad (9)$$

Eşitlik (9), eşitlik (10)'da gösterildiği gibi yeniden düzenlenebilir.

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{\sin \alpha |CoilB3|}{\sin \gamma |CoilB1|} : \frac{\sin \beta |CoilB3|}{\sin \gamma |CoilB2|} : 1 \quad (10)$$

3. Simulasyon yaklaşımı

Ma ve ark. her grubun 3 bobine sahip olduğu toplam 2 gruplu bir bobin tasarımı önermişlerdir (Ma ve diğ., 2019). Bobinin yarıçapı 0,15 m ve merkez dairenin yarıçapı 0,3 m'dir. İlk 3'lü bobin grubu xy düzlemine 120 derecelik açılarla yerleştirilmiştir (Şekil 4 (a)). İkinci üçlü bobin grubu, ilk bobin grubu 180 derece döndürerek elde edilir (Şekil 4 (b)).



Şekil 4: FFP için bobin gruplarının çalışma alanına yerleşimi.
(Ma ve diğ., 2019)

FFP'nin xy düzleminde (0,0), X eksenini (0.1,0), Y eksenini (0, 0.1) ve (0.1,0.1) noktalarında oluşturulması için gerekli akımlar hesaplanıp tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: FFP için bobin akımları (Ma ve diğ., 2019)

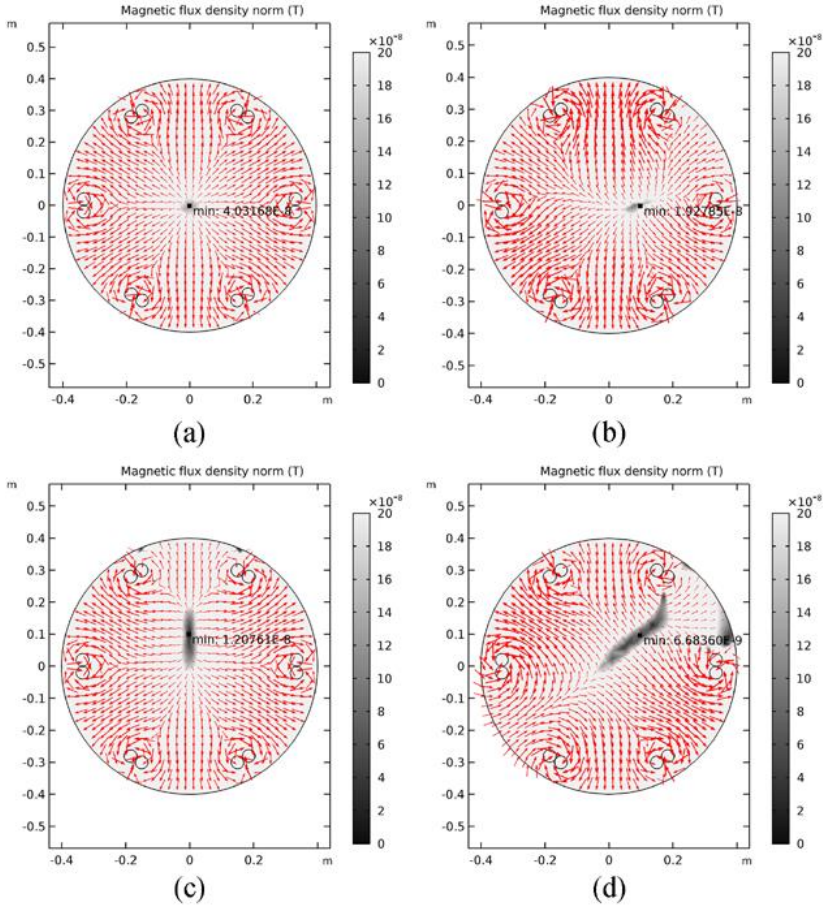
Pozisyon	Grup	Bobin1	Bobin2	Bobin3
(0,0,0)	1	1	1	1
	2	1	1	1
(0.1,0,0)	1	1,3141	0,6334	1
	2	2,0748	1,5789	1
(0,0.1,0)	1	0,7813	1	1
	2	0,3897	1	1
(0.1,0.1,0)	1	0,6223	0,2219	1
	2	0,5074	-0,1161	1

Analitik değerler Comsol simülasyon programında denenmiş ve sonuçlar tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Simülasyon ile FFP konumu ve büyüklüğü. (Ma ve diğ., 2019)

Ayarlı konum	Simülasyon konumu	Konum hatası	Manyetik alan
(0,0,0)	(-5. 63e-4, -1. 23e-3, 0)	(5. 63e-4, -1. 23e-3, 0)	4. 03e-8
(0.1,0,0)	(9. 81e-2, -1. 66e-3, 0)	(1. 90e-3, -1. 66e-3, 0)	1. 93e-8
(0,0.1,0)	(-2. 53e-3, 9. 96e-2, 0)	(2. 53e-3, 4. 00e-4, 0)	1. 21e-8
(0.1,0.1,0)	(9. 71e-2, 9. 73e-2, 0)	(2. 90e-3, 2. 70e-3, 0)	6. 68e-9

FFP için ayarlanan konumla simülasyon arasındaki sapma 3 mm aralığındadır. Hatanın kaynağı, simülasyon sırasında Simpson'ın sayısal entegrasyonu ve mesh işlemi olabilir.

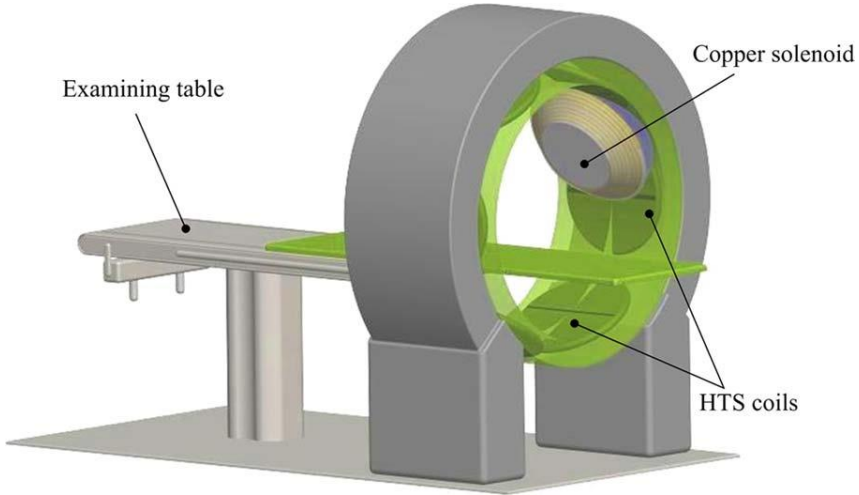


Şekil 5: FFP'nin seçilen konumlardaki durumu
(Ma ve diğ., 2019)

Şekil 5'te oluşturulan FFP'ler ve etrafındaki gradyan alanlar görülmektedir. Akımın artırılması durumunda FFP etrafındaki gradyan deseni değişecektir.

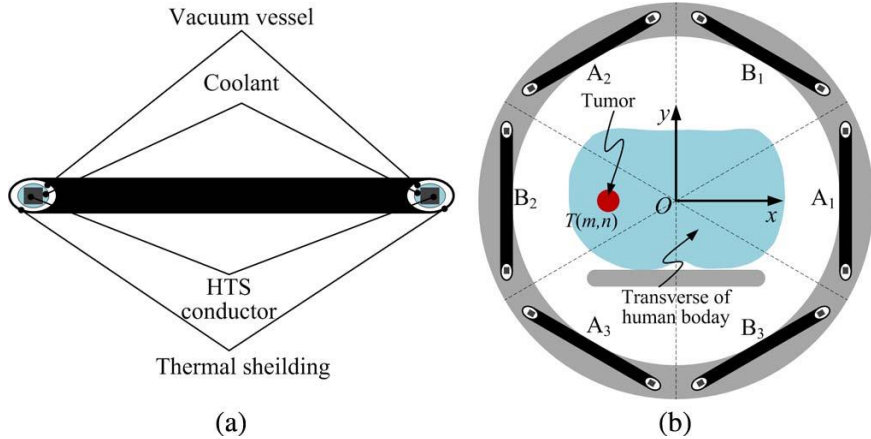
Jian ve ark. (Jian ve diğ., 2019) yaptıkları tasarımda yüksek sıcaklık süperilerken (HTS) bobinleri hastayı çevreleyen boşluğa simetrik olarak yerleştirmeyi önermişlerdir (bkz. Şekil 6). Bir alt katmanda ise alternatif manyetik alan (AMF) üretecek bakır bobinler bulunmaktadır. MFH sistemlerinde bakır bobinler (Tasci ve diğ., 2009) ve HTS bobinleri (Tosaka ve diğ., 2006) uygulama alanı bulabilir. Bakır bobinlerde rezistif enerji kaybı kaçınılmazdır. HTS bobinleri bakır bobinlerden daha büyük akımlar taşıyabilir

(Lee ve diğ., 2010) ve daha güçlü manyetik alan oluşturma potansiyeline sahiptirler.



Şekil 6: HTS ve bakır bobinlerden oluşan MFH sistemi tasarımı (Jian ve diğ., 2019)

HTS bobininin kesit görünüşü Şekil 7 (a)'da gösterilmektedir. HTS yapısı çift katmanlı Bi2223 telden oluşur ve her katman 50 şerite sahiptir. HTS bobininin yarıçapı 12.3 cm'dir. Altı HTS bobini A ve B olarak adlandırılan iki gruba ayrılmıştır (bkz. Şekil 7 (b)). Merkez noktasından HTS bobin plakalarına olan mesafe 290 mm'ye eşittir. Tedavi edilecek tümörün merkez noktası T ($m, n, 0$) olarak kabul edilir.

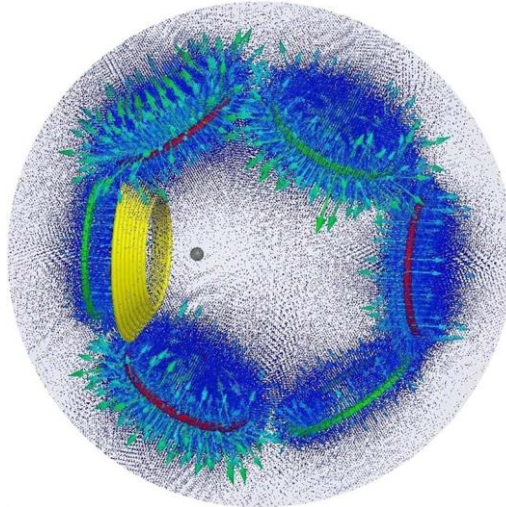


Şekil 7: (a) HTS bobini ve (b) HTS bobini dizisi. (Jian ve diğ., 2019)

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile hedef nokta T (-120, 0, 0) alınarak manyetik alan deseni analiz edilmiştir. Bobin akımları Tablo 3'de listelenmiştir. Manyetik akı yoğunluğunun dağılımı şekil 8 ile verilmiştir.

Tablo 3: Bobinlere verilen DC ve AC akımlar (Jian ve diğ., 2019)

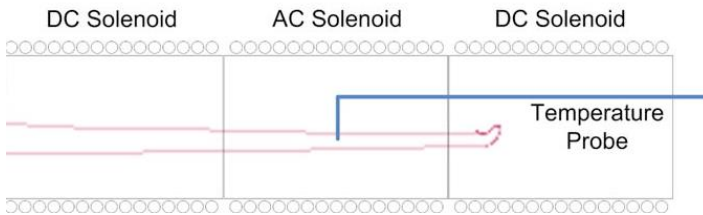
HTS bobin dizisi	I_{A1}	+112,17 A
	I_{A2}	-150 A
	I_{A3}	-150 A
	I_{B1}	+150 A
	I_{B2}	+79,92 A
	I_{B3}	+79,92 A
Bakır Solenoid	$I_{bakır}$	5 A
	frekans	150 kHz



Şekil 8: Manyetik akı yoğunluğu dağılımı (Jian ve diğ., 2019)

4. Deneysel yaklaşım

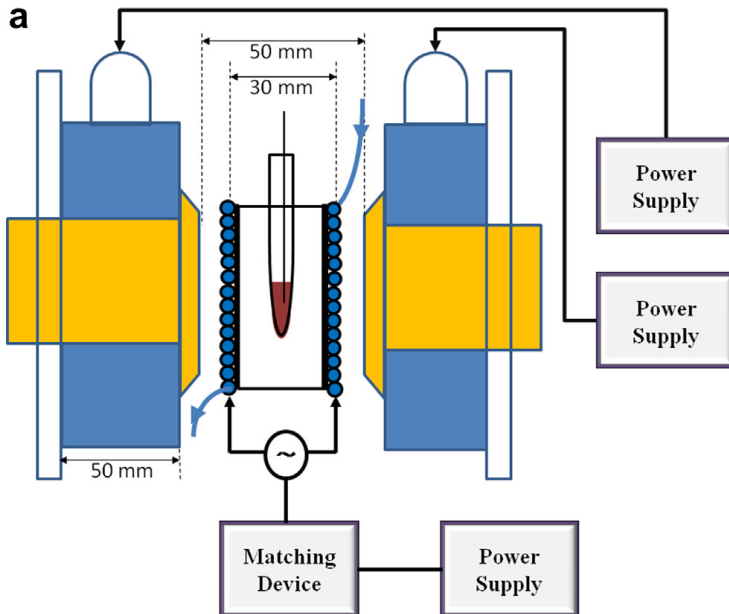
Tasci ve ark. (Tasci ve diğ., 2009), statik manyetik alan kaynağı olarak bobinler kullanarak FFP üretilmesine ilişkin deneysel bir yaklaşım sunmuşlardır (bkz. Şekil 9).



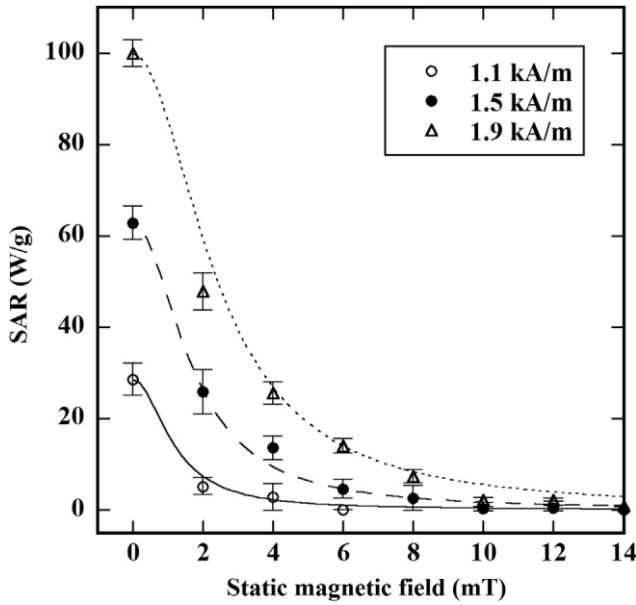
Şekil 9: Deney düzeneği şematik gösterim (Tasci ve diğ., 2009)

Bobinlerin boyutları 60 mm uzunluğunda ve 29 mm çapındadır. Ortadaki bobine AC akım uygulanarak merkezde $H = 4.5 \text{ kA/m}$ 'lik ve $f = 80 \text{ kHz}$ 'de manyetik alan elde edilmiştir. Yanlardaki bobinlere DC akım uygulanarak merkezde FFP oluşturulmuştur. Eşit ama ters DC akımları sol ve sağ taraftaki iki bobin tarafından oluşturulan statik manyetik alan (SMF) vektörleri merkez noktada birbirini nötralize eder. FFP'nin içindeki MNP'ler AMF tarafından salınım yaptırılır. FFP'nin dışındaki MNP'ler, SMF'nin AMF üzerindeki baskın gücü nedeniyle salınım yapamaz ve ısınma çevrede gerçekleşmez. Bu uygulamada ısınmayı çok küçük bölgelere FFP sayesinde odaklayacak bir yöntem önerilmiştir. Böylece tümörü çevreleyen sağlıklı dokuların ısıtma riski azaltılarak MFH tedavisine daha gelişmiş bir yaklaşım sunulmuştur. Bu kurulumda AMF ve SMF aynı yönde uygulanmıştır.

Murase ve ark. (Murase ve diğ., 2013)] ise benzer bir kurulumda SMF'yi AMF'nin dik yönünde kullanmışlardır (bkz. Şekil 10 a). Uygulanan statik manyetik alan 0 ila 8 mT arasındadır. AMF 1.1 kA/m, 1.5 kA m ve 1.9 kA/m'lik farklı genliklerde ve 600 kHz'lik sabit frekansa sahiptir. SMF arttıkça ısınma verimliliğini temsil eden SAR değerinin sönümlendiği görülmüştür. (bkz. Şekil 10 b). Spesifik soğurma oranı (SAR), ortaya çıkan ısıtma gücünün MNP'lerin (mMNP) kütesine oranıdır.



Şekil 10(a): Deney düzeneği şematik gösterim.
(Murase ve diğ., 2013)



Şekil 10(b): SMF ile SAR sönümlenmesi
(Murase ve diğ., 2013)

5. Sonuçlar

Biot-Savart yasası bobinler arasındaki konumsal ilişkiye dayanarak FFP çeşitli bobin dizileri tarafından oluşturulabilmektedir. Analitik yöntemle manyetik akı yoğunlukları ve bobinlere uygulanması gereken akımlar hesaplanabilir. FEM simülasyonları bobin performansını simüle etmek için kullanılır.

Sonuçlar önerilen sistemlerin biyoelektromanyetik uygulamalar için manyetik alan deseni oluşturma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Üretilen manyetik alan desenleri homojen manyetik alan ve statik manyetik alansız bölge gibi çeşitli gereksinimler için kullanılabilir. Örneğin biyoelektromanyetik uygulamalardan yeni nesil hedeflenmiş manyetik sıvı hipertermi sistemi için manyetik desen oluşturma yöntemleri analiz edilmiştir.

6. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: E-EEEEAG-215E107 ve Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP), Proje No: 2018/026 ve Proje No: 2018/126 tarafından desteklenmiştir.

7. Kaynaklar

- Astefanoaei, I., Dumitru, I., Chiriac, H., & Stancu, A. (2014). Controlling temperature in magnetic hyperthermia with low Curie temperature particles. *Journal of Applied Physics*, 115(17), 17B531.
- Du, Z., Sun, Y., Liu, J., Su, R., Yang, M., Li, N., ... & Ye, N. (2018). Design of a temperature measurement and feedback control system based on an improved magnetic nanoparticle thermometer. *Measurement Science and Technology*, 29(4), 045003.
- Gleich, B., & Weizenecker, J. (2005). Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles. *Nature*, 435(7046), 1214-1217.
- Hensley, D., Tay, Z. W., Dhavalikar, R., Goodwill, P., Zheng, B., Rinaldi, C., & Conolly, S. (2017, February). A theranostic platform for localized magnetic fluid hyperthermia and magnetic particle imaging. In *Energy-based Treatment of Tissue and Assessment IX* (Vol. 10066, p. 1006603). International Society for Optics and Photonics.
- Hensley, D., Tay, Z. W., Dhavalikar, R., Zheng, B., Goodwill, P., Rinaldi, C., & Conolly, S. (2017). Combining magnetic particle imaging and magnetic fluid hyperthermia in a theranostic platform. *Physics in Medicine & Biology*, 62(9), 3483.
- Jian, L., Shi, Y., Liang, J., Liu, C., & Xu, G. (2012). A novel targeted magnetic fluid hyperthermia system using HTS coil array for tumor treatment. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 23(3), 4400104-4400104.
- Jordan, A., Wust, P., Föhling, H., John, W., Hinz, A., & Felix, R. (2009). Inductive heating of ferrimagnetic particles and magnetic fluids: physical evaluation of their potential for hyperthermia. *International journal of hyperthermia*, 25(7), 499-511.
- Kandasamy, G., Sudame, A., Bhati, P., Chakrabarty, A., Kale, S. N., & Maity, D. (2018). Systematic magnetic fluid hyperthermia studies of carboxyl functionalized hydrophilic superparamagnetic iron oxide nanoparticles based ferrofluids. *Journal of colloid and interface science*, 514, 534-543.
- Lee, C. Y., Jo, J. M., Kang, B., Han, Y. J., Bae, D. K., Yoon, Y. S., ... & Ko, T. K. (2010). Conceptual design for HTS coil in superconducting electromagnet for Maglev. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, 21(3), 1560-1563.

- Ma, J., Zhang, S., Su, R., Du, Z., Zhang, G., Chen, H., & Shan, S. (2019, March). Analytical calculation method of free static magnetic field point in magnetic signal measurement. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1176, No. 5, p. 052076). IOP Publishing.
- Murase, K., Takata, H., Takeuchi, Y., & Saito, S. (2013). Control of the temperature rise in magnetic hyperthermia with use of an external static magnetic field. *Physica Medica*, 29(6), 624-630.
- Pavel, M., & Stancu, A. (2009). Ferromagnetic nanoparticles dose based on tumor size in magnetic fluid hyperthermia cancer therapy. *IEEE Transactions on magnetics*, 45(11), 5251-5254.
- Tang, Y., Jin, T., & Flesch, R. C. (2017). Numerical temperature analysis of magnetic hyperthermia considering nanoparticle clustering and blood vessels. *IEEE Transactions on Magnetism*, 53(10), 1-6.
- Tasci, T. O., Vargel, I., Arat, A., Guzel, E., Korkusuz, P., & Atalar, E. (2009). Focused RF hyperthermia using magnetic fluids. *Medical physics*, 36(5), 1906-1912.
- Tay, Z. W., Chandrasekharan, P., Chiu-Lam, A., Hensley, D. W., Dhavalikar, R., Zhou, X. Y., ... & Conolly, S. M. (2018). Magnetic particle imaging-guided heating in vivo using gradient fields for arbitrary localization of magnetic hyperthermia therapy. *ACS nano*, 12(4), 3699-3713.
- Tosaka, T., Ohtani, Y., Ono, M., Kuriyama, T., Mizumaki, S., Shibui, M., ... & Yoshida, Z. (2006). Development of persistent-current mode HTS coil for the RT-1 plasma device. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 16(2), 910-913.
- Xie, D., Zhang, P., & Cheng, J. J. (2013). Simulation Research on One-Dimensional Magnetic Particle Imaging [J]. *Computer Simulation*, 30(9), 410-414.
- Yang, J. R., Cheng, Y. F., Mao, R. H., & ZHOU, T. (2016). Magnetic Field of Circular Current by Simpson Integral Method [J]. *Journal of Shangrao Normal University*, (6), 5.

11

Eksenel Hizalanmış Bobin Dizileri ile Manyetik Alan Oluşturma (Serhat Küçükdermenci)

Eksenel Hizalanmış Bobin Dizileri ile Manyetik Alan Oluşturma

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü, kucukdermenci@balikesir.edu.tr

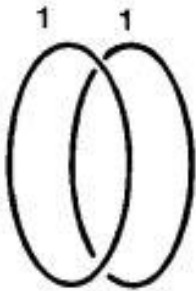
1. Giriş

Düzgün manyetik alanlar birçok bilimsel uygulama için önemli bir ihtiyaçtır. Bu uygulamalar arasında biyoelektromanyetik alanındaki in vitro deneyler (Malmivuo ve diğ., 1995) ve manyetik alan sensörlerinin ve problemlerinin kalibrasyonu (Bronaugh ve diğ., 1995) sayılabilir. Deneylerin güvenilirliği manyetik alan dağılımı ve homojenliği gibi faktörlere bağlıdır. Helmholtz bobini homojen manyetik alan üretmek için çok yaygın olarak kullanılan bir bobin sistemidir.

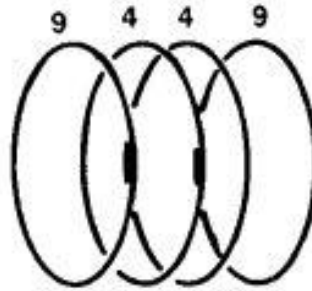
Helmholtz bobinindeki homojen çalışma bölgesi bazı uygulamalarda yeterince büyük olmayabilir. Farklı boyut, şekil ve sayıda bobin içeren bobin sistemleri daha büyük homojen bölgeler üretmek için önerilmiştir (Gottardi ve diğ., 2003; Wang ve diğ., 2002; Alzate-Cardona ve diğ., 2019).

Örneğin Ruben bobinleri (Rubens ve diğ., 1945) beş kare bobinden oluşmaktadır. Merritt (Merritt ve diğ., 1983) ise dört veya üç kare bobin içerir. Farklı kombinasyonlarda ü, (Barker ve diğ., 1950; Wang ve diğ., 2002) ,dört (Alldred ve diğ., 1967; Gottardi ve diğ., 2003) veya daha fazla sayıda bobin alternatifleri de vardır.

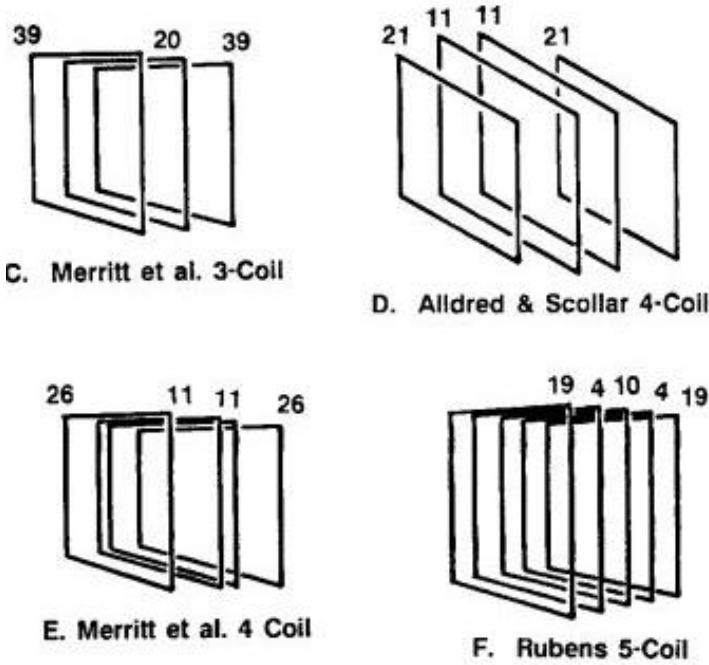
Dairesel Helmholtz ve Lee-Whitting bobinleri şekill a ve b'de gösterilmiştir. Buna göre Helmholtz bobini 2 dairesel bobinden ve Lee-Whitting bobinleri 4 dairesel bobinden oluşturulmuştur. Merritt, Aldred ve Rubens bobin örnekleri de şekil 1 c, d, e ve f'de gösterilmiştir. Bobinlerin yakınındaki tamsayılar döngüdeki önerilen amper sarım sayısı ile orantılıdır.



A. Helmholtz



B. Lee-Whitting 4-Coil



Şekil 1: Çeşitli bobin tasarımlarının şematik çizimleri
 a) Dairesel Helmholtz ve b) Lee-Whitting bobinleri
 c) Merritt 3'lü d) Alldred e) Merritt 4'lü f) Rubens
 (Kirschvink ve diğ., 1992)

Bu çalışmada eksenel konumlanmış bobin dizilerinin karşılaştırılması analitik, simülasyon ve deneysel olarak sunulmuştur.

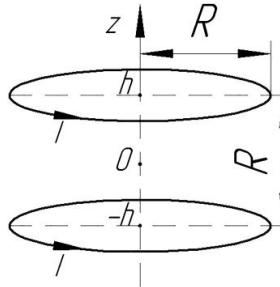
2. Analitik yaklaşım

İkili bobin sistemi: Tekil bobin tarafından oluşturulan manyetik akı yoğunluğu Biot-Savart yasasına (Jiles ve diğ., 2015) göre eşitlik (1) ile ifade edilir. Burada hedef nokta merkez kaynak noktadan z mesafe ötededir.

$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2 \left[R^2 + (z - h)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

burada μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği, N bobin sarım sayısı, I birimi amper olan bobinden akan akım, R birimi metre olan bobin yarıçapı, h birimi metre olan bobin merkezi ile koordinat sistemi merkezi arasındaki mesafedir.

Helmholtz bobinleri iki dairesel bobin tarafından oluşturulur (bkz. Şekil 2). Bu bobinler R yarıçapına sahiptir ve aralarındaki mesafe R birimdir.



Şekil 2: Helmholtz bobin gösterimi (Zatonov ve diğ., 2018)

Helmholtz bobini için manyetik akı yoğunluğu eksenel yönde eşitlik (2) ile ifade edilir. Burada $2h = R$ durumu göz önüne alınmıştır.

$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left\{ \left[R^2 + \left(z + \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(z - \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (2)$$

Sistemin ortasındaki alanın homojenliği $B(z)$ 'nin ardışık türevleri ile ele alınır. Bobinler birbirinden R mesafede olduğunda sistemin merkezindeki ikinci türev sıfır olur. Yani Taylor serisinin ikinci elemanı sıfıra eşit olmalıdır. Bu durum $z = 0$ koşulunda eşitlik (3) ile ifade edilir.

$$B^{(2)}(0) = 0 \quad (3)$$

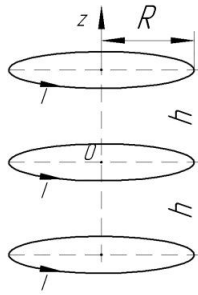
Eşitlik (2) ve eşitlik (3) göz önüne alarak eşitlik (4) elde edilir;

$$\frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left[\frac{30h^2}{(R^2 + h^2)^{\frac{7}{2}}} - \frac{6}{(R^2 + h^2)^{\frac{5}{2}}} \right] = 0 \quad (4)$$

Eşitlik (4)'ün çözümü için $2h$ 'nin R 'ye eşit olduğu durum ele alınır. Böylece Helmholtz bobinlerinde eksenel yönde manyetik akı yoğunluğunun hesaplanması için ifade eşitlik (5)'deki halini alır;

$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left\{ \left[\left(z + \frac{R}{2} \right)^2 + R^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[\left(z - \frac{R}{2} \right)^2 + R^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (5)$$

Üçlü bobin sistemi: Şekil 3'de gösterilen üçlü bobin, Helmholtz bobin çiftinin geliştirilmiş halidir (Hosoya ve diğ., 1991)



Şekil 3: Üçlü bobin sistemi (Zatonov ve diğ., 2018)

Üçlü bobin sistemi için manyetik akı yoğunluğu eşitlik (6) ile ifade edilir;

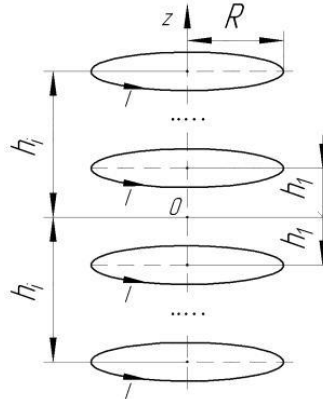
$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left\{ k(z^2 + R^2)^{-\frac{3}{2}} + \left[(z+h)^2 + R^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[(z-h)^2 + R^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (6)$$

Orta bobindeki sarım sayısını tanımlayan katsayı k ile ifade edilir. Üçlü bobinler tarafından üretilen manyetik akı yoğunluğunun homojenlik sınır şartları eşitlik (7) ile ifade edilir;

$$B^{(2)}(0) = 0 \quad (7)$$

$$B^{(4)}(0) = 0$$

Çoklu bobin sistemi: 4 veya daha fazla bobinden oluşmuş sistemler çoklu bobin sistemi olarak adlandırılabilir. Şekil 4’de 4 bobinden oluşan bir çoklu bobin sistemi gösterilmiştir.



Şekil 4: Dört bobinden oluşmuş çoklu bobin sistemi (Zatonov ve diğ., 2018)

Eşitlik (8), çok bobinli sistem için manyetik akı yoğunluğunu hesaplar. Hesaplanan manyetik akı yoğunluğu eksenel yöndedir.

$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left\{ \begin{aligned} & (z^2 + R^2)^{\frac{3}{2}} + \\ & k_1 \left[(z + h_1)^2 + R^2 \right]^{\frac{3}{2}} + k_1 \left[(z - h_1)^2 + R^2 \right]^{\frac{3}{2}} + \\ & \dots + \\ & k_n \left[(z + h_n)^2 + R^2 \right]^{\frac{3}{2}} + k_n \left[(z - h_n)^2 + R^2 \right]^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Burada k_i , i numaralı bobindeki sarım sayısını tanımlayan katsayı ve h_i bobin merkezi ile orijin arasındaki mesafedir. Denklem setinin ilk elemanı bobinlerin çift sayıda olması durumunda sıfıra eşittir. $n/2$ sayıda bobin çifti tarafından oluşturulan manyetik alanın homojenliği için eşitlik (9)'daki sınır koşulları sağlanmalıdır.

$$\left\{ \begin{aligned} & B^{(2)}(0) = 0 \\ & \dots \\ & B^{(2(n-1))}(0) = 0 \end{aligned} \right. \quad (9)$$

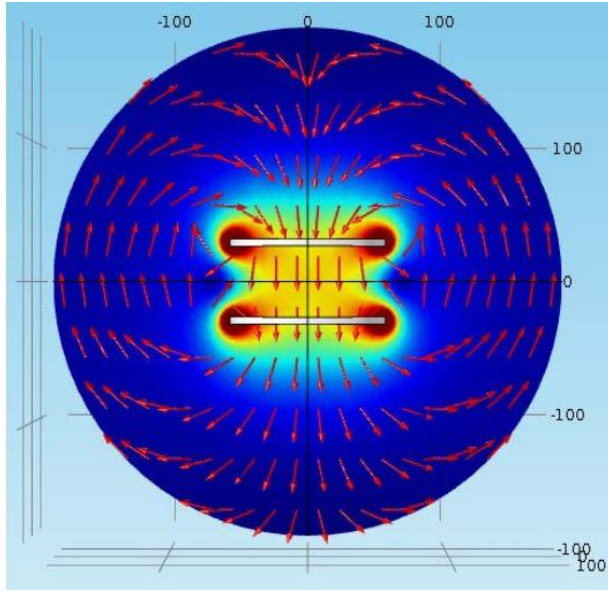
Bobin sistemlerinin z yönünde manyetik akı yoğunluğunun bağlı inhomojenitesi eşitlik (10) ile ifade edilir.

$$\delta_z = \frac{B(z) - B(0)}{B(0)} \cdot 100\% \quad (10)$$

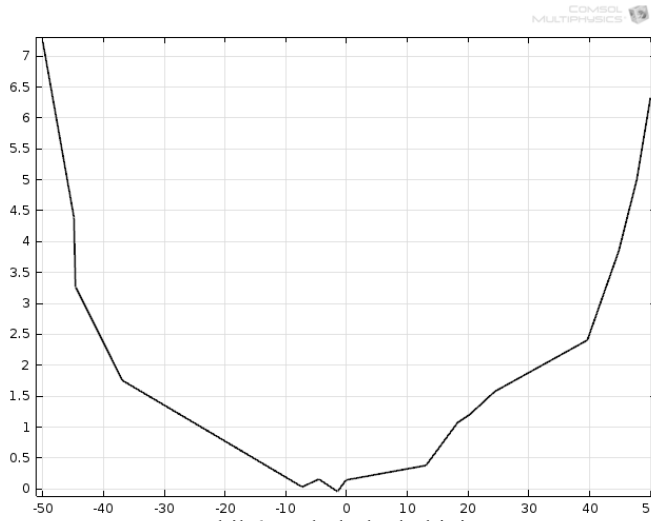
Analitik hesaplamada bobin kalınlıkları yokmuş gibi hesap yapılır oysa gerçek bobinler sarım kalınlığına sahiptir. Bu yüzden gerçek ölçümler hesaplamadan farklı olabilir. Sonlu eleman yöntemi simülasyonları ve deneysel yaklaşımlar alternatif olarak denenebilir.

3. Simülasyon yaklaşımı

İkili bobin sistemi modellemesi: DC 0.05 A'lık kaynakla beslenen Helmholtz bobinlerinin oluşturduğu manyetik akı yoğunluğu eksenel yön için şekil 5'de gösterilmiştir. Helmholtz bobini manyetik akı yoğunluğu inhomojenitesi şekil 6'da gösterilmiştir

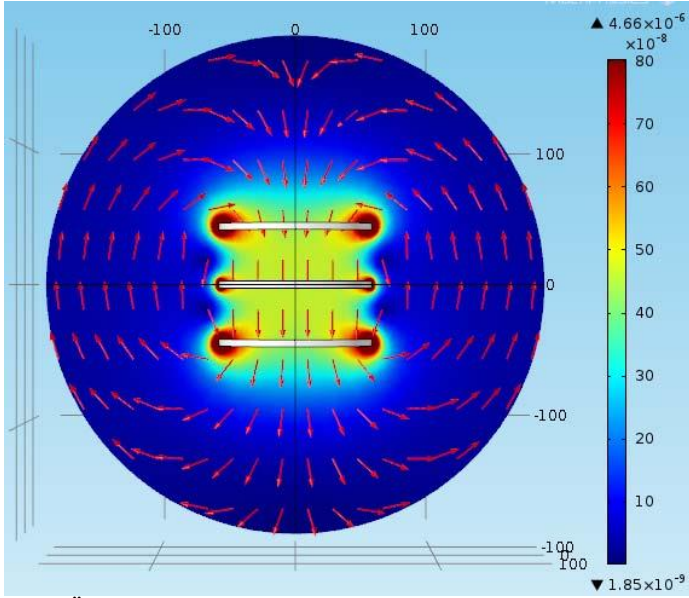


Şekil 5: Helmholtz bobini manyetik akı yoğunluğu simülasyonu (Baranova ve diğ., 2014)

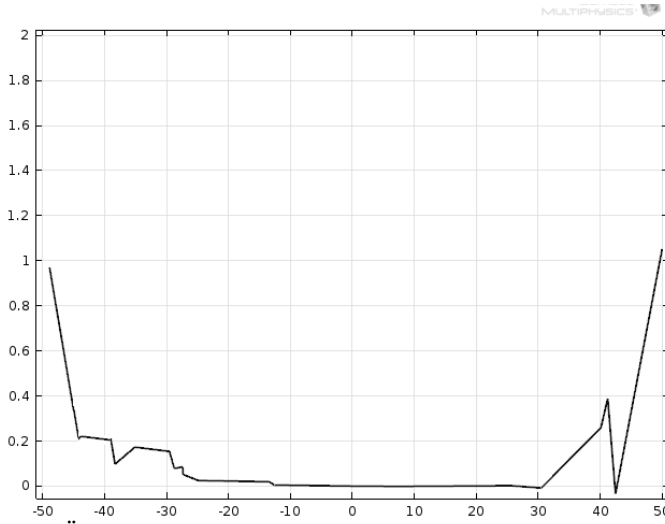


Şekil 6: Helmholtz bobinin manyetik akı yoğunluğu inhomojenitesi (Baranova ve diğ., 2014)

Üçlü bobin sistemi modellemesi: Üçlü bobin sisteminin simülasyon sonuçları Şekil 7’de gösterilmektedir. Simülasyonlar aksenal yön için DC 0.05 A’lık kaynak şartlarında yapılmıştır. Üçlü bobin sisteminin manyetik akı yoğunluğu inhomojenitesi şekil 8’de gösterilmiştir

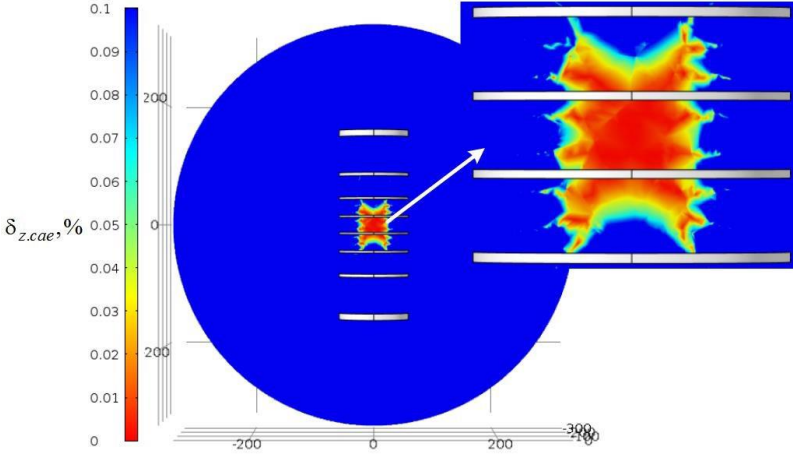


Şekil 7: Üçlü bobin sistemi için manyetik akı yoğunluğu simülasyonu (Baranova ve diğ., 2014)



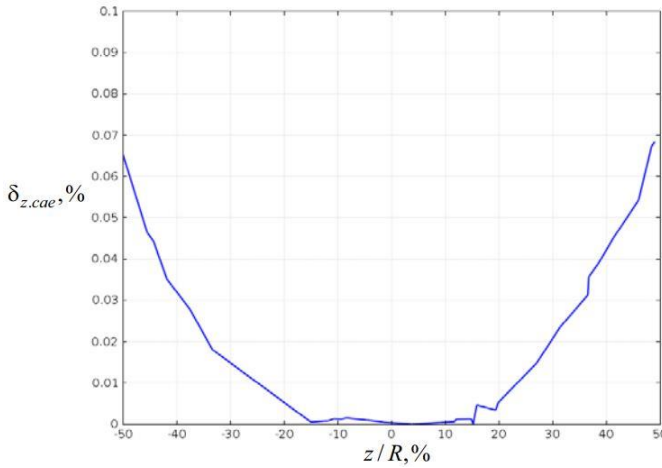
Şekil 8: Üçlü bobin sisteminin manyetik akı yoğunluğu inhomojenitesi (Baranova ve diğ., 2014)

Çoklu bobin sistemin modellenmesi: 8 bobinli sistem simülasyonunun 0.001 A DC akım için sonuçları şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9: Manyetik akı yoğunluğu dağılımı
(Baranov ve diğ., 2016)

Manyetik akı yoğunluğu inhomjenitesi Şekil 10'da gösterilmiştir.



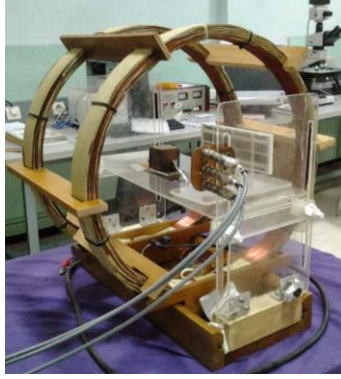
Şekil 10: Çoklu bobin sisteminin manyetik akı yoğunluğu inhomojenitesi
(Baranov ve diğ., 2016)

8 bobinli sistemin modelleme sonuçları manyetik akı homojenliğinin %0.07'den az olmadığını göstermiştir. Bu sonuçlar 55 mm yarıçaplı 8 bobin sisteminde sistem merkezinden $R/2$ 'ye kadar olan mesafeler için geçerlidir.

4. Deneysel yaklaşım

Merah ve ark., 10 Amper akıma ve 150 °C sıcaklığa dayanacak şekilde bir Helmholtz bobini tasarlamıştır (Merah ve diğ., 2017). Her bir bobin 268 tur sarıma sahiptir ve 445 mm çapındadır. Şekil 11 Helmholtz bobin yapısını göstermektedir.

Sarım için seçilen tel tipi 16SWG bakır teldir. Bobini sürmek için DC güç kaynağı kullanılmıştır ve üretilen manyetik alan Hall Effect gauss metre ile ölçülmüştür.



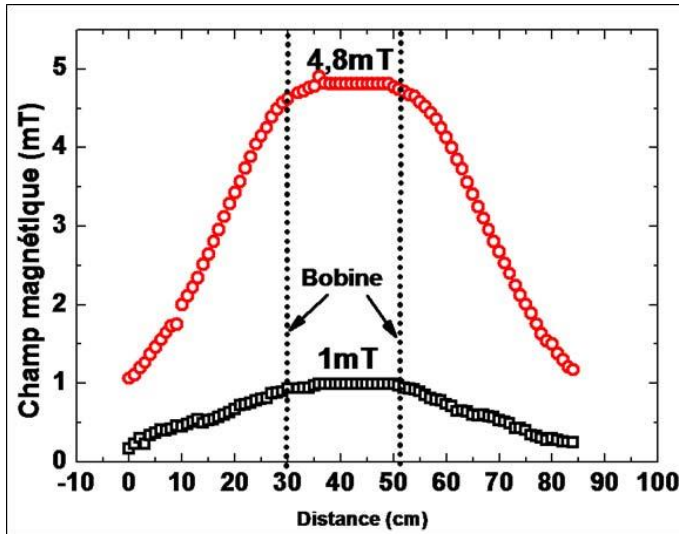
Şekil 11: Bir Helmholtz bobini uygulaması
(Merah ve diğ., 2017)

Tüm bobin özellikleri tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1: Bobin tasarım özellikleri

Özellik	Değer
Tip	3D
Bobin Başına Sarım Sayısı	268
Malzeme	Non-manyetik
Tel Tipi	16SWG
Bobin Çapı	44,5 cm
Bobin Eni	4,08 cm
Bobin Derinliği	2,04 cm
Bobin Ağırlığı	17,131 kg
Düzgün Man. Alan Kuvveti	100 Gauss
Toplam Direnç	7 ohm
Voltaaj	70 V

Bobine 1 A uygulanarak merkezde 10 Gauss ve 4,8 A akım uygulanarak 48 Gauss manyetik akı yoğunluğu elde edilmiştir (bkz. Şekil 12). Yaklaşık 22 cm genişlikte kullanılabilir homojen manyetik alan elde etmek için bobin yarıçapı 23,27 cm olarak seçilmiştir. Bu tasarım Metal Oksit Yarı İletken (MOS) cihazlarını etkileyebilecek Negatif Eğilim Sıcaklık İstikrarsızlığı (NBTI) bozunma mekanizmalarını incelemek için harici manyetik alan kaynağı olarak kullanılma amacıyla üretilmiştir.



Şekil 12: Manyetik akı yoğunluğunun x eksenı boyunca grafiksel gösterimi
(Merah ve diğ., 2017)

5. Sonuçlar

Bobin sistemleri arasında karşılaştırma yapılacak olursa bobin sayısının artması, manyetik alan homojenliğinin aksenel yönde genişlemesine izin verir. Böylece, homojen manyetik alan oluşturmak için dördü, altı ve sekizli bobin sistemleri de kullanılabilir. Bu homojenlik değerleri aksenel hizalanmış bobin dizilerinin birçok uygulamalarda kullanıma potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bu uygulamalar arasında biyoelektromanyetik testler, manyetik sensör ve manyetometrelerin test ve kalibrasyonları sayılabilir.

6. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: E-EEEAG-215E107 ve Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP), Proje No: 2018/026 ve Proje No: 2018/126 tarafından desteklenmiştir.

7. Kaynaklar

- Allred, J. C., & Scollar, I. (1967). Square cross section coils for the production of uniform magnetic fields. *Journal of Scientific Instruments*, 44(9), 755.
- Alzate-Cardona, J. D., Sabogal-Suárez, D., Torres, J., & Restrepo-Parra, E. (2019). MFV: Application software for the visualization and characterization of the DC magnetic field distribution in circular coil systems. *arXiv preprint arXiv:1904.04327*.

- Baranov, P., & Baranova, V. (2016). Modeling axial 8-coil system for generating uniform magnetic field in COMSOL. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 48, p. 03001). EDP Sciences.
- Baranova, V. E., & Baranov, P. F. (2014, November). The Helmholtz coils simulating and improved in COMSOL. In *2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)* (pp. 1-4). IEEE.
- Barker, J. R. (1950). An improved three-coil system for producing a uniform magnetic field. *Journal of Scientific Instruments*, 27(7), 197.
- Bronaugh, E. L. (1995, August). Helmholtz coils for calibration of probes and sensors: limits of magnetic field accuracy and uniformity. In *Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 72-76). IEEE.
- Gottardi, G., Mesirca, P., Agostini, C., Remondini, D., & Bersani, F. (2003). A four coil exposure system (tetracoil) producing a highly uniform magnetic field. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 24(2), 125-133.
- Hosoya, M., & Goto, E. (1991). Coils for generating uniform fields in a cylindrical ferromagnetic shield. *Review of scientific instruments*, 62(10), 2472-2475.
- Jiles, D. (2015). *Introduction to magnetism and magnetic materials*. CRC press.
- Kirschvink, J. L. (1992). Uniform magnetic fields and double-wrapped coil systems: Improved techniques for the design of bioelectromagnetic experiments. *Bioelectromagnetics*, 13(5), 401-411.
- Malmivuo, P., Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism: principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. Oxford University Press, USA.
- Merah, S. M., & Nadji, B. (2017, October). Development and design of Helmholtz coil for NBTI degradation studies. In *2017 5th International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B)* (pp. 1-5). IEEE.
- Merritt, R., Purcell, C., & Stroink, G. (1983). Uniform magnetic field produced by three, four, and five square coils. *Review of Scientific Instruments*, 54(7), 879-882.

- Obungoloch, J., Harper, J. R., Consevage, S., Savukov, I. M., Neuberger, T., Tadigadapa, S., & Schiff, S. J. (2018). Design of a sustainable prepolarizing magnetic resonance imaging system for infant hydrocephalus. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, 31(5), 665-676.
- Rubens, S. M. (1945). Cube-surface coil for producing a uniform magnetic field. *Review of Scientific Instruments*, 16(9), 243-245.
- Wang, J., She, S., & Zhang, S. (2002). An improved Helmholtz coil and analysis of its magnetic field homogeneity. *Review of scientific instruments*, 73(5), 2175-2179.
- Zatonov, I., Baranov, P., & Kolomeycev, A. (2018). Magnetic field computation and simulation of the coil systems using Comsol software. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 160, p. 01006). EDP Sciences.

CHAPTER

12

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Effect of Antioxidants from Brassica napus Genotypes on
Glucose Oxidase and Catalase Activities in *Galleria
mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) (Rahile Ozturk,
Esra Maltas Cagil)**

Effect of Antioxidants from *Brassica napus* Genotypes on Glucose Oxidase and Catalase Activities in *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae)

Rahile Ozturk¹, Esra Maltas Cagil²

¹Selcuk University, Faculty of Science, Department of Biology, 42075, Konya, TURKEY,
E-mail: rozturk@selcuk.edu.tr

²Selcuk University, Faculty of Pharmacy, 42075, Konya, TURKEY,
E-mail: esramaltas@gmail.com

Diet is effective on biochemical metabolism of insect. In this study, effect of antioxidants on enzyme activities of *Galleria mellonella* was studied. The insect was fed with different amount of two different antioxidants such as quercetin and cinnamic acids. In addition to these antioxidants, the methanolic extracts of two *Brassica napus* (Canola) genotypes were examined for the insect metabolism. The results showed that quercetin and cinnamic acid decreased catalase (CAT) and glucose oxidase (GOX) activities. However, both enzyme activities of the insect were increased by the extracts of two canola genotypes.

1.INTRODUCTION

Phytochemicals are secondary metabolites synthesized by only plant genomes. They vary greatly related to the plant species, the seed varieties or the cultivars (Maltas and Vural, 2013; Maltas et al, 2011a). The medicinal effect of plant depends on variation of the phytochemicals such as phenolic acids, polyphenols and flavonoids. Their protective effect attributed to antioxidant activity. They inhibit free radicals naturally formed in the metabolic pathways of the living systems. They also scavenge lipid oxidation by decomposition of the free radicals associated with many diseases including immune deficiency diseases, diabetes mellitus, atherosclerosis and different cancer types (Vaya and Aviram, 2001; Wava and Ou, 2002; Halliwell and Gutteridge, 1989).

Brassica napus is an important source of vegetable oil and is the second largest oilseed crop after soybean (FAO, 2007). Canola with low erucic acid is also one of *B. napus* genotypes which have several phytochemicals such as naringin, eriodictyol, *p*-coumaric acid and quercetin (Maltas et al., 2011b). It is a potential health benefit with its phenolic content on several diseases such as prevention of cancer, cardiovascular diseases and diabet by scavenging free radicals in human metabolism (Kim et al., 2003). Canola have widely used in

the production of animal feed because of high oil content. The properties of different canola species are the subject of the scientific and the industrial investigations (Maltas and Vural, 2013; Udaya et al., 1994; Lie-Zhao et al., 2006; Onay and Kockar, 2006). The identification of novel seed by combining the biochemical analysis and the chemical composition could play an important role in the biochemical and the biotechnological researches to improve quality of the plants. Especially, the study on the living organism like rat and insect is essential in order to control safety of seeds for human health.

Invertebrate models are valuable tools in the study of pathogenesis of human diseases. Insects are widely used as a useful model for evaluating the plant material against a range of human diseases due to the functional and the structural similarities between immune systems of insects mammals (Renwick et al., 2006; Champion et al., 2009; Fuchs et al., 2010; Durmus and Büyüküzgel, 2008). *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae), is one of the model insect which is the greater wax moth. It is major pest whose larvae feed on combs, wax, and honey (Rawil et al., 2011; Martins et al., 2012; Marei et al., 2009).

A large amount of studies have described the physiological effects of extracts from the plant extracts on the larval development, the fecundity and the fertility of velvetbean of several insects such as *Anticarsia gemmatilis*, *Spodoptera littoralis*, *Plodia interpunctella* and *Culex pipiens* (Marei et al., 2009; Ghasemi et al., 2010; Assar et al., 2012). Plant extracts in diet also led to changes on the biochemical characters of the insects. Especially, enzyme activity and protein expression depend on diet of insects.

In this study, *G. mellonella* was fed with different amount of canola extracts named Evrol and California, and two different phytochemicals like quercetin and cinnamic acids. The biochemical effects of these phytochemicals and the extracts were investigated by using several methods for determination of glucose and catalase activities. Intake of the antioxidant to insect body by diet was confirmed by using DPPH method.

2. MATERIALS and METHODS

2.1. Preparation of crude extract

The seeds of two *Brassica napus* genotypes, named evrol and california, were provided by the Faculty of Agriculture, Selcuk University, Konya, Turkey. The plant materials were cleaned, washed, dried and carefully ground by blender. All samples were kept in tightened light protected containers. These seeds were powdered before experiments. Dried seeds (20 g) were powdered and extracted with 500 mL of methanol for 6 h at 30°C using an orbital shaker. After filtration through a filter paper (Whatman No. 1), the

solvent was evaporated under vacuum and then dried at -50°C in a lyophilizer (Maltas and Yildiz, 2012). Resulting extracts, evrol canola extract (yield 17%, w/w) and California canola extract (yield 13%, w/w) were stored at 4°C.

2.2. Insect

The *G. mellonella* males (2 days old) were obtained from the laboratory colonies. Laboratory colonies of the host species, *G. mellonella*, were established from individuals. Adult parasitoids were fed a 30% (v/v) honey solution.

2.3. High performance liquid chromatography

A Shimadzu 1100 series HPLC equipped with a SIL-10AD vp autosampler and LC-10Advp pump system, diode array detector and an Inertsil Agilent Eclipse XDB column (240 mm, 4.60 mm, 5 mm particle size) were used to analyze some phenolic acids and flavonoids in the extracts. HPLC analysis was done according to the method by Maltas *et al.*, (2011b). The antioxidant standards which were also analyzed were caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, eriodictiol, quercetin and naringenin (Sigma). The samples were run in triplicate.

2.4. DPPH analysis

0.1 g of the insect was homogenized in 1 mL of methanol. The homogenate was centrifuged at 10 000 rpm for 5 min at 4°C. The methanolic part was transferred to a new tube and then the pellet was discarded. The supernatant was stored at -20°C until DPPH analysis.

The scavenging activity was determined by the method described by Sanchez-moreno *et al.* (1998). According to the method, 0.5 mL of the extracts (0.1–0.5 mg mL⁻¹) were added to 3 mL of DPPH• (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl) solution in methanol. After 30 min of incubation time at room temperature in darkness, the absorbance was recorded at 517 nm by using Shimadzu 1700 UV-visible spectrophotometer (Kyoto, Japan). Inhibition of DPPH• (I%) was calculated as follows:

$$I\% = [(A_b - A) / A_b] \times 100$$

where A_b was the absorbance of the control reaction and A is the absorbance of the extracts or the standards. The samples were run in triplicate.

2.5. Feeding of insect

The laboratory colonies of *G. mellonella* established from egg to adult were fed with synthetic food prepared from Bronskill which was mixed with different amount of cinnamic acid, quercetin and the plant extracts (Bronskill,

1961). Five larvae per treatment group were exposed to all substances at concentrations of 20, 40 and 60 ppm for one week.

2.6. Preparation of crude enzymes

0.1 g of insect body was homogenized in 1 mL of 50 mM phosphate buffer (pH: 7.4). The homogenate was centrifuged at 10000 rpm for 10 min at 4°C. The supernatant was transferred to a new tube and pellet was discarded. The supernatant was stored at -20°C until further used.

2.7. Determination of protein concentration

Protein concentration was determined using Bradford (1976) method according to the manufacturer's instructions. The protein concentration extracted from the insect homogenate was calculated from standard curve equation of the BSA ($y = 16.073x + 0.447$, $r = 0.99$). The samples were run in triplicate.

2.8. Catalase activity

Catalase activity was measured via the decomposition of H_2O_2 according to the method by Aebi (1988). The assays were carried out at 240 nm in 0.1 M phosphate buffer, pH 7.0, with 30 mM H_2O_2 . One unit of catalase activity was calculated by using $D(2.3/dt) (\log A_1/A_2)$, dt is change in time, A_1 is initial absorbance, and A_2 is the absorbance after any time. The samples were run in triplicate.

2.9. Glucose oxidase activity

Glucose oxidase activity was determined according to the method described by Atalay and Yildiz (1989). The reaction mixture containing 0.15 mL of o-toluidine (0.075 mg mL^{-1}), 1.50 mL of ammonium molybdate (1%, w/v), 1.50 mL of potassium iodide (0.5%, w/v), β -D-glucose, 0.50 M, acetate buffer (pH: 5) and deionized water is prepared and then, this mixture was added to the insect homogenate to start the reaction. Absorbance change was detected at 650 nm during one hour. The samples were run in triplicate.

3. RESULTS and DISCUSSION

3.1. Chromatographic analysis

Several phenolic acids and flavonoids of the extracts from *Brassica napus* genotypes were identified by HPLC. According to the Table 1, ferulic acid was main phenolic acid in the methanolic extracts of both genotypes. The amount was determined to be as 626.1 and $284.0 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ crude extracts for evrol and california canola, respectively. As flavonoid, quercetin (44.7 and $49.5 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ crude extract) was also detected in the methanolic extracts for evrol and

california canola. Where *p*-coumaric acid and cinnamic acid were also identified, caffeic acid and naringenin were not detected in both extracts.

Table 1. Analysis of phytochemicals from the methanolic extracts of canola genotypes

Amount, μg	Caffeic acid	<i>p</i> -coumaric acid	ferulic acid	Eriodictiol	Cinnamic acid	Quercetin	Naringenin
Canola evrol, g	ND	48.1	626.1	ND	23.8	44.7	ND
Canola California, g	ND	34.9	284.0	ND	14.9	49.5	ND

According to the HPLC analysis of the seeds, the detected phenolics are basically same while their amounts varied in canola genotypes, suggested their expression changed related to the canola genotypes in DNA levels (Maltas and Vural, 2013). Such data confirmed that the amount of the phenolics in the extracts may depend on several factors such as climate, cultivation condition, and especially, gene expression regards to the phenolics which is involved the biosynthetic pathways of the antioxidants in the plants (Maltas and Yildiz, 2011b). In this study, effect of the methanolic extracts of two canola genotypes were investigated on the enzyme activities of *G. mellonella* which fed with the plant extracts including many phytochemicals such as phenolic acids, polyphenolics and flavonoids in their nature. Moreover, *G. mellonella* also fed with cinnamic acid as phenolic acids and quercetin as flavonoid in order to explain action mechanism of antioxidants since the methanolic extracts of the seeds are phytochemicals-rich. These standards with different amounts were also detected in both canola genotypes. *p*-coumaric acid, naringenin, eriodictyol and ferulic acid were also detected in both of them, suggesting that they also contributed to glucose metabolism and antioxidant defense system of the insect.

3.2. DPPH analysis

When the insect fed with these antioxidants, intake of the diet was proved by using DPPH method. DPPH• is a stable free radical that accepts an electron or a hydrogen radical to become a stable molecule (Afanas et al., 1989). DPPH• radical scavenging method, one of the methods widely used in determining the antioxidant activity, is an easy, rapid and sensitive way to survey the antioxidant activity of the phenolic compound or the plant extracts (Koleva et al. 2002). Intake of the antioxidants like cinnamic acids, *p*-coumaric acid and quercetin in the plant extracts to the insect's body by diet was confirmed with the analysis of DPPH• radical scavenging activity. For this aim, *G. mellonella* was fed with different amount of free phenolics such as cinnamic acids and quercetin and the methanolic extracts of both canola genotypes at concentrations of 20, 40 and 60 ppm. The homogenate of *G. mellonella* in

methanol was mixed with DPPH[·] radical. Inhibition percentage of DPPH[·] by the homogenate was calculated in terms of absorbance change at 517 nm. According to the results, DPPH[·] scavenging activities of the insects were found to be 49.15 and 40.44% for quercetin and cinnamic acid at a concentration of 60 ppm in the diet whereas that of control was 20.82 %. Inhibition of DPPH[·] radical was estimated as 59.22 and 52.36 % at the same concentration of the extracts in the diet for evrol and california canola, respectively (Table 2). Data also showed that inhibition of DPPH[·] radical increased by increase of the antioxidants in the diet (Figure 1). In this study, DPPH method was used to confirm intake of the antioxidants to insect's body. When the amount of the antioxidants increase in the cell, inhibition of DPPH[·] would raised. Data have proved this suggestion which highest inhibition of DPPH existed for 60 ppm of the free antioxidants and the extracts in the diet.

Table 2. CAT and GOX activities of *Galleria mellonella* fed with the antioxidants and the extracts of canola genotypes

	CAT activity (%)			GOX activity (%)			Inhibition of DPPH (%)		
	20 ppm	40 ppm	60 ppm	20 ppm	40 ppm	60 ppm	20 ppm	40 ppm	60 ppm
Canola evrol (+)	0.78	1.96	2.01	1.23	3.25	5.18	31.18	44.51	52.36
Canola california (+)	1.03	1.15	1.27	1.63	3.45	4.95	32.78	48.54	59.22
Cinnamic acid (-)	0.04	0.20	0.39	0.14	0.13	0.18	23.72	33.86	40.44
Quercetin (-)	0.34	0.41	0.48	0.03	0.04	0.27	25.90	35.61	49.15

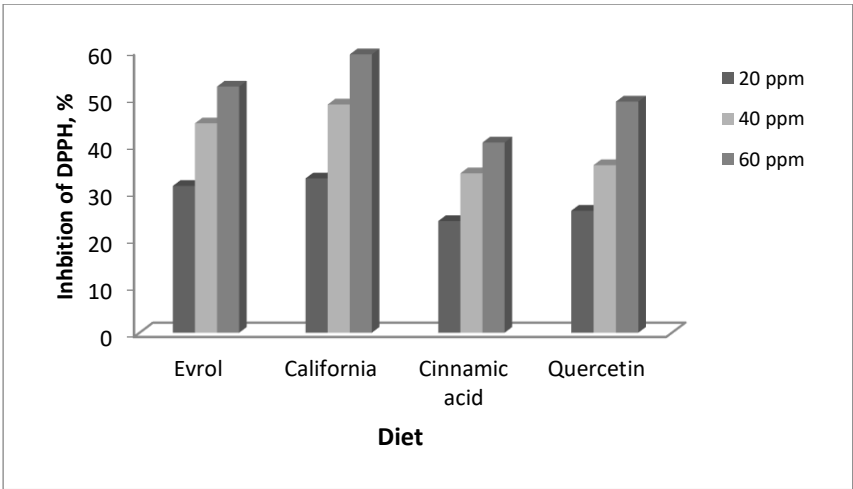


Figure 1. Inhibition of DPPH (%) of methanolic extract of *Galleria mellonella* related to feeding with the antioxidants and the extracts of canola genotypes

3.3. Enzyme activities

GOX and CAT activity from *G. mellonella* were compared among three food preparations which are including the methanolic extracts from two canola genotypes and cinnamic acids and quercetin at different concentration of 20, 40 and 60 ppm. For this aim, effect of the antioxidants and the extracts on the enzyme activity and antioxidant mechanisms of the insect was studied.

CAT is a common enzyme found in all living organisms exposed to oxygen. CAT catalyzes the decomposition of hydrogen peroxide to water and oxygen (Chelikani et al., 2004; Aebi, 1984). It is a very crucial enzyme in reproductive reactions. Therefore, CAT is very effective on the antioxidant defense system of the living organism. To identify effect of biochemical activities of *G. mellonella* by free antioxidants and the plant extracts, CAT and GOX activities were also determined. CAT activity was measured by the absorbance change of H_2O_2 at 230 nm. CAT activity was determined as percentage (%). As a result of the study, CAT activity change at a range of 0.04-0.39 % was decreased by addition of cinnamic acid at a concentration range between 20 and 60 ppm to synthetic food prepared from Bronskill. Quercetin was also decreased CAT activity of *G. mellonella* in the range between 0.34 and 0.48% (Table 2). The results were compared in Figure 2. Unlike free antioxidants, the canola extracts were increased CAT activity of *G. mellonella*. While the methanolic extract of evrol canola genotype was increased CAT activity at a range of 0.78 and 2.01%, that of california genotype was increased the activity at a range of 1.03 and 1.27%.

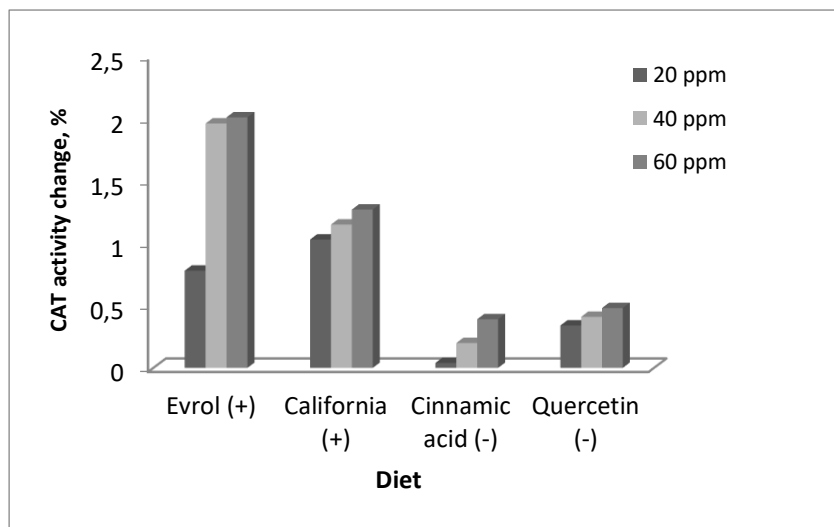


Figure 2. CAT activity changes (%) of *Galleria mellonella* related to feeding with the antioxidants and the extracts of canola genotypes

GOX enzyme is effective on glucose metabolism and catalyses the oxidation of glucose to hydrogen peroxide and D-glucono- δ -lactone. In the cells, GOX aids in breaking the sugar down into its metabolites (Raba and Mottola, 1995; Bas and Yildiz, 2007). Glucose oxidase activity was measured by the absorbance change of the reaction mixture at 650 nm as described by Bas and Yildiz (2007). The activity change (%) was determined by using GOX activity of the control which is fed without any substances. The GOX activity decreased at a range of 0.14 and 0.18% by addition of cinnamic acids at a concentration range between 20-60 ppm to synthetic food prepared from Bronskill (Table 2). The addition of quercetin to the food resulted in decrease of GOX activity in the range between 0.03 and 0.27%. The results were given as the activity changes (%) in Figure 3. The methanolic extracts of canola genotypes were increased GOX activity of *G. mellonella*. GOX activity raised at a range of 1.23 and 5.18% for evrol genotype. Data showed that GOX activity increased at a range of 1.63 and 4.95% for canola California genotype. In this study, synthetic food of *G. mellonella* includes high amount of the honey. Therefore, high amount of glucose is known to be in their cell. According to the results, when compared with control group, quercetin and cinnamic acid were effective on the glucose metabolism, suggesting that both substances inhibited GOX activity. Unlike to these substances, GOX activity raised by addition of the both canola extracts to diet.

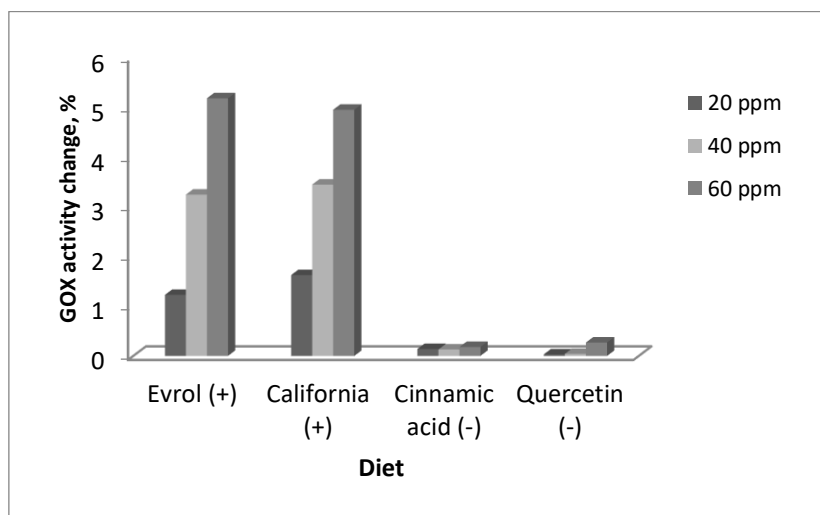


Figure 3. GOX activity changes (%) of *Galleria mellonella* related to feeding with the antioxidants and the extracts of canola genotypes

When considered hydrogen peroxide produced by GOX in the enzymatic reaction mechanism, the antioxidants was decreased amount of

H₂O₂ of the cell related to the GOX activity, suggested that CAT activity was inhibited the decomposition of H₂O₂ to water related to the inhibition of GOX activity by addition of antioxidants to the diet of the insect.

The inhibition of GOX activity by addition of cinnamic acid and quercetin resulted in decrease in amount of H₂O₂ in the insect body, suggesting that its catalase activity was also inhibited. CAT activity has similar results with those of GOX activity for both canola genotypes. The addition of the canola extracts to diet was increased CAT activity of the insect. The increase of GOX activity has suggested increase of CAT activity. Unlike effect of the standard antioxidants on the biochemical mechanism of the *G. mellonella*, canola extracts increased GOX and CAT activity. HPLC analysis showed that canola extracts not only have cinnamic acid and quercetin but also have other phytochemicals such as ferrulic acid, eriodictyol, *p*-coumaric acids and naringenin which are effective on the biochemical metabolism of the insect. Moreover, many phytochemicals not analyzed in the extracts may contribute to their activities. The results suggest that each antioxidants detected in the extracts must be studied on GOX and CAT activity one by one.

4. CONCLUSION

In this study, we evaluated effect of canola extracts on enzyme activities such as GOX and CAT from *Galleria mellonella*. *G. mellonella* was selected a model system as a living organism which is grown easily and rapidly. The plant extract is very effective on metabolism of living organism by changing enzyme activities, results in more or less expressed in the cell. However, the mechanism of these changes has not been well known. The future studies will be carried out for the explanation of the changes on the enzyme activities.

Acknowledgments

We would like to thank Scientific Research Foundation of Selcuk University (BAP) for supporting this study. We also would like to thanks to Suleyman Demirel University for technical supports.

5. REFERENCES

- Aebi, H. Catalase. In: Bergmeyer J, Grassl M, editors. (1983). Methods of enzymatic analysis. Wienheim: Verlag Chemie. 273-286.
- Afanas, I.B., Dorozhko, A.I., Brodski, A.V., Kostyuk, V.A., Otapovitch, A.I. (1989). Chelating and free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation. Biochem Pharmacol 38, 1763–1769.

- Assar, A.A., Abo-El-Mahasen, M.M., Harba, N.M., Rady, A.A. (2012). Biochemical effects of cyromazine on *Culex pipiens* larvae (Diptera: Culicidae). *J Am Sci* 8, 443-450.
- Atalay, T. Yildiz, S. (1989). Determination of kinetic parameters for some inhibitors and activators of glucose oxidase. *Chimica. Acta Turcica*, 17, 127.
- Bas, S.Z., Yildiz, S. (2007). The effect of some ions on glucose oxidase and their kinetics. *Bull Catal Soc India* 6, 67-73.
- Bradford M.M. (1976). A dye binding assay for protein. *Anal Biochem* 72, 248-254.
- Bronskill, J.K. (1961). A cage to simplify of the greater wax moth, *Galleria mellonella* (Pyrilidae). *J Lep Soc* 5(2), 102-104.
- Champion, O.L., Cooper, I.A.M., James, S.L., Ford, D., Karlyshev, A., Wren, B.W., Duffield, M., Oyston, P.C.F., Titball, R.W. (2009). *Galleria mellonella* as an alternative infection model for *Yersinia pseudotuberculosis*. *Microbiology* 155, 1516-1522.
- Chelikani, P., Fita, I., Loewen, P.C. (2004). Diversity of structures and properties among catalases. *Cell Mol Life Sci* 61 (2), 192–208.
- Durmus, Y., Büyükgüzel, K. (2008). Biological and immune response of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) to sodium tetraborate. *J Econ Entomol* 101, 777-783.
- Food and Agriculture Organisation. (2007). FAOStat Core Price Data Database.
- Fuchs, B.B., O'Brien, E., El Khoury, J.B., Mylonakis, E. (2010). Methods for using *Galleria mellonella* as a model host to study fungal pathogenesis. *Virulence* 1, 475-482.
- Ghasemi, A., Sendi, J.J., Ghadamyari, M. (2010). Physiological and biochemical effect of pyriproxyfen on Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *J Plant Protec Res* 50(4), 416-422.
- Halliwell B, Gutteridge J.M.C. (1989). Free radicals in biology and medicine. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kim, D.O., Jeong, S.W., Lee, C.Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem* 81, 321–326.
- Koleva, I.I., Van Bek, T.A., Linssen, J.P.H., De Groot, A., Evstatieva, L.N. (2002). Screening of plant extracts for antioxidant activity: A comparative study on three testing methods. *Phytochem Anal* 13, 8–17.

- Lie-Zhao, L., Jin-Ling, M., Na, L., Li, C., Zhang-Lin, T., Xue-Kun, Z., Jia-Na, L.I. (2006). QTL mapping of seed coat color for yellow seeded *Brassica napus*. *Acta Genetica Sinica* 33, 181-187.
- Maltas, E., Dageri, N., Vural, H.C., Yildiz, S. (2011a). Biochemical and molecular analysis of soybean seed from Turkey. *J Med Plant Res* 5(9), 1575–1581.
- Maltas, E., Vural, H.C., Yildiz, S. (2011b). Distribution of secondary metabolites in *Brassica napus* genotypes. *J Food Biochem* 35 (4), 1071-1082.
- Maltas, E., Yildiz, S. (2012). Evaluation of phytochemicals and antioxidant activity of *Ginkgo biloba* from Turkey. *Pharmacologia* 3, 113-120
- Maltas, E., Vural, H.C. (2013). Comparison of winter and summer canola (*Brassica napus*) genotypes in Turkey, *GMR* 12 (1), 408-415.
- Marei, S.S., Amr, E.M., Salem, N.Y. (2009). Effect of some plant oils on biological, physiological and biochemical aspects of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Res J Agric Biol Sci* 5(1), 103-107.
- Martins, C.H.Z., Freire, M.G.M., Parra, J.R.P., Macedo, M.L.R. (2012). Physiological and biochemical effects of an aqueous extract of *Koelreuteria paniculata* (Laxm.) seeds on *Anticarsia gemmatilis* (Huebner) (Lepidoptera: Noctuidae), *SOAJ of Entomological Studies* 1, 81-93.
- Onay, O., Kockar, M. (2006). Pyrolysis of rapeseed in a free fall reactor for production of bio-oil. *Fuel* 85, 1921-1928.
- Raba, J., Mottola, H.A. (1995). Glucose oxidase as an analytical reagent. *Critical Reviews in Anal Chem* 25(1), 1-42.
- Rawil, S.M., Bakry, F.A., Al-Hazmi, M.A. (2011). Biochemical and histopathological effect of crude extracts on *Spodoptera littoralis* larvae. *J Evolutionary Biol Res* 3, 67-78.
- Renwick, J., Daly, P., Reeves, E.P., Kavanagh, K. (2006). Susceptibility of larvae of *Galleria mellonella* to infection by *Aspergillus fumigatus* is dependent upon stage of conidial germination. *Mycopathologia* 161, 377-384.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J Sci Food Agric* 76, 270-276.
- Udaya, N., Wanasundara, A., Shahidi, F. (1994). Canola extract as an alternative natural antioxidant for canola oil. *JAOCS* 71:817-822.

- Vaya, J., Aviram, M. (2001). Nutritional antioxidants: Mechanisms of action, analyses of activities and medical applications. *Curr Med Chem - Imm Endoc Metab Agents* 1, 99–117.
- Wada, L., Ou, B. (2002). Antioxidant activity and phenolic content of *Oregon caneberries*. *J Agric Food Chem* 50, 3495–3500.

CHAPTER
13

**Recent Advances in Science and
Technology**

Effect of Insects on Biological Control (Rahile Ozturk)

Effect of Insects on Biological Control

Rahile OZTURK¹

*¹Selcuk University, Faculty of Science, Department of Biology, Konya, TURKEY,
E-mail: rozturk@selcuk.edu.tr*

A growing world population brings with it the nutrition problems. Therefore, food supply and nutrients to be obtained from these sources must be used in the best way and protected. Protection against harmful chemicals in the food supply and material, biological control methods in addition to physical and chemical control methods also play an important role.

Biological control; grown on the type or types of harmful organisms feed on it can be described as the use of living organisms. Many malicious in nature, live in a certain balance with their harmful, but the intervention of human nature adversely affects this balance. In order to suppress the harmful kind used in biological control, it is defined as a biological control agent. Biological properties of the species and the host to be used as biological control agent must be known by the relationship.

Success in biological control, first of all, the biological characteristics of the host and parasitoid, the host of behavioral and physiological relationship between parasitoids, physically involved in these relationships depends on the knowledge of chemical and mechanical interactions. Biological control applications, adult life length of parasitoids to be used and the knowledge of the factors affecting the efficiency, in which both mass production, as well as an important factor in achieving success in biological control them.

1.INTRODUCTION

Today we live in an ocean consisting of chemical substances. Unconscious applied chemical combat carcinogenic, teratogenic and mutagenic chemicals, which are of increasing accumulation in the ocean [1]. Unsupervised and unregulated use, causing harmful to resistance over time, cause an increase in the dose is increased every day [2]. Accordingly, the environmental pollution is accelerating and it is also increasing economic losses.

The name of the pesticide toxic chemicals to destroy pests that affect the efficiency of the product is widely used in a negative way. Unconscious and uncontrolled pesticide use live targets as well as target organisms are not taken affect. The main objective of pesticides that destroy pests and diseases, both ecological and when used continuously cause major problems in

economic terms. Therefore, it is necessary to determine the appropriate concentration for pesticides to control insect pests without harming the well known and the nature of the type of pesticide to be applied biology and physiology.

From the beginning of the twentieth century together with the spread of industrial agriculture, in the fight against harmful organisms that cause economic losses in agricultural production activities has gained a greater importance. During this period, in agricultural production, a basic understanding of the world's population to feed production, to perform both the technical and the use of technology in contributing to the increase in yield and a generalization. Especially after the Second World War with the production of many new pesticides and application the machine is intensive use of pesticides in the world has emerged. But by the end of the twentieth century that are used to increase the production of fertilizers and industrial agriculture are used to control harmful organisms of plant protection products on human health and the environmental losses that have been there. People also safe food and cere- health and the development of environmentally friendly methods of agricultural production related to the increase of sensitivity necessitate the usage [3].

In the face of challenges posed by the chemical methods of struggle against the essence of the natural balance, other methods of struggle of the orientation obligation born and "Integrated Pest Management" (IPM) called methods have been developed [4-6]. The aim of this method is to minimize the use of pesticides, and to explore all possibilities to get the highest level of control of natural enemies of pests. "Biologic Control" has an important place in this process [6-8].

Biological control is started with the start of life on earth theoretically acceptable. A part of the food chain because all living things in the world together and living in the same area, this species is naturally part of the food chain because they are under control they keep each other's populations. According to information available, biological control's life began on earth BC. It is generally accepted that has been around since 500 million years ago. According to the information obtained from the written part of human history in Egypt, BC. In the year 4000, used in grain stores against rats and cats homes and cats domesticated for the purpose of harmful is known. BC also in 300 years, were sold to the farmers of the pupa found evidence that beneficial insects. The Chinese sericulture especially due to the very detailed information they acquired about the life of insects, and the phenomenon of parasitism in 1000 AD, The Chinese scientists admitted that they know. Biology and entomology studies in Europe is based on a fairly old. The ancient Greek scientist Aristotle, *Historia Animalium*, in his book the bees killed some of the

spiders smaller than normal spiders and spiders laid eggs and that some of the inside beekeeping to multiply using has written. His work on entomology to Aristotle many years in Europe some observations have been confirmed and consist of the addition. Ulisse Aldrovandi Italian entomologist in this area but the greatest discovery (1522- 1605) was carried out. Aldrovandi, *De Animalibus*, published in 1602 with the Book of the founder of modern entomology Insects only, but also of parasitism in this book by explaining in a fairly clear way makes a very important contribution to modern biological control [3].

Biological control is another important turning point in the expansion of Citrus in the state of California *Rodolia cardinalis* which is a big problem in the areas the bits are brought from New Zealand in 1888 and famous against wind, rain and successful control of pests. After this date about the release useful stuff and made some pretty good are brought from the country of origin. In the same period, Bambul beetle *Metarhizium anisopliae* against the attachment of the Russians' mass produced and successfully used in the Odesa region in Ukraine. In the same year, Great Britain, New Zealand, and Australia' by taking *Coccinella undecimpunctata* has placed the in a successful manner. Areas of pest and beneficial insects are found in 1920 is taken from the area where Flanders has undergone a huge change after achieving Trichogramma release to mass production, and the production of emissions has increased rapidly in biological control studies. Trichogramma is the most studied for this purpose especially factor Trichogramma release area of 10 million ha in 1977, and the USSR has made. In the same period in the area of biological control with Trichogramma 1 million ha in China are reviewed. One of the most studied countries in this regard is Cuba. Cuba and approximately 516 thousand ha release Trichogramma in the area of approximately 700 thousand ha in the area of using pathogenic fungi. In the world today, outside the above mentioned countries, Mexico, Brazil, Colombia, and Japan are the countries where most of the work was done on biological control. The United States has become recently makes large areas with unmanned aerial vehicles un release agent. In China today, 8000, 1100 in Japan, Brazil 350 and the Netherlands around 200 full- time scientists working on biological control [3].

Biocontrol's historic course "International Organization for Biological Control: IOBC" published on the internet and are summarized by a continuously updated Internet publication called The Book of Biological Control in extremely good shape [9].

Biological control; the simple words "the suppression of pest populations by natural enemies or regulation" is defined as. Here is meant parasitoids, predators and pathogens. Biocontrol term "Applied Biological Control" or "natural enemies by the people, for use against pests" and the other

"Natural Biocontrol" or "pressure that occur spontaneously in nature without human intervention" is used [10]. That is completely harmful organisms in nature without destroying the natural balance of preventive, restorative and support measures.

Fighting is called biological products used for Biological Control Products and today the number is around 1000. It is broadly classified into three categories;

- a) Makrobiyals: Predator insects and nematodes and parasitoids.
- b) Microbials: Entomopathogen or antagonistic fungi, viruses and bacteria.
- c) Plant extracts: Insecticides derived from plants, fungicidal or repellents.

Biological control or pest natural enemies (parasites, parasitoids, pathogens, viruses and predators) are used directly or other strategies (sterilization, pheromone traps to collect, nutrition prevention diet with inhibitor) is applied [11].

The most appropriate of natural enemies, who are parasitoids and the specific effects with the least risk [8,12]. Host- parasitoid relationships, it is shaping the ecosystem biotic and abiotic conditions [13].

In parasitoids; developing individual kills host, predators and parasitoids are more similar to those features. Parasitoids are mostly just noise in the immature stage and have the same taxonomic class hosts. They complete their development in the host and do not cause pre-mature or above on a host of morphological abnormalities [14,15].

The mass of that kind to be used in the laboratory a type of parasitoids in biological control work must be grown [16,17].

As a biological control agent in sufficient numbers to be used in laboratory conditions of a parasitoid species, it must be mass produced. But if mass production in a short time is difficult. A good knowledge of the biology and physiology of the species for this and must have an appropriate method of storage.

Efficiency of adult parasitoids in studies with different parasitoid species, the sex ratio of offspring and female parasitoids son of parasitism power; parasitoids age, affect the host species, the host stage/ phase, mansion on whether earlier scrambled, the number of eggs left by the female, the time to find mansion after becoming adults, the host abundance, nutrient amounts and in particular, has been shown to depend on the temperature. Parasitoids for

biological control efficiency is very important. Under different circumstances, the determination of the biological and physiological characteristics parasitoids is the mass production of parasitoids in laboratory conditions and key elements of success in biological control [18].

Parazitoid of a type of species that can be used in biological control studies in the case of the mass should be raised under laboratory conditions. Parazitoid to be used in mass culture under laboratory conditions in order to obtain the appropriate phase of the host, mass production at low temperatures is one of the methods of hiding by waiting, and thus the suitability of the parasite with the host simultaneous production and replication is ensured. The suitability of this method for low temperature dropped from the degree of insects that is affected by this method, physiological and biochemical adaptations of this adaptation affects future generations and their impact on development and yield of important issues such as how research should be conducted.

Because of their resistance to low temperature, it is possible to benefit from the low temperature as a method of storing insects [19-22]. However, depending on the time of low temperature, the physiological and biochemical structure of insect that can have negative effects in considering the appropriate duration of the joke needs to be determined [23].

Some protective mechanisms are available depending on the developing low temperature in insects. At the beginning of the winter season and an increase in the protein content of specific proteins of insect low temperature hemolymph being synthesised have been identified[24]. The synthesis of low molecular weight carbohydrates and polyols also called low temperature against another change that is created. Polyols in addition to the provision of the stabilization of cellular membranes, osmotic pressure and total salt by reducing the amount of insect protect against the adverse effects of low temperature [25,26].

Water loss, low temperature is one of the adaptation mechanisms. *Epiblema scudderiana* (Lepidoptera: Olethreutidae) one of the conditions necessary for winter survival is the loss of water, and this type of wet weight in the autumn of 57%, which is the amount of water, in the middle of winter fell by some 25% has been found [27].

Parazitoid studies where species were exposed to low temperature as a result of maturation rate, sex ratio, adult length of life has been observed to be significantly affected and the efficiency of eggs [28-32].

The optimum temperature shows the development of many insect larvae and insect specific to the type of hard. At optimum temperatures the

deviations in insect larvae, but change to extra skin or non- can lead to a period of normal development. Under appropriate temperature conditions the insects through a period of development in other growth stages (larva, pupa and adult from pupa) migration of juvenile hormone and ecdysis ecdysteroid-stimulating hormone is controlled by. Some insect species they can adapt to periodic seasonal changes in their environment. For example, during the winter months in adverse weather conditions by slowing down their metabolism during specific periods of the development of many insect species diapause or by entering into the process of many other insect species with favourable weather conditions, the location of these unfavorable conditions by migrating to try to escape. However, in the active period of the life cycle of insects, low temperature, insect larvae or extra leads to change the skin more than normal. This is because it creates too much stress on insects insects or die or continue with normal development until the appropriate conditions have been met [33].

Some insects have experienced any adverse environmental conditions during their development in order to survive, they enter diapause [21,22].

Diapause, are held with the neuroendocrine system and usually photoperiods and/ or encouraged with the regulation of changes in temperature is a physiological condition. Generally, the tuning fork before insects, pass through a sensitive period that is required for adaptation to changes. Diapause in adults, with the accumulation of energy reserves and delay the development of the gonads can be expressed. *Episyrphus balteatus* (DeGreer) (Diptera: Syrphidae) in a study which examined the physiology of wintering, diapause stage, the cessation of development of the ovaries and the fat body' s. It has been observed that are characterized by an increase in volume [34].

The endocrine system in insects, environmental stimuli, a chemical regulator. So the insects from the outside of the reaction to stress is very similar to the response of vertebrate animals [33].

Applied at a low temperature, time of administration and also has a significant impact on the development and longevity of insects. A longer- term exposure to low temperatures are known to have adverse effects on the lives of parasitoids. Low temperature and irreversible damage that occurs when the holding time exceeds the threshold at this temperature and the result is death [35].

Loss of water in the insect has a very important role on the scratch resistance at low temperature [36]. Low temperature resistance in insects, cells in the low temperature of the water content with the water in body tissue and is affected significantly affecting the activity of the whole organism function [37]. In the vast majority of insects, 40% and 90% of the total body water

volume wet weight. The increase in developing solute concentration in the cells during freezing due to loss of water, the pH at which changes are damaging to physical shrinkage of cells, especially constitute membrane damage [38]. It increases the resistance to cold reduction in the amount of water and extracellular freezing starts to rotate to be added to liquid water, is also prevented in this manner [39].

Low temperature growth of the parasitoid did affect the ability to determine the suppression of learning behavior and host. Learning; adult parasitoids in mating, to determine the host location, the choice of host species and the behavior of distinguishing the parasitized host is a condition that commonly implemented [40]. The loss of learning capacity, and host-parasitoid relationship affects the reproductive characteristics of parasitoids [29].

Low temperature (+4 and 10°C) *Pimpla turionellae*'s development in the host, in a study that examined the effects of fecundity and sex ratio, time of increased parasitoid did the prolonged maturation period, life expectancy is shorter, it was observed that the decrease in the egg production and increased male ratio [41]. The sex ratio is also due to be directly related to reproductive capacity, you parasitoid plays an important role in both mass production and activity in nature occur only or proportionately more male individuals during mass production is undesirable [42].

Biological control of the species after storage at low temperature parasitoid which will be used in studies of adults and eggs egg production is a desirable characteristic if the rate of opening of the left [30].

Protein, fat and carbohydrate quantities of insects, their developmental stage [43], gender [44], photoperiod [45], food quality and quantity [46], temperature [47] depending on the change was determined by studies in different species.

Energy source in insects, especially body fat is consumed during fasting when exposed to low temperatures. The reason of it is quite difficult to distinguish whether hunger or low temperatures. In addition, more than two can be effective also.

For survival and development in insects, the effect of low temperatures as well as temperatures above the optimum temperature also reduce the longevity [48]. Made a study, *P. turionellae* female in reducing the longevity has been observed that temperatures are raised above the optimum life temperature of the most important factors [49].

2.DISCUSSION

As a biological control agent in sufficient numbers to be used in laboratory conditions of a parasitoid species, it must be mass produced. But if mass production in a short time is difficult. A good knowledge of the biology and physiology of the species for this and must have an appropriate method of storage. Laboratory studies, and a host of parasitoids culture in equal amounts at the same time is not always possible. Therefore, in case a plurality of host insect to obtain adequate low temperature storage is not available parasitoid females of parasitized host insect appropriate stage in order to postpone roll can be a good method.

Insects obtained by a batch process at low temperature while utilizing the features can be carried out efficiently combating resistant to temperatures sufficient number of parasitoids.

Applied at a low temperature, application time and also has a significant impact on the development and longevity of insects [28]. A longer-term exposure to low temperatures are known to have adverse effects on the lives of parasitoids. For that at low temperature applications, the living conditions of insects, physiology, considering optimal low temperature will affect egg production and egg opening and exposure time should be determined.

It should be noted that there is an impact on other living organisms in the world in all kinds of activities for agricultural production and for the continuity of human life on earth must continue to protect and fulfill all other organisms. For this purpose target in the fight against diseases and pests; knowing the relationship between agricultural production areas located in all living organisms produced by plants and other living organisms that are beneficial to sensitive and protective of human health and environment practices in the field. So far, the results have been numerous scientific studies have demonstrated particularly large number of biological control method that can be used in crop production.

Lean of the last century human beings in addition to many benefits brought by technological advances gained has led to the result will be to the detriment of all the species on Earth, including humans. This rapid evolution of some species of the earth or be lost to many species remain threatened with disappearance has led to the result. All the worse for them to break away from the alienation of human nature and the living world is unaware of living creatures other than itself. This break people on earth longer than the human species as a way to happier and happier in his life is not in warranty. Because the current complex human being on earth is part of one of the intertwined and dependent life cycle and there is no chance to survive without the other rings.

Studies of the increase and the increase of the world food supply and up to 22-23. century shows that sustainable should be made. Growth and sustainability of the food supply, made possible by the increase in crop production and sustainable. In this case the loss of 30-35% reduction caused by pests and diseases in plant production is of vital value. For all the reasons expressed is compulsory sustainable plant protection activities in crop production. For a sustainable agriculture is the most appropriate form of struggle is waged with integrated in the light of scientific data of all plant protection methods. When integrated sustainable elements of the struggle of the descendants continue to live due to the nature and adapt to a balance due to the continuous biocontrol products. Biological control of the world pesticide market is perhaps the most important considerations regarding future assessments are to be made about the current state and future prospects. Since the first discovery of pesticides in agricultural production was one of the most important inputs and pesticides market grew rapidly for many years in the 1990s, it reached a peak as accessing a large volume of US \$ 35 billion.

Biocontrol's lots to talk about some of the possible problems can be listed benefits and advantages and disadvantages is required. Because no method is not only beneficial or harmful pesticides alone. Some of the problems and risks inherent in Biological Control are also available. E.g; control live biological products and materials are kept, it is difficult to transport and application.

As a result, due to the chemical control of pest insects to human health and the environment against the adverse effects of Biological Control today's importance has increased considerably. Insects (especially parasitoids) are important in the implementation of biological control as a group emerges.

3. REFERENCES

- [1]SHULKA, Y., YADAV, A. and ARORA, A. (2002) Carcinogenic and cocarcinogenic potential of cypermethrin on mouse skin. *Cancer Letters*, 182: 33-41.
- [2]SODERLUND, D.M. and KNIPPLE, D.C. (1999) Knockdown resistance to DDT and pyrethroids in the house fly (Diptera: Muscidae): from genetic trait to molecular mechanism. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 92 (6): 909-915.

- [3]Teoriden Pratiğe Biyolojik Mücadele. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları [Internet]. 2012. Available from: http://www.tarim.gov.tr/GKGM/Belgeler/Bitki%20Sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20Hizmetleri/Biyolojik_Mucadele_Kitabi.pdf [Accessed: 2016.10.20]
- [4]ELAD, Y. and SHTIENBERG, D. (1995) *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables: chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration. Integrated Pest Management Reviews, 1: 15-29.
- [5]HILLOCKS, R.J. (1995) Integrated management of insect pests, diseases and weeds of cotton in Africa. Integrated Pest Management Reviews, 1: 31-47.
- [6]ÖNCÜER, C. (2000) Tarımsal zararlılarla savaş yöntemleri ve ilaçları. Adnan Menderes Üniversitesi Yayınları, Aydın, 13: 379s.
- [7]HILL, T.A., and FOSTER, R.E. (2000) Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). J. Econ. Entomol., 93 (3): 763-768.
- [8]SAK, O. ve UÇKAN, F. (2009) Cypermethrinin *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae)'nın puplaşma ve ölüm oranlarına etkisi. U. Arı Drg., 9 (3): 88- 96.
- [9]ANONIM. (2012) IOBC Internet Book of Biological Control, version 6. <http://www.iobc-global.org/download/IOBC%20InternetBookBiCoVersion6Spring2012.pdf>.
- [10]UYGUN, N. (2002) Zararlılara karşı biyolojik mücadelede gelişmeler. Türkiye 5. Biyolojik Mücadele Kongresi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri, Erzurum, 23-32.
- [11]XU, J., SHELTON, A.M. and CHENG, X. (2001) Comparison of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Microplitis plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) as biological control agents of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): field parasitism, insecticide susceptibility and host searching. J. Econ. Entomol., 94 (1), 14-20.
- [12]UÇKAN, F. ve GÜLEL, A. (2002) Age- related fecundity and sex ratio variation in *Apanteles galleriae* (Hym., Braconidae) and host effect on fecundity and sex ratio of its hyperparasitoid *Dibrachys boarmiae* (Hym., Pteromalidae). J. Appl. Ent., 126 (10): 534-537.

- [13]ÇALIŞIR, S., KILINÇER, A.N., KAYDAN, M.B. ve ÜLGENTÜRK, S. (2005) *Anagyrus pseudococci* (Girault) (Hymenoptera: Encyrtidae)' nin farklı yaştaki *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae) üzerindeki bazı biyolojik özellikleri. Tarım Bilimleri Dergisi, 11 (4), 434-441.
- [14]ERGIN, E., ER, A., UCKAN, F. and RIVERS, D.B. (2007) Effect of cypermethrin exposed hosts on egg- adult development time, number of offspring, sex ratio, longevity, and size of *Apanteles galleriae* Wilkinson (Hymenoptera: Braconidae). Belg. J. Zool., 137 (1): 27-31.
- [15]GÜNDÜZ, E.A., GÜLEL, A. ve İŞİTAN, Ö.V. (2008) İki konukçu türün, larva ektoparazitoiti *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae)' da protein, lipid ve glikojen miktarlarına etkisi. Turk. Entomol. Derg., 32 (1): 33-42.
- [16]GRENIER, S., DELOBEL, B. and BONNOT, G. (1986) Physiological considerations of importance to the success of in vitro culture: an overview. J. Insect Physiol., 32 (4), 403-408.
- [17]THOMPSON, S.N. (1986) Nutrition and in vitro culture of insect parasitoids. Ann. Rev. Entomol., 31, 197-219.
- [18]UÇKAN, F. ve GÜLEL, A. (1999) *Apanteles galleriae* Wilkinson (Hym; Braconidae)' un verim ve eşey oranına parazitoit- dişi eşdeğeri konak sayısındaki artışın etkileri. BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. 1 (1).
- [19]SALT, R.W. (1961) Principles of insect cold hardiness. Ann. Rev. Entomol. 6: 55-74.
- [20]BURSELL, E. (1974) The Physiology of Insecta. Rockstein, M. (ed.). Academic Press, New York., 2: 2-36.
- [21]DANKS, H.V. (1978) Modes of seasonal adaptation in the insects. I. Winter survival Can. Entomol., 110,1167-1205.
- [22]BALE, J.S. (1987) Insect cold hardiness: freezing and supercooling an ecophysiological perspective. J. Insect Physiol., 33 (12): 899-908.
- [23]NURULLAHOĞLU, Z.Ü. ve KALYONCU, L. (2000) Düşük sıcaklığın *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) pupalarının total lipid ve total yağ asidi yüzdelere etkileri. S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 1: 91-93.
- [24]De LOOF, A. and De WILDE, J. (1970) The relation between haemolymph proteins and vitellogenesis in the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. J. Insect Physiol., 16, 157-169.

- [25]HANSEN, T. (1980) Glycerol content insects and cold- hardiness in freeze tolerant insects. Eesti NSV Tead, Akad. Tiom. Biol., 29, 113-118.
- [26]RING, R.A. (1982) Freezing- tolerant insects with low supercooling points. Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol., 73, 605-612.
- [27]KELLEHER, M.J., RICKARDS, J. and STOREY, K.B. (1987) Strategies of freeze avoidance in larvae of the goldenrod gall moth, *Epiblema scudderiana*: laboratory investigations of temperature cues in the regulation of cold hardiness. J. Insect Physiol., 33 (8): 581-586.
- [28]LEATHER, S.R. (1990) Life span and ovarian dynamics of the pine beauty moth, *Pannolis flammea* (D&S): the effect of low temperatures after adult emergence on reproductive success. Physiological Entomol., 15, 347-353.
- [29]TURLINGS, T.C.J., SCHEEPMAKER, J.W.A., VET, L.E.M., TUMLINSON, J.H. and LEWIS, W.J. (1990) Host contact foraging experiences affect preferences for host-related odor in the larval parasitoid *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae). Journal of Chemical Ecology, 16,1577-1589.
- [30]ADİYAMAN, N. ve AKTÜMSEK, A. (1996) Pup ve ergin evrede uygulanan düşük sıcaklığın *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) dişilerinin yumurta verimine etkileri. Tr. J. Of Zoology, 20, 1-5.
- [31]UÇKAN, F. ve GÜLEL, A. (2001) The effects of cold storage on the adult longevity, fecundity and sex ratio of *Apanteles galleriae* Wilkinson (Hym.: Braconidae). Turk J Zool, 25, 187-191.
- [32]JIANG, N., SÉTAMOU, M., NGI- SONG, A.J. and OMWEGA, C.O. (2004) Performance of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) in parasitizing *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae) as affected by temperature and host stage. Biological Control, 31, 155-164.
- [33]TUNAZ, H. (2004) Böceklerde soğuklamanın neden olduğu normalden fazla deri değiştirme mekanizması. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (1).
- [34]HONDELMANN, P. and POEHLING, H-M. (2007) Diapause and overwintering of the hoverfly *Episyrphus balteatus*. DOI: 10.1111/j.15707458.2007.00568.x.
- [35]BALE, J.S. (1996) Insect cold hardiness: a matter of life and death. Eur. J. Entomol., 93, 369-382.

- [36]SØMME, L. (1964) Effect of glycerol on cold hardiness in insects. Can. J. Zool. 42: 87-101.
- [37]BLOCK, W. (2003) Water or ice? The challenge for invertebrate cold survival. Science Progress, 86, 77-101.
- [38]MERYMAN, H.T. (1974) Freezing injury and its prevention in living cells. Annual Review of Biophysics and Bioengineering, 3, 341-363.
- [39]RING, R. and DANKS, H.V. (1994) Decication and cryoprotection: overlapping adaptations. Cryo-Letters, 15, 181-190.
- [40]van BAAREN, J. and BOIVIN, G. (1998) Learning affects host discrimination behavior in a parasitoid wasp. Behavioral Ecology and Sociobiology, 42, 9-16.
- [41]NURULLAHOĞLU, Z.Ü. ve ÖZTÜRK, R. (2006) Düşük sıcaklığın *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın konak içindeki gelişimine, yumurta verimine ve yağ asidi bileşimine etkileri. BAP Projesi.
- [42]KIVAN, M. ve KILIÇ, N. (2006) Çiftleşme ve parazitlenme süreleri ile konukçu yumurta kümesi büyüklüğünün *Trissolcus semistriatus* Nees (Hymenoptera, Scelionidae)'un cinsiyet oranı üzerine etkisi. Trakya Üniv J Sci, 7 (1): 59-63.
- [43]MEATS, A. and LEIGHTON M. (2004) Protein consumption by mated, unmated, sterile and fertile adults the Queensland fruit fly, *Bactocera tryoni* and it's relation to egg production. Physiol. Entomol., 29: 176-182.
- [44]AKTÜMSEK, A. (1996) Parazitoid, *Itoplectis maculator* F. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'un yağ asidi bileşimine konak ve eşey farklılığının etkisi. Tr. J. of Zooll., 20: 7-10.
- [45]EL-AW, M.A. (2003) Effect of host plant, photoperiod, day time, developmental stage and sex on protein patterns and esterase inhibition heads of the cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Agri. Res., 48 (1): 89-52.
- [46]OLSON, D.M., FADAMIRO, H., LUNDGREN, J.G. and HEIMPEL, G.E. (2000) Effects of sugar feeding on carbohydrate and lipid metabolism in a parasitoid wasp. Physiol. Entomol., 25: 17-25.
- [47]IZUMI, Y., ANNIWAER, K., YOSHIDA, H., SANODA, S., FUJISAKI, K. and TSUMUKI, H. (2005) Comparison of cold hardiness and sugar between diapausing and nondiapausing pupae of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Physiol. Entomol., 30: 36-41.

- [48]ÇANAKÇIOĞLU, H. (1989) Orman Entomolojisi. İst. Üni. Orman Fak. Yayınları: 3405, İstanbul, 385 s.
- [49]ŞEKER, D.A. ve YANIKOĞLU, A. (1999) *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın açlık, beslenme, parazitlenme ve yaşlılık durumlarında glikojen seviyesindeki değişimler. Tr, J. of Zoology, 23 (1): 289-296..

CHAPTER

14

**Recent Advances in Science and
Technology**

**Rüzgâr Çiftliği Yerleşim Tasarımının Yapılması, İngiltere
Örneği (Yavuz Selim İşler)**

Rüzgâr Çiftliği Yerleşim Tasarımının Yapılması, İngiltere Örneği

Yavuz Selim İŞLER

Kahramanmaraş, Turkey

E-mail: yavuzselimisler@yahoo.com

Özet

Günümüzde tüketilen enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu fosil tabanlı kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil tabanlı kaynakların hem tükenilir olması hem de sera gazı etkisi oluşturması çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi değerlendirilerek, İngiltere için optimum verimde çalışabilecek rüzgar santralinin tasarımı WindFarm demo programı kullanılarak analizi yapılmaktadır. Böylelikle rüzgâr santralleri kurulmadan oluşabilecek olan kayıp değerleri gözlemlenmektedir. Böyle bir çalışma başka bölgeler için de uyarlanabilir ve uygulanabilir.

Anahtar kelimeler: WindFarm demo, Rüzgâr Enerjisi, İngiltere, Rüzgâr Santrali Simülasyonu

Construction of Wind Farm Location Design for England

Abstract

Today, the majority of consumed energy resources compose of fossil-based resources. It is fact that fossil-based resources are depletable and brings greenhouse gas effect with it various problems. In this study, the wind energy from renewable energy sources is evaluated and analysed by using of the WindFarm demo program in order to wind power plant design which can work with the optimum efficiency for England. Thus, the loss values that can be observed before installation of wind power plants. Such a study is adaptable and feasible for other regions as well.

Keywords: Wind Farm demo, Wind Energy, England, Wind Power Plant Simulation

1. Giriş

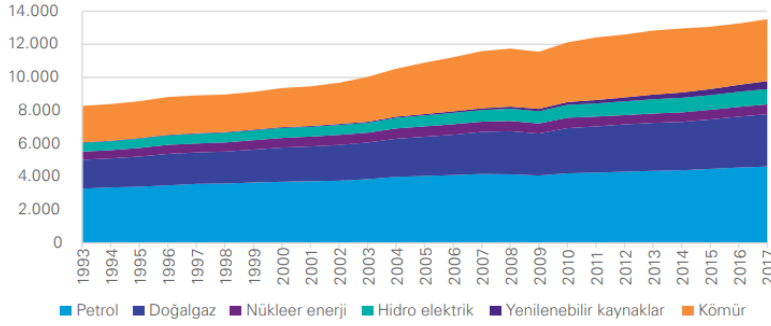
Artan ekonomik gelişmeler ve nüfus beraberinde enerji tüketimini de artırmıştır. Bugün hayatımızın birçok yerinde enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji tüketimi ülkelerin de gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi konumuna gelmektedir [1]. Bu bağlamda enerji üretimi ve tüketimi önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Enerji tüketimi yapan ülkelerin enerjideki fiyat artışları ekonomilerini doğrudan etkilemektedir. Bu durum birçok ülke için kaygı verici bir durumdur.

Geçmiş yıllara bakıldığında enerji elde etme konusunda fosil yakıtlar çok büyük bir oranı oluşturmaktaydı. Fosil yakıtlarının bu kadar yaygın kullanılmasını sağlayan bazı üstünlükler bulunmaktadır. Bunlar; enerji verimliliklerinin yüksek olması, bazı fosil yakıtlarına ulaşımın kolay olması ve yenilenebilir enerjinin öneminin fark edilmemesi olarak sıralayabiliriz. Fakat fosil kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olduğu ve yeni kaynakların oluşması için binlerce yıl gerektiğinden yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, rüzgâr, güneş, biokütle ve jeotermal) önem kazanmıştır [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artıran bir diğer etken ise yaşanan çevre felaketleri ve küresel ısınmadır [3].

Son yıllarda bu gibi durumların sıklıkla yaşanması güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinden beklenenden daha fazla artış sağlanmaktadır. Bu iki kaynağın diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak hem doğanın dengesini sağlaması hem de farklı amaçlar için kullanılmasından dolayı önemlidir [4].

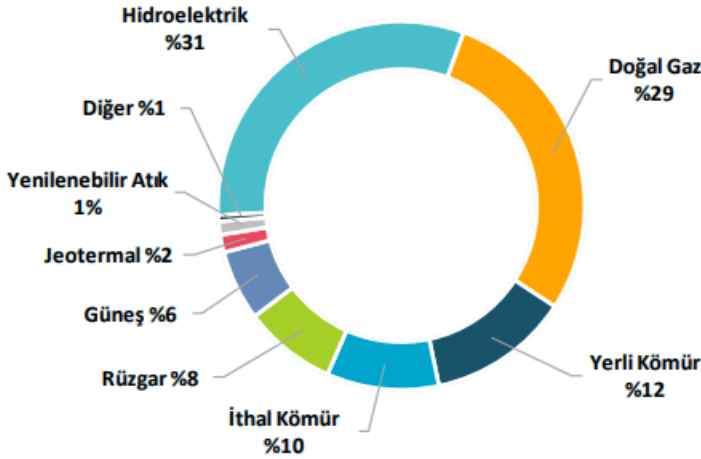
Yenilenebilir enerji kaynaklarının gün geçtikçe önem kazanmasında, kaynağının tükenmemesi kısa bir sürede kendisini yenileyebilmesi, atmosferi kirliletmemesi ve enerjide dışa bağımlılığı azaltması olarak sıralayabilir [5]. Özellikle de enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde enerjilerinin kendilerinin üretmesi yenilenebilir enerji konusunda hızlı gelişmelere neden olmaktadır [6]. Almanya gibi sanayisi gelişmiş olan ve enerji ihtiyacı sürekli artan ülkeler yenilenebilir enerji konusunda öncü olan ülkeler konumuna gelmişlerdir. Almanya 1990 yılında 20 milyon kWh elektrik enerji üretimini yenilenebilir kaynaklardan karşılarken 2015 yılında yaklaşık olarak 190 milyon kWh elektrik enerjisini yenilenebilir enerjiden karşılamaktadır [7]. Şekil 1 de Dünya enerji tüketiminin yıllara göre değişimi görülmektedir.

Dünya enerji tüketimi (Petrol karşılığı milyon ton)



Şekil 1. Dünya enerji tüketiminin yıllara göre değişimi [9].

Her geçen gün artan enerji talebine karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır. 2010 yılında % 80 olan yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının kullanımı 2016 yılına gelindiğinde % 76,3 e düşmüştür. Şekil 2 de Türkiye'nin 2019 yılı için kaynaklara göre kurulu güç dağılımı görülmektedir.

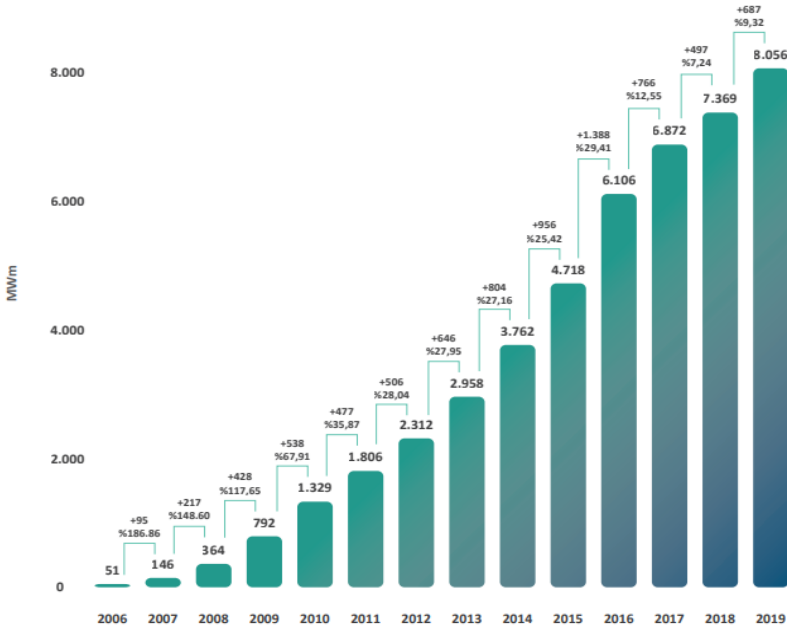


Şekil 2. Kaynaklara Göre Kurulu Güç Dağılımı (Eylül 2019) [10].

2. Rüzgâr Enerjisi

Kaynakların kullanımına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı içerisinde hidrolik enerjisi gücünün ve potansiyelinin yüksek olması ile ilk sıradadır. Rüzgâr enerjisi ikinci sırada yer almaktadır. Rüzgâr enerjisinin birçok üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlar; temiz bir enerji olması, karbon emisyonun olmaması, kurulduğu coğrafyaya istihdam sağlaması gibi sıralanabilir [11]. Rüzgâr enerjisi ayrıca enerji arz ve güvenliğini sağlaması açısından ve dışa bağımlılığı azaltması yönünden de oldukça avantajlıdır [12].

Rüzgâr enerjisi rüzgâr hızının küpüyle orantılı olarak değişir. Türbinlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da rüzgâr enerjisinin yenilenebilir ve ücretsiz oluşu başlı başına bir faydadır. Her şeyden önce rüzgâr, sınırsız, özgür ve yenilenebilir bir kaynaktır. Rüzgâr doğal bir oluşumdur ve rüzgârın kinetik enerjisini toplamak, akımları veya doğadaki rüzgâr çevrimlerini hiçbir şekilde etkilemez. Ayrıca, rüzgâr gücünün toplanması, elektrik üretmek için temiz ve kirlenici olmayan bir yoldur. Diğer enerji santrallerinin aksine, hava, kirlenici madde veya sera gazı yaymaz. Rüzgâr türbinleri, zarar vermeden rüzgârın kinetik enerjisi sayesinde elektrik üretir. Rüzgâr enerjisi, elektrik için fosil yakıtların yanmasından çok daha çevrecidir. Şekil 3 de Türkiye’de yıllara göre rüzgâr enerjisi kurulu güçlerinin değişimi görülmektedir.

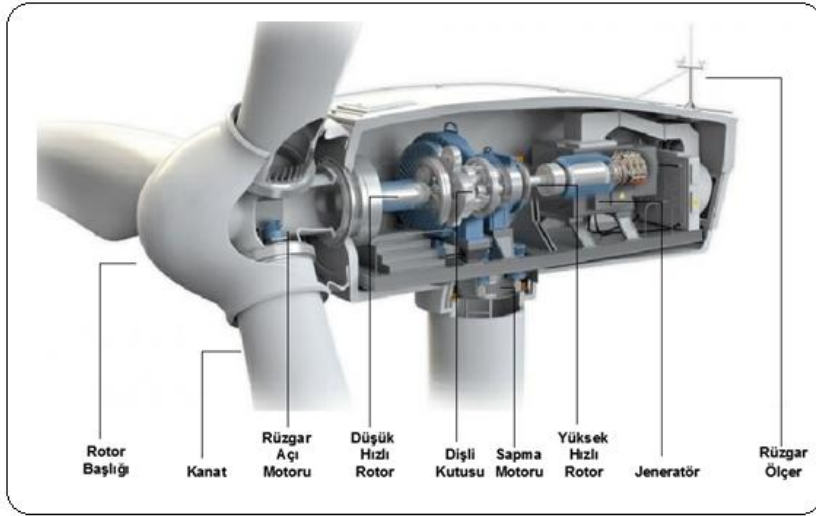


Şekil 3. Türkiye’de yıllara göre rüzgâr enerjisi kurulu güçleri [13].

3. Rüzgâr Enerjisi Simülasyon Çalışması

Yaptığımız bu çalışmada da ikinci en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden yararlanmak için kullanılan rüzgâr türbinlerinin WindFarm demo programını kullanarak simülasyonu gerçekleştirmek ve oluşabilecek olan durumları analiz etmek mümkün olmaktadır

Rüzgârlar, farklı sıcaklıktaki hava kütlelerinin alçak ve yüksek basınçlara maruz kalması ile meydana gelmektedir. Bilim insanları oluşan bu hava akımlarına karşı bazı sistemler geliştirerek rüzgârın gücünden yararlanmanın yollarını bulmuşlardır. Günümüzde rüzgâr enerjisinden faydalanmak için kullanılan en yaygın yöntem rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri, kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye ardından da elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir [14]. Şekil 4’de rüzgâr türbininin içyapısı gösterilmektedir.



Şekil 4. Rüzgâr türbininin içyapısı

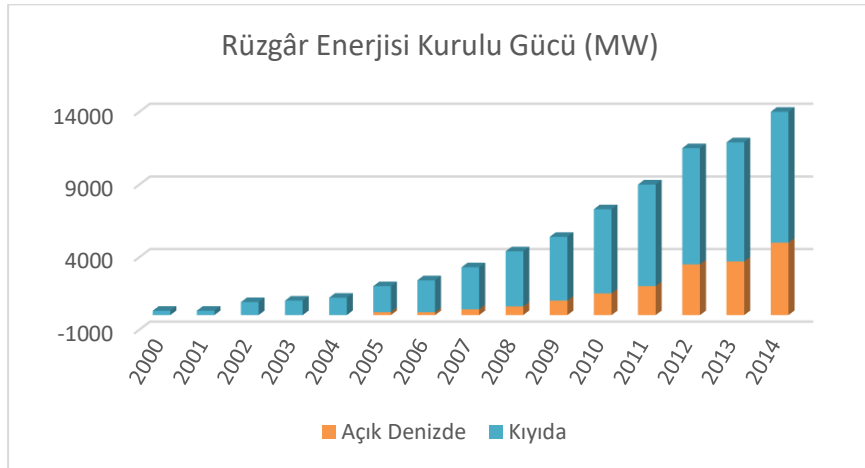
Bir rüzgâr türbininde genel olarak bulunan ekipmanlar; rotor, dişli kuruşu, fren sistemi, rotor mili ve jeneratör temel bileşenlerinden oluşmaktadır [15]. Rüzgâr türbinleri dikey eksenli ve yatay eksenli olarak imal edilirler. Bu şekilde imal edilmelerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Rüzgâr türbinleri imal edilirken kuruldukları coğrafyanın yapısı dikkate alınarak ölçülen rüzgâr hızına göre türbin seçimi yapılmaktadır. Hatalı yapılan ölçümler ve uygun olmayan türbin seçimi ciddi parasal kayıplar meydana getirmektedir [16]. Bazı durumlarda coğrafyanın yapısına bağlı olarak birden

fazla rüzgâr türbini kurulumuna uygun olmaktadır bu gibi durumlarda ölçümlerin daha uzun süreli yapılması istenmektedir. Rüzgâr türbinleri rüzgârın hızının 4 m/s üzerine çıktıklarında elektrik enerjisi üretirler. Genel olarak rüzgâr türbinleri kurulduğu bölgeye göre 500 kW başlayarak 3 MW kadar imal edilirler [17].

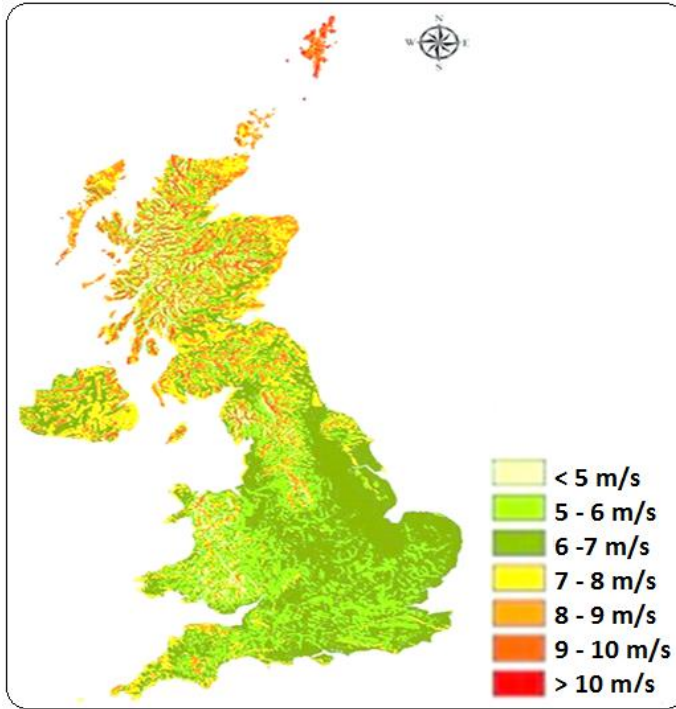
4. Rüzgâr Türbinin Kurulduğu Lokasyon ve Yerleşim Haritası

Bilindiği gibi rüzgâr santralleri açık denizlere ve kara parçaları üzerine kurulmaktadır. Bu çalışmada rüzgâr enerjisinde büyük gelişmeler gösteren ve rüzgâr enerjisi yatırım yapan İngiltere örneği ele alınarak, kara parçası üzerine optimum rüzgâr santrali simülasyonu yapılmaktadır. Bu sayede bu bölgede kurulan bir rüzgâr santralinin üretim verilerini santral kurmadan görmek mümkün olmaktadır. Bu şekilde kurulmak istenene rüzgâr santrallerinde yaşanan sıkıntıların önüne geçmek mümkün olmaktadır. Kurulmak istene rüzgâr santrallerine etki eden en önemli faktörlerden biri pürüzlülük faktörüdür. Pürüzlülük faktörü kara ve deniz üzerinde farklılıklar göstermektedir. Pürüzlülük faktörü kara üzerinde hesaplanırken yerleşim birimlerinin yapısı, dağların yükseltileri dikkate alınarak hesap edilir. Fakat deniz üzerine kurulan santrallerde böyle bir durum olmadığından genel olarak pürüzlülük faktörü sıfır olarak kabul edilmektedir [18]. İngiltere gibi ada ülkelerinde de pürüzlülük faktörü kurulan santrallerin yerlerine göre farklılıklar oluşturmaktadır. Deniz üzerine kurulan rüzgâr türbinlerinde pürüzlülük faktörü sıfır kabul edilmektedir. Bu durumda doğrudan kara ve denizde üretilen rüzgâr enerjisinin kurulu gücüne etki etmektedir. Şekil 5'te İngiltere'nin açık denizlerde ve kara da rüzgâr gücünün 2000-2015 yılına kadar olan kurulu gücündeki değişimi gösterilmektedir.



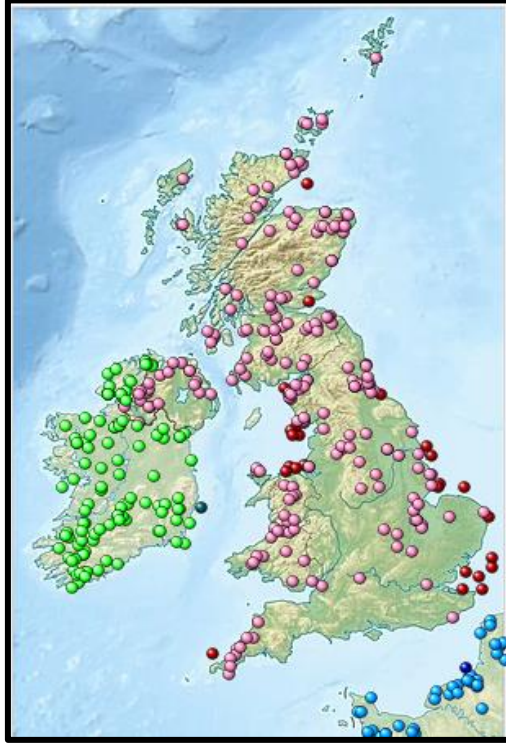
Şekil 5. İngiltere için rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi (2000-2014) [18]

İngiltere gibi yükseltinin yüksek olduğu ülkelerde rüzgâr enerjisi potansiyeli oldukça fazla olmaktadır. Aynı zamanda çevresinin denizlerle çevrili olması ile de rüzgâr enerjisi potansiyeli çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bunun en önemli etkisi rüzgârın açık denizlerden karaya doğru esmesi ile oluşan sert rüzgârlardır. Şekil 6'de İngiltere'nin 25 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr haritası gösterilmektedir.



Şekil 6. İngiltere'nin 25 metredeki rüzgâr hızı haritası [19]

Haritada da görüldüğü gibi 25 metrede dahi rüzgâr hızı oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum kurulmak istenen rüzgâr türbinin yüksekliğine doğrudan etki etmektedir. Rüzgâr türbinleri imal edilirken ölçümü yapılan yerin belirli yükseklikteki rüzgâr hızı değerleri alınarak en uygun yükseklikteki ve güçteki rüzgâr türbini seçimini yapılmaktadır [20].



Şekil 7. İngiltere ve İrlanda'da ve çevresinde rüzgâr çiftliklerinin yerleri [19]

Ölçülen rüzgâr hızı oldukça yüksek olduğundan kurulacak olan rüzgâr santrali 40 metre yüksekliğinde olması rüzgâr enerjisinden yararlanmak için oldukça idealdir. Bu çalışmada da 40 metre çapında ve 40 metre yüksekliğinde rüzgâr türbini tercih edilmektedir. Bu sayede maliyeti de çok yükseltmeden rüzgârdan optimum verim sağlanmaktadır. Şekil 8'da tasarlanan rüzgâr santralinin kurulacağı lokasyon görülmektedir.



Şekil 8. Tasarlanan santralin kurulacağı lokasyona ait harita [19]

Programda rüzgâr santralının kurulacağı lokasyon seçiminden sonra karşımıza lokasyonun coğrafi yapısı gelmektedir. Bu sayede santralin çevresindeki yerleşim birimleri, ormanlık alanlar ve çevrede geçen yollar belirgin bir şekilde görülmektedir. Böylelikle rüzgâr türbinlerinin yerleşimi yapılırken bu durumlara dikkat edilerek planlama yapılmaktadır. Şekil 9’de tasarlanan rüzgâr santralının kurulacağı lokasyonun coğrafi yapısı görülmektedir.



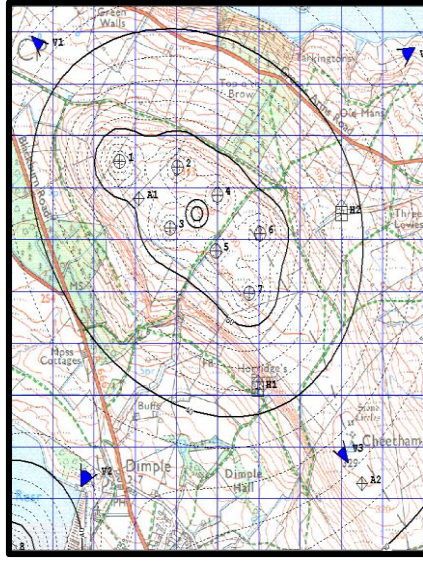
Şekil 9. Tasarlanan santralin kurulacağı alanın coğrafi yapısı [17]

Yapılan çalışmanın daha doğru sonuçlar vermesi ve rüzgâr türbinlerinin yerleşiminin en iyi şekilde yapılması açısından bölgeye ait verilerin çok olması simülasyonun daha gerçekçi değerler vermesi açısından önemlidir. Kullandığımız programda da lokasyonun coğrafi yapısının yanında bölgeye ait resim sunmaktadır. Bu sayede kurulum yapıldıktan sonra oluşabilecek olan durum ve santralin yerleşim yerindeki görüntüleri açıkça görülmektedir. Şekil 10'da tasarlanan santralin kurulacağı arazinin resmi görülmektedir.

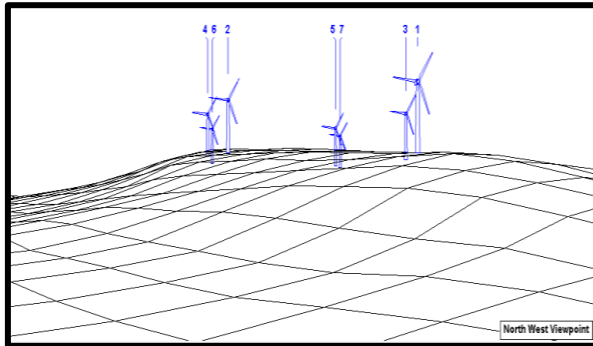
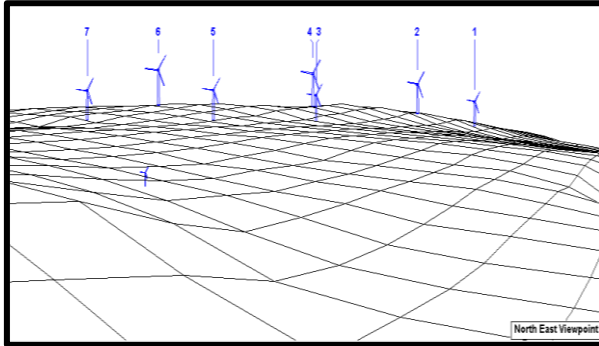


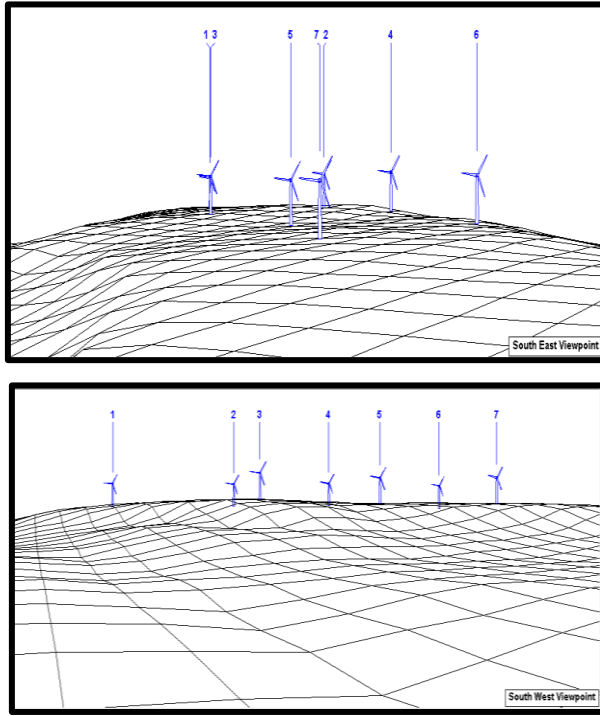
Şekil 10. Tasarlanan santralin kurulacağı alanın arazi resmi [17]

Rüzgâr türbinlerinde pürüzlülük faktörü kadar önemli olan bir diğer durum ise rüzgâr santralleri arasındaki uzaklık ve birbirlerini etkileme durumlarıdır. Yerleşimi yapılan bir rüzgâr türbini kanatlarının dönmesiyle meydana gelen türbülans kendisinden sonra kurulacak olan rüzgâr türbini üzerinde etki oluşturmaktadır. Bu sorunun ortadan kalkması için gerekli hesaplamalar yapılarak türbinlerin yerleşimi bu değerlere göre yapılmalıdır [24]. Yaptığımız bu çalışmada santralin kurulacağı coğrafi arazi üzerine türbinlerin birbirini etkilemeden optimum yerleşimi yapılmaktadır. Şekil 11'de üzerine türbinleler yerleştirilmiş olan arazi yapısı, şekil 12'de de yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin farklı yönlerden alınmış izohips haritası gösterilmektedir.



Şekil 11. Birbirini etkilemeden yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin arazi üzerine yerleşim planı [17]





Şekil 12. Tasarlanan rüzgâr santralinin farklı yönlerde alınmış izohips haritası [17]

Son olarak da daha önceden verilmiş olan arazi resmi ve türbinlerin yerleştirildiği coğrafi harita birleştirilerek gerçek bir simülasyon verisi ortaya konmaktadır. Şekil 13’de yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin arazi üzerindeki konumları görülmektedir.



Şekil 13. Arazi üzerine yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin konumu [17]

Böylelikle yapılan bu çalışma ile birlikte rüzgâr santrallerinde optimum verimin sağlanması için yapılan ön hazırlıklara destek olarak rüzgâr türbinlerindeki verimliliklerin artması hedeflenmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Hızla artan hava kirliliği ve fosil yakıtlarının rezervlerindeki hızlı azalmalar enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinde etkili olmuştur. Yapılan araştırmalar bilim insanlarını kaynağı tükenmeyen ve çevreyi en az derecede kirleten yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Araştırılan bu kaynaklar ile birlikte uygulanan politikalar yenilenebilir enerjinin önemini her geçen gün arttırmaktadır. Özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklara büyük yatırımlar yapmaktadır. Yapılan bu çalışmada da yenilenebilir enerji kaynaklarında biri olan rüzgâr enerjisi üzerine bir çalışma yapılmaktadır. Sanayisi ve ekonomisiyle büyük bir güce sahip olan İngiltere enerjide dışa bağımlı ülkeler arasındadır. Bu bağımlılığı azaltmak için İngiltere'nin uyguladığı enerji politikalarından bir tanesi de rüzgâr enerjisine olan yatırımlardır. Ülke genelinde rüzgâr gücünün yüksek olması bu alanda yatırımlar yapılmasında etkili olmuştur. Kurulan rüzgâr santrallerinin öncesinde ve sonrasında birtakım ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamaların doğru yapılması oldukça büyük önem arz etmektedir. Yapılan yanlış hesaplamalar çok büyük enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu gibi durumları en aza indirmek için birtakım programlar ve ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada da rüzgâr santralleri için geliştirilen WindFarm demo programı kullanılarak İngiltere gibi rüzgâr gücü yüksek olan bir ülkeye rüzgâr santrali simülasyonu yapılmaktadır. Bu sayede santralin öncesinde ve sonrasında ki oluşabilecek durumların gözlemlenmesi mümkün olmaktadır.

6.Kaynaklar

1. Mehel N. 2009. Dünya’da Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi: Potansiyeli, Kullanımı Ve Almanya Türkiye Karşılaştırması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Eskişehir.
2. Rüstemli S., Polat Dautov Ç., Akdağ M. 2016. Bitlis İli Elektrik Enerjisinin Dünü, Bugünü ve Yarını, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 172–182.
3. Güzel B. 2012. Açık Deniz Rüzgâr Enerjisi, Fizibilite Adımları İle Bozcaada ve Gökçeada Örnek Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 131s, İstanbul.
4. Rüstemov S. A., Demirtas M. 2004.Rüzgâr Enerjisinin Bugünü ve Yarını UTES 2004, V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul.

5. Hoff S. 2015. Germany's Renewables Electricity Generation Grows in 2015, But Coal Still Dominant, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26372#> (Erişim Tarihi: 27.01.2017)
6. Zervos A. 2016. Renewables 2016 Global Status Report, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR_2016_FullReport_en_11.pdf (Erişim Tarihi: 26.01.2017)
7. Varınca K. B. Varank G. 2004. Rüzgâr Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkenlerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri, <http://www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Dosyalar/Yayinlar/yayin002.pdf> (Erişim Tarihi: 20.01.2017)
8. Almalı M. N., Rüstemli S., Gürçan K. 2013. Ortalama Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğunun Tahmin Edilmesinde Kullanılan Farklı Yöntemler, İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(1): 73–78.
9. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2019/03/sektorel-bakis-2019-enerji.pdf> (Erişim Tarihi: 01.02.2019)
10. <http://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunu-2019.pdf> (Erişim Tarihi: 01.02.2019)
11. Kalyoncu Türkeř E. Ö. 2012. Avrupa Birlięi'nde Rüzgâr Enerjisi: İspanya ve Türkiye Örneği, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Avrupa Birlięi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 289s, İstanbul.
12. Oğuzer C. 2001. Rüzgâr Ölçüm Sistemlerinin Esasları, <http://www.ruzgarsempozyumu.org/wp-content/uploads/2014/08/004.pdf> (Erişim Tarihi: (29.01.2017)
13. https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_ocak_2020.pdf
14. Lalor G., Mullane A., O'Malley M., 2005. Frequency Control and Wind Turbine Technologies, IEEE Transactions On Power Systems, 20 (4): 1905-1913.
15. Koç T. 1998. Ayvalık'da Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 1(2): 1-18.
16. Anonim 2015. *Wind Energy in the UK, (Report 2015)*, United Kingdom: RenewableUK
17. Wind&Sun, 1984. Info on the UK Windspeed Database, <http://www.windandsun.co.uk/information/wind-power/info-on-the-uk-wind-speed-database.aspx> (Erişim Tarihi: 01.02.2019)

18. Bianchi, F.D., Battista H. D., Mantz R. J., (2007), “Wind Turbine Control Systems”, 1th Edition, Springer-Verlag London Limited.
19. Keleş D. 2012. Bir Rüzgâr Türbini Tasarımı ve Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Sakarya.
20. Google map, 2016. Chapeltown place <https://www.google.com.tr/maps/place/Chapeltown,+sheffield@53.634594,-2.4136049,15.5z/data> (Erişim Tarihi: 10.02.2017)
21. Ete T. 2010. Gevaş Gürpınar Bölgesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Saptanması, Yüzüncüyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Van.
22. Yıldırım H. H., (2017), “Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu ile Belirlenmesi”, İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, 82, 76-104.
23. Avcı, B. ve Yılmaz, T. (2012). Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
24. Şentürk, A. E. (2013). Bir Entegre Güneş Kombine Çevrim Santrali Fizibilite Çalışması. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi.

CHAPTER

15

**Recent Advances in Science and
Technology**

**10 kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı
Tasarımı ve Maliyet Analizi (Furkan Dinçer)**

10 kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı Tasarımı ve Maliyet Analizi

Furkan Dinçer

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş*

Özet

Fosil tabanlı kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesi ve meydana getirdiği çevresel sorunlar insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına zorlamıştır. Ayrıca fosil tabanlı kaynakların oluşturduğu sera gazları, küresel ısınma vb. problemler belirginleşmiştir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en etkin, bol bulunan, çevre dostu kaynak ise güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden termal ve elektrik enerjisi olarak iki şekilde yararlanılabilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fotovoltaik paneller kısmı ele alınmıştır.

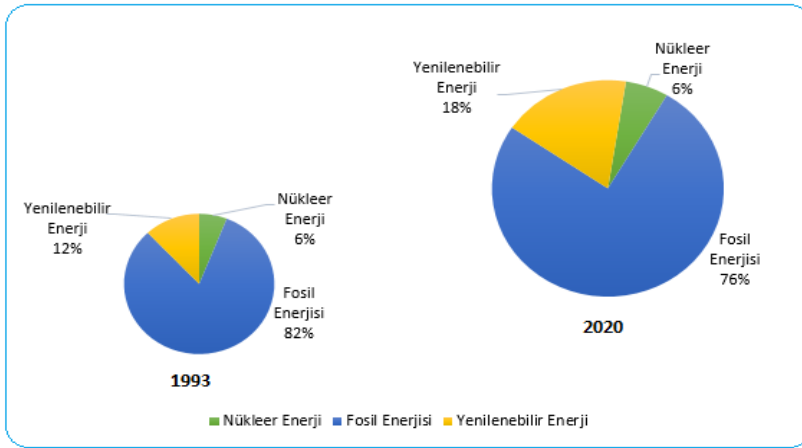
Bilindiği üzere fotovoltaik paneller ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu çalışmada fotovoltaik sistemler kurulurken yaşanan hesaplama hatalarını en aza indirmek için geliştirilen PV-SOL demo programı da kullanılarak güneş enerjisi çatı uygulaması ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile birlikte ayrıca salınımı engellenen CO₂ oranı ve çevresel etkisi de incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Güneş Enerjisi, fotovoltaik sistemler, maliyet analizi, CO₂ salınımı, PV-SOL demo*

1. Giriş

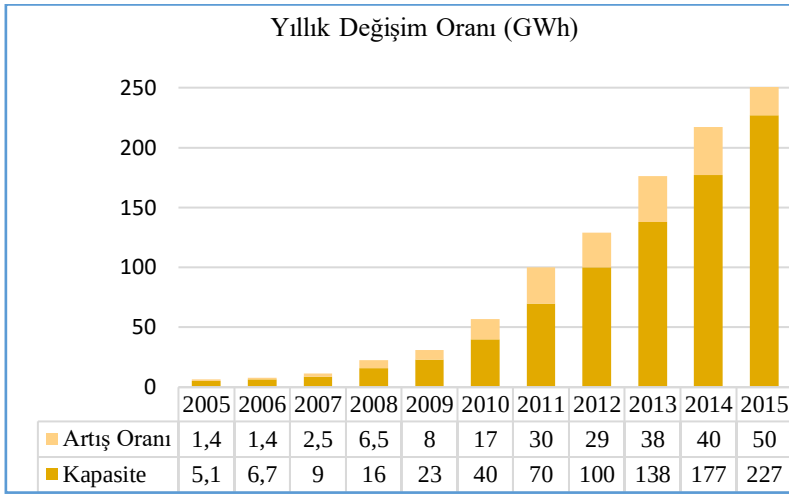
Ekonomik büyümenin ve gelişmişliğin ana göstergelerinden bir tanesi de enerji tüketimidir. Birincil enerji kaynağı olan fosil yakıtlar, toplam enerji ihtiyacının % 79'unu oluşturmaktadır. Bu oranın % 57,7'si ulaşım da geri kalanı ise diğer alanlarda kullanılmaktadır [1]. Bu durum atmosfere salınan CO₂ emisyonu ile doğrudan ilişkilidir [2]. Halen dünyada birincil enerji kaynağı olarak petrol, doğalgaz ve kömür kullanılmaktadır. Fosil yakıtlarındaki talep artışları ile birlikte rezervlerinin azalması, yaşanan petrol krizleri yenilenebilir enerjinin önemini artırmıştır [3]. Bu nedenledir ki son yıllarda kullanımı yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynakları birçok ülkede önemli bir kaynak olarak görülmektedir [4]. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarını oranı her yıl % 15-30 arasında artmaktadır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki bu artışın başlıca nedenleri; kaynağının sınırsız olması, kendisini kısa bir süre içerisinde yenileyebilmesi, sera gazı etkisi oluşturmaması olarak sıralanabilir. Bugün dünyamızda kullandığımız başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgâr, güneş, biyogaz ve jeotermal enerjidir [5]. Bu kaynakların 1993 yılında ki toplam enerji tüketimindeki oranı ve 2020 yılına gelindiğinde toplam enerji tüketimindeki oranı Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. 1993-2020 yılları arasında enerji kaynaklarındaki değişim oranı [6]

Her geçen gün artan yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de güneş enerjisidir. Dünya var olduğundan beri her gün kendisini yenileyen güneş, bizlere tükenmeyen bir enerji kaynağı sunmaktadır. Güneşin toplam ışıyım değeri yaklaşık olarak 174 petawatt saat değerindedir. Dünya ya bir yılda ulaşan toplam güneş enerjisi oranı dünyadaki tüm fosil kaynakları ve uranyum kaynaklarının iki katı değerindedir. Dünyamıza gelen güneş enerjisinin bir saniyedeki değeri yaklaşık olarak 4 trilyon 100 W’lık ampule eşdeğerdir [7]. Bu kadar yüksek değere sahip olan güneş enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Dünyamızda güneş enerjisi kullanımı çok öncelere dayansa da kullanılan güneş enerjisi daha çok sıcak su elde etmek için kullanılmaktaydı. Fotovoltaik teknolojinin ortaya çıkmasından sonra güneş enerjisinden sadece sıcak su elde etmek için değil aynı zamanda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Önceki yıllarda teknolojik zorluklara bağlı olarak yüksek olan kurulum maliyeti, son yıllardaki gelişmeler ile birlikte ucuzlamaktadır. 2005 yılında güneş enerjisinden elektrik üretim oranı ve 2015 yılındaki güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme oranlarındaki değişim Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Güneş enerjisi kullanım oranının 2005-2015 yılları arasındaki değişimi [8]

Dünyadaki bu gelişmeye paralel olarak ülkemizde de güneş enerjisine olan ilgiyi artmaktadır. Ülkemizin dünya üzerindeki konumu itibarıyla dünyada güneş enerjini en fazla alan ülkeler arasındadır. Güneş enerjisi kullanımı ülkemizde daha çok sıcak su elde etmek için yapılmaktadır. Dünya geneline bakıldığında güneş enerjisinde sıcak su elde etmede; Çin %71, ABD % 4, Almanya %3 ve ülkemiz %3'lük kullanımı ile dördüncü sırada yer almaktadır [8].

Güneş enerjisinden sıcak su elde etme alanında dünyada dördüncü sırada bulunan ülkemiz güneş enerjiden elektrik enerjisi ele etme konusunda diğer ülkelerden oldukça geridedir. Bunun başlıca nedenleri elektrik enerjisi elde etmek konusunda güneşe olan ilginin düşük kalması ve yeteri kadar uygulanmayan politikalar [9]. Ölçülen değerlere göre; ülkemizin yıllık güneşlenme süresi 2737 saat ve günlük güneşlenme süresinde 6,8 saat olarak ölçülmüştür [10].

Çıkarılan kanunlar ve uygulanan teşviklerle birlikte güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme konusunda ülkemizde hızlı bir gelişim olmaktadır. Santral kurulum maliyetlerinin nispeten ucuzlaması ve gerekli alt yapının oluşması ile birlikte hızlı bir gelişme göstermektedir. Lisanssız olarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde ilk zamanlar kapasiteler 500 kW değerinde sınırlı tutuluyorken daha sonraki zamanlarda bu sınır 1000 kW değerine çıkarılmıştır. Günümüzde mevcut durumda lisanssız enerji üretim kapasitesi sınırlaması kalkmıştır [11]. Küçük işletmelerin kendi enerjisini üretmek istemesi ve akıllı bina teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte fotovoltaik paneller birçok noktada karşımıza çıkmaktadır.

Hızla artan güneş enerjisi santralleri beraberinde fizibilite çalışmalarının da önemini artırmaktadır. Kurulumu yapılan santrallerde yeterli çalışmaların

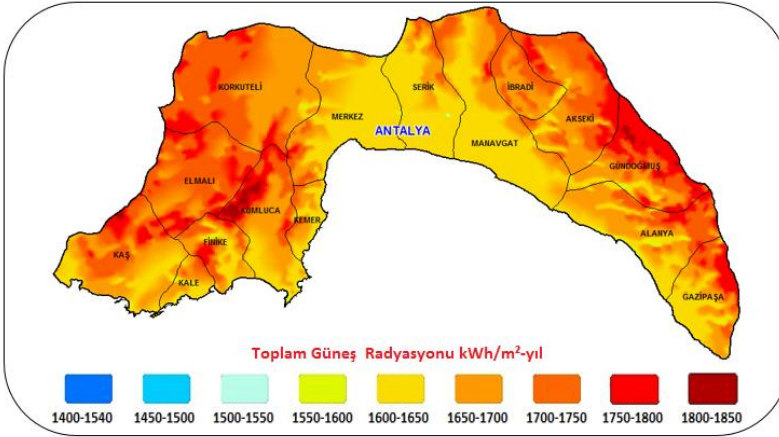
yapılmaması ciddi enerji kayıpları meydana getirmektedir [12]. Bu gibi durumları ortadan kaldırmak ve santralde oluşabilecek durumları önceden belirlemek için geliştirilen programlardan bir tanesi de PV-SOL demo programıdır. Bu program ile güneş enerjisi santrali kurulmadan santralde meydana gelebilecek olan durumları gözlemlemek mümkün olmaktadır.

2. Tasarımın Yapıldığı Lokasyon ve Santral Tipi

Yapılan bu çalışmada PV-SOL demo programı kullanarak kullanımı artan güneş enerjisi santrallerinin çatı uygulaması yapılmaktadır. Böylelikle küçük güçlü güneş enerjisi santrallerinin çatı uygulamasının artması beklenmektedir. Bir güneş enerjisi santrali kurulumu yapılırken, öncelikli olarak santralin kurulacağı lokasyonun ışınlam değerleri ve yıllık güneşlenme sürelerinin bilinmesi gerekmektedir [13]. Güneşlenme süresi ve radyasyon değerinin bilinmesi, çalışmanın yıllık enerji üretiminin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada santralin kurulacağı yer olarak Antalya ili tercih edilmektedir. Antalya ilinin yıllık güneşlenme süresi 3,011 s/yıl ve radyasyon değerleri ise 1,646 kWh/m²-yıl'dır [14]. Şekil 3'te güneş enerjisi santralini kurulduğu lokasyon ve Şekil 4'de lokasyonun yıllık güneş enerjisi radyasyon değeri verilmektedir.



Şekil 3. Güneş enerjisinin kurulduğu lokasyon [15]

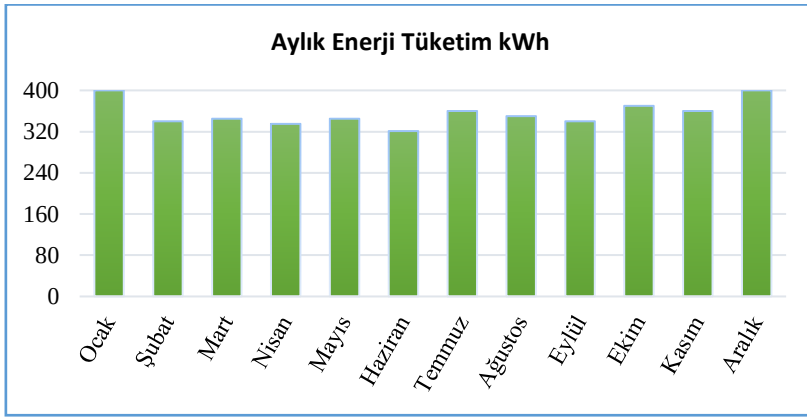


Şekil 4. Lokasyonun yıllık güneş enerjisi radyasyon değeri [14]

Güneş panelleri iklim koşullarına göre sıcaklıktan olumsuz olarak etkilenmektedirler. Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda gerilim düşümü ve buna bağlı olarak güç kaybı yaşanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde performans ve maliyet analizi yapılırken sıcaklığın dikkate alınması çok önemlidir. Bu çalışmada Antalya ili için 10 yıllık iklim verilerinin ortalaması alınmış ve buna bağlı olarak sıcaklığın performansa ve maliyete etkisi PV-SOL demo programı ile hesaplanmıştır.

Lokasyon seçimi ve yıllık güneş enerjisi radyasyon değeri belirlenmesinden sonra, santral tipi seçimi yapılmalıdır. Güneş enerjisi santralleri temelde iki farklı şekilde kurulurlar. Bunlar şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız sistemleridir [16]. Şebeke bağlantısız sistemlerde üretilen elektrik enerjisi sadece iç tüketimi karşılamak için tasarlanmaktadır. Şebeke bağlantılı sistemlerde ise iki farklı durum söz konusudur. Bunlar; iç tüketimin olmadığı sadece üretilen enerjinin şebekeye aktarıldığı sistemler ve iç tüketimin dahil edildiği sistemlerdir. Yapılan bu çalışmada iç tüketimin de dahil edildiği şebeke bağlantılı sistem kurulmaktadır. Şekil 5'te iç tüketimin dahil edildiği şebeke bağlantılı sistem görülmektedir.

İç tüketimin dâhil edildiği sistemlerde iki farklı sayaç kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi tek yönlü sayaç (brüt sayaç); güneş enerjisi santralinin ürettiği enerji miktarını belirlemek, ikinci ise çift yönlü sayaç (esas sayaç); bu sayaçta santralde üretilen elektrik enerjisinin iç tüketimi karşıladıktan sonra fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı ve havanın kapalı olduğu ve santralin enerji üretmediği günlerde iç tüketimin ihtiyaç duyduğu enerjiyi şebekeden karşılamak için kullanılmaktadır.



Şekil 6. İki çocuklu bir ailenin yıllık enerji tüketimi

Hesaplanan iç tüketimden sonra belirlenen enerji ihtiyacı ve santralin kurulacağı çatının alanı belirlenerek şebekenin kurulu gücü çıkarılır. Yapılan bu çalışmada program içerisinde çatı seçimi yapılabileceği gibi, çalışma alanına çatı resimleri de yüklenebilmektedir. Şekil 7’de santralin kurulumu yapılacak olan evin çatısı gösterilmektedir.



Şekil 7. Santralin kurulumunun yapılacağı evin çatısı

Santralin kurulacağı evin çatısının belirlenmesinden sonra kullanılacak olan fotovoltaik panel belirlenmektedir. Fotovoltaik paneller, yapısına ve çıkış gerilimlerine göre değişiklik göstermektedir [17]. Fotovoltaik panellerin seçimi yapılırken santrali kurulacağı alan ve toplam enerji ihtiyacı dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada evin yıllık gideri ve santralin kurulacağı alan da dikkate alınarak Canadian Solar firmasına ait SUPERPOWER CS6K-300MS monokristal yapılı fotovoltaik paneller tercih

edilmektedir. Daha büyük güçte fotovoltaik panelleri kullanmak, maliyeti arttırdığından ideal seçim yapmak gerekmektedir. Tablo 1’de santral için kullanılan SUPERPOWER CS6K-300MS monokristal yapılı fotovoltaik panellerin elektriksel değerleri verilmektedir.

Tablo 1. SUPERPOWER CS6K-300MS monokristal yapılı fotovoltaik panellerin elektriksel değerleri [18]

	Değerler	Birimleri	CS6K-300MS
Standart Test Koşulları Altında (Işınım 1000W/m^2)	Nominal Güç	($P_{\text{max}}\text{-W}$)	300
	Nominal Güç Voltajı	($V_{\text{mp}}\text{-V}$)	32,5
	Nominal Güç Akımı	($I_{\text{mp}}\text{-A}$)	9,24
	Açık Devre Voltajı	($V_{\text{oc}}\text{-V}$)	39,7
Hücre Sıcaklığı 25°C	Kısa Devre Akımı	($I_{\text{sc}}\text{-A}$)	9,83
	Modül Verimliliği	($\eta\text{-\%}$)	18,33

Kullanılacak olan panel tipi ve gücünün belirlenmesinden sonra panellerin çatı üzerine yerleşim planı yapılmaktadır. Çatı üzerine kurulan santrallerde çatıda bulunan ekipmanlar dikkate alınarak yerleşim yapılmaktadır. Çatılarda genel olarak baca, tv anteni, sıcak su kolektörü ve çatı katı aydınlatma pencereleri sıklıkla karşılaşılan ekipmanlardır. Bu ekipmanlar santraldeki panel sayısını azaltmakta aynı zamanda gölgelenme faktörü oluşturarak santralin verimliliğini etkilemektedir. Program içerisine daha önceden yüklenen çatı resmi çalışma alanına alınarak santralin kurulacağı alan belirlenir. Belirlenen alana çatıda bulunan ekipmanlarda dikkate alınarak panellerin yerleşimi yapılmaktadır. Şekil 8’de panellerin yerleşiminin yapılacağı alanlar gösterilmektedir.



Şekil 8. Panellerin yerleşiminin yapılacağı alanlar

Panellerin yerleşiminin yapılacağı alanlar yeşil renkli noktalar ile gösterilirken panellerin yerleşimine uygun olmayan alanlar kırmızı noktalar ile gösterilmektedir. Böylelikle hangi alanların panel yerleşimine uygun olduğu açıkça görülmektedir.

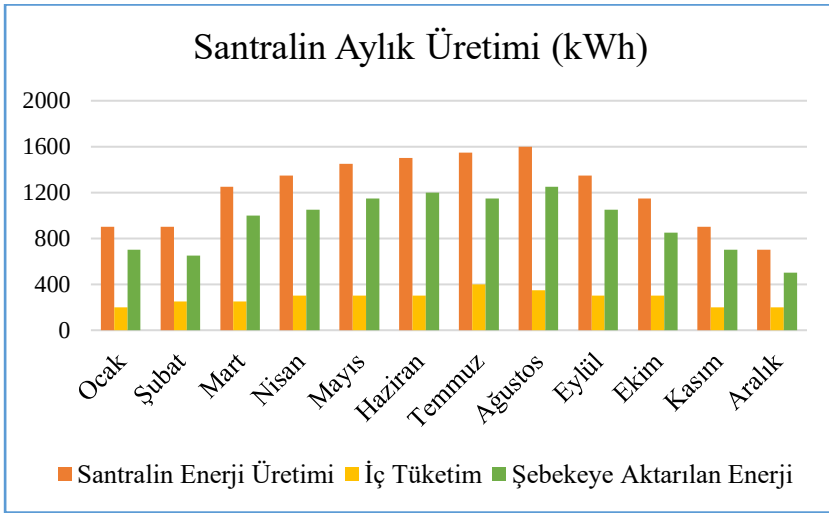
Panellerin yerleştirileceği noktaların belirlenmesinden sonra çatı eğimi de dikkate alınarak program panellerin yerleşimini gerçekleştirmektedir. Şekil 9'da çatıya yerleşimi yapılan fotovoltaik paneller görülmektedir.



Şekil 9. Çatıya yerleşimi yapılan fotovoltaik paneller

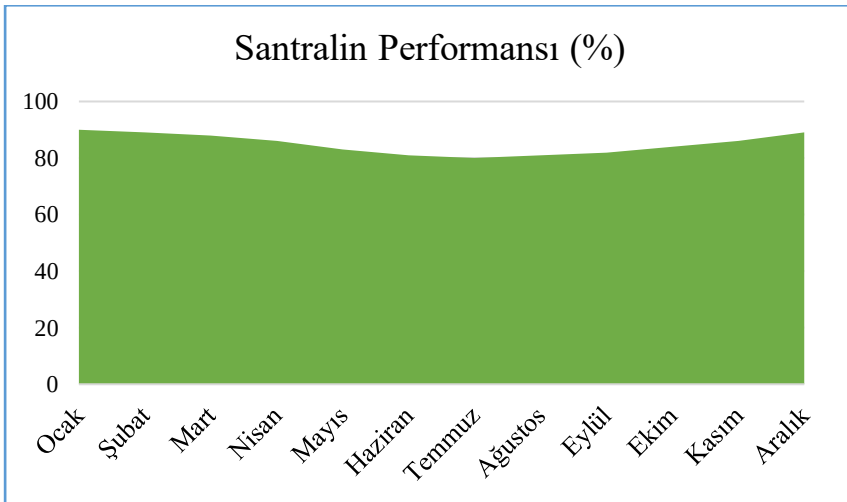
Fotovoltaik panellerin çatı üzerine yerleşiminin yapılmasından sonra kurulu güce göre inverter seçimi yapılmaktadır. İnverter seçim kriteri toplam panel sayısı ve kurulu güce göre belirlenmektedir. İnverter seçiminden sonra program içerisinde performans grafikleri oluşmaktadır.

Her kurulan fotovoltaik santralin günlük, aylık ve yıllık enerji üretim verileri bilinmek istenen bir durumdur. Bu grafikleri göre enerji giderleri ve amortisman süresi hesaplanmaktadır. Şekil 10'da fotovoltaik panellerde üretilen elektrik enerjisinin aylara göre üretim verileri ve iç tüketimin santralde tükettiği enerji değerleri gösterilmektedir.



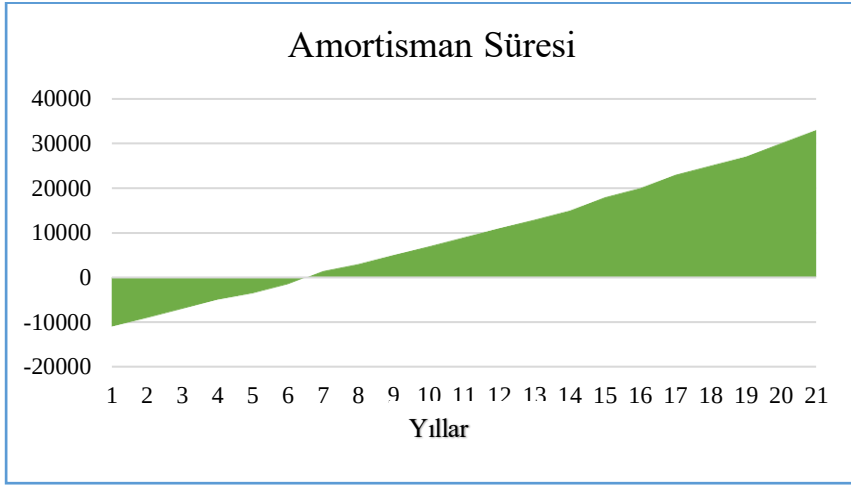
Şekil 10. Fotovoltaik panellerde üretilen enerji ve iç tüketim harcaması

Aylara göre fotovoltaik panellerde üretilen enerji oranındaki değişimlerin temel nedeni, panellerin yaz ve kış aylarındaki performansından kaynaklanmaktadır. Fotovoltaik panellerin çalışmasına etki eden temel iki neden çalışma sıcaklığı ve güneş ışınım değeridir [19]. Santralin kurulduğu Lokasyona bağlı olarak fotovoltaik panellerin aylara göre çalışma performansı şekil 11’de görülmektedir. Grafikte çalışma performansının yaz aylarında bir miktar düştüğü görülmektedir. Bunun temel nedeni yaz aylarında yüksek seyreden hava sıcaklığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 11. Aylara göre fotovoltaik panellerin çalışma performansı

Santralin çalışma performansı amortisman süresinin değişimine doğrudan etki etmektedir. Çalışma performansına etki eden etmenler; sıcaklık, gölgelenme, inverter kayıpları ve panelin yerleştirme açısı kayıpları olarak sıralanabilir [22]. Amortisman süresi ne kadar uzun olursa santralde o kadar uzun sürede kazanca geçmektedir. Santralin yıllık güneşlenme süresi de santralin amortisman süresi üzerinde etkilidir. Şekil 12’de santralin amortisman süresi görülmektedir.



Şekil 12. Kurulan güneş enerjisi santralinin amortisman süresi

Böylelikle güneş enerjisi santralleri kurulmadan oluşabilecek durumlar analiz edilmekte ve yaşanacak problemlerin önceden çözümü mümkün olmaktadır.

3. Maliyet Analizi

Yenilenebilir enerji sistemleri maliyetleri, fosil kaynaklarına göre farklılıklar oluşturmaktadır. Nitekim fosil yakıtlarının ilk kurulum maliyeti düşük olmasına karşı ham maddenin alınması ve işletilmesi maliyeti zamana yayarak artırmaktadır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynaklarında ise ilk kurulum maliyeti yüksek olmakla birlikte sonraki yıllarda maliyet giderlerinde ciddi düşüşler yaşanmaktadır [21].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi sistemlerinde maliyeti oluşturan etmenler; fotovoltaik paneller, akü grubu, inverterler, elektrik sayaçları, bağlantı kabloları ve montaj malzemeleri olarak sıralanabilir [23]. Şebeke bağlantılı sistemlerde genel olarak akü grubu maliyete dahil edilmemektedir. Bu sistemlerde enerji ihtiyacı durumunda şebeke önünde bulunan çift yönlü sayaç ile şebekeden karşılanmaktadır. Daha öncesinde verilen 2 çocuklu bir ailenin yıllık ortalama enerji ihtiyacı programa 4308 kWh olarak program içerisinde verilmektedir. Bu aileni ortalama elektrik enerjisi tüketimi ise;

$$\text{Aylık Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Yıllık Enerji Tüketim (kwh)}}{12} \quad (1)$$

$$\text{Aylık Enerji Tüketimi} = \frac{4308 \text{ kwh}}{12} = 359 \text{ kWh}$$

Denklem 1'e göre aylık enerji tüketimi 359 kWh olarak hesaplanmaktadır. Bundan sonra bir ailenin ortalama günlük elektrik enerjisi ihtiyacı ise aylık ortalama değerin gün sayısına bölümü ile ortaya çıkmaktadır. Buradan da bir ailenin günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 11,96 kWh olarak ortaya çıkmaktadır. Denklem 2'ye göre gerekli olan panel sayısı, paneller tam olacağından 5 olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmada evin çatısı alan bakımından geniş olduğundan yerleştirilen panel sayısı da artmaktadır. 46 m² olarak hesaplanan evin çatısına 30 adet fotovoltaik panel yerleşimi yapılmaktadır. Böylelikle hem evin ihtiyacı karşılanmakta hem de üretilen elektrik enerjisi şebekeye aktarılmaktadır. Evin çatısına yerleştirilen güneş enerjisi panellerinden sonra ortaya çıkan malzeme giderleri ve toplam maliyeti tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Güneş enerjisi santralinde kullanılan malzemelerin toplam maliyeti

Ürün Adı	Birim Fiyatı	Adet/metre	Toplam Maliyet
Fotovoltaik Panel	81 \$	30 adet	2430 \$
İnverter	1350 \$	1 adet	1350 \$
Çift Yönlü Sayaç	150 \$	1 adet	150 \$
Tek Yönlü Sayaç	130 \$	1 adet	130 \$
Kablolar	0,65 \$	150 metre	97,5 \$
Montaj Malzemeleri	-	-	800 \$
İşçilik	-	-	1000 \$
Toplam Maliyet			5957,5 \$

Böylelikle bir güneş enerjisi santrali çatı üzerine kurulması istendiği durumda oluşabilecek olan maliyet analizi ortaya konmaktadır.

4. Güneş Enerjisi Santralinin Çevresel Etkileri

Günümüzde, elektrik enerjisini elde etmek için kullanılan fosil tabanlı kaynakların çevreye çok büyük negatif etkileri olmaktadır. Fosil kaynaklarından çevreye salınan başlıca zehirli gazlar; nitrojen oksit (NO_x), Sülfür dioksit (SO₂), Karbondioksit (CO₂) vb. sera gazlarıdır. Bunlarla birlikte ortaya büyük miktar da kül de çıkmaktadır [24]. Ülkemizde fosil

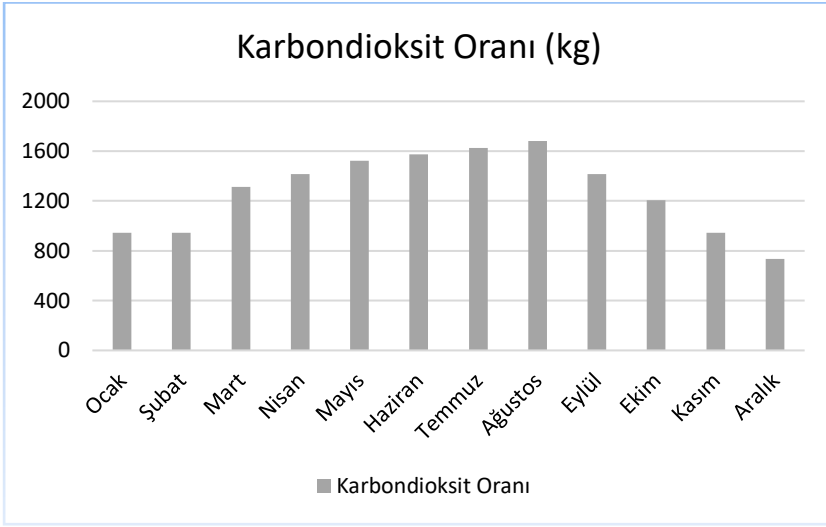
kaynaklarından çevreye salınan gazların en büyük kaynağı elektrik enerjisi üretim sektörüdür. Elektrik enerjisi üretmede çevreye salınan sera gazı emisyonunun üçte biri elektrik enerjisi üretilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde taş kömürü ve linyitten elektrik enerjisi elde etmesi bunun en temel nedenidir [25]. Buna karşın ülkemizde sera gazı emisyonunu azaltmak için kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneşin sürekli var olması, çevresel atıklar bulundurmaması, karmaşık sistemlere gereksinin duymaması açısından kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [26]. Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında kullanılan kaynakların ortaya çıkardıkları karbondioksit oranları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Elektrik enerjisinin çeşitli kaynaklardan karşılanması ile ortaya çıkacak olan CO₂ oranları [27]

Kaynak Tipi	CO ₂ Emisyon Değerleri gram/kWh
Rüzgâr	9-10
Hidrolik	10-13
Biyokütle	14-35
Güneş	13-32
Jeotermal	38
Nükleer	66
Dogalgaz	443-664
Petrol	778
Kömür	960-1050

Güneş enerjisinin çevre kirliliğine yol açmaması, CO₂ oluşturmaması nedeniyle son zamanlarda kullanımında da hızlı artışlar yaşanmaktadır. Sadece açık arazilere değil evlerin çatılarındaki uygun alanlara da kurulumu yapılmaktadır. Nitekim bu çalışmada da bina çatısına uygulayarak CO₂ salınımını azaltılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada elde ettiğimiz elektrik enerjisini fosil kaynaklarından olan kömür ile üretilmesi durumunda ortaya çıkacak olan CO₂ oranı aylara göre ortaya çıkacak olan oranları Şekil 13'te verilmektedir.



Şekil 13. 10 kW santralin kömür ile çalışması durumunda ortaya çıkan CO₂ miktarları

5. Sonuç ve Değerlendirme

Yenilenebilir enerjide yaşanan hızlı gelişim enerji kaynaklarının değişimi konusunda ciddi ivme kazanmasına neden olmaktadır. Bugün var olan yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve belirli bir ömürlerinin olması, yenilenebilir enerjide büyük değişimler meydana getirmektedir. Zira Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre petrol kaynaklarının 35-40 yıl, kömür rezervlerinin 220 yıl ve doğalgaz rezervlerinin 65 yıl sonra biteceğini öngörmektedir [20]. Bu durumlar göz önünde bulundurularak, yenilenebilir enerjinin temiz ve çevreci olması, kaynağının sınırsız olması ilginin artmasında önemli rol oynamaktadır. Günlük hayatımızda sıklıkla karşılaşmaya başladığımız yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de güneş enerjisidir.

Bu çalışmada kullanımı artan güneş enerjisi santrali simülasyonu yapılarak oluşabilecek olan durumlar gözlenmektedir. Böylelikle hızlı bir şekilde artan güneş enerjisi santrallerinin maksimum verimde çalışması sağlanarak çok daha fazla elektrik enerjisi elde etmeyi amaçlamaktadır. Yapılan bu simülasyon programı ile birlikte herhangi bir noktaya güneş enerjisi santrali kurulması istendiği durumlarda o bölgenin güneş enerjisi santraline uygunluğu ve üretebileceği elektrik enerjisi değerleri önceden görülmesi mümkün olmaktadır. bu çalışmada güneş enerjisi santrali kurulumu için herhangi bir evin çatısı seçilerek bu çatıya güneş enerji santrali kurulması istendiği durumda doğabilecek durumlar gözlemlenmektedir.

Maliyet analizinin de ortaya çıkarılması ile birlikte de günlük hayatımızda yaygınlaşan güneş enerjisi santrallerinin gelişmesine katkı sağlaması

amaçlanmaktadır. Bunun yanında çevresel etkileri de verilerek çevre bilincinin oluşması ve çevreye salınan CO₂ oranlarının da azaltılması amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Kumar A. Kumar K. Kaushik N. Sharma S. Mishrakumar S., Renewable energy in India: Current status and future potentials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, 2434–2442 (2010).
- [2]. Sadorsky P., Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the G7 countries, Energy Economics, 3, 456–462 (2009).
- [3]. Kandpal J. B. Madan M., Jatropha curcus : a renewable source of energy for meeting future energy needs, Renewable Energy, 2, 159–160, (1995).
- [4]. Lund H., Renewable energy strategies for sustainable development, Energy, 6, 912–919 (2006).
- [5]. Urgun N., Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Türkiye'nin potansiyeli ve bu potansiyelin harekete geçirilmesine yönelik stratejiler, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, (2015).
- [6]. World Energy Council,, world energy resources 2013 survey, England and wales, World Energy Council (2013).
- [7]. <http://energyinformative.org/potential-of-solar-energy/> , (02.02.2017).
- [8]. http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf, (31.01.2017).
- [9]. http://awsassets.wwfr.panda.org/wwfr_yenilenebilirenerjigelecegiveturkiye.pdf , (19.01.2017).
- [10]. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/turkiye-gunluk-guneslenme-suresi-7.pdf>, (11.01.2017).
- [11]. Cezim C., Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Eğitim ve Seminer Etkinlikleri, (2013).
- [12]. Girgin M. H., Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 Mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, (2011).
- [13]. Ajder A., Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2011).

- [14]. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/7.aspx> , (03.02.2017).
- [15]. <https://www.google.com.tr/maps/place/Antalya>, (01.02.2017).
- [16]. Ekinci M., Taşınabilir güneş takip sistemli pv panel dizaynı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, (2015).
- [17]. Bilgin M., Fotovoltaik panellerin verimine panel yüzey sıcaklığı etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2013).
- [18]. http://www.solartoday.nl/uploads/downloads/Canadian_Solar-Datasheet-SuperPower-CS6K-MS-v5.52en.pdf, (06.02.2017).
- [19]. Köprü M. A., Fotovoltaik sistemlerde kablo kayıplarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2006).
- [20]. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO_2014.pdf, (12.02.2017).
- [21]. Öztürk M. , Bozkurt Çırak B. , Özek N., Life cycle cost analysis of domestic photovoltaic system, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, 1-11 (2012).
- [22]. Keçel, S., Türkiye'nin değişik bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik model geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [23]. http://www.emo.org.tr/ekler/12f562f9f252bd3_ek.pdf, (10.02.2017).
- [24]. Büyükzeren R., Altıntaş H. B., Martin K., Kahraman A., Technical, environmental and financial review of photovoltaic applications for buildings: Meram medical faculty hospital, EMO Bilimsel Dergi, 10, 41-52 (2015).
- [25]. Çoban O. , Şahbaz Kılınç N. Yenilenebilir enerji tüketimi karbon ve emisyonu ilişkisi: TR örneği, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 38, 195-208, (2011).
- [26]. <http://www.solar-academy.com/menus/yenilenebilir-enerji-kaynak-larinin-kullaniminin-cevresel-olumlu-etkileri.021729.pdf> , (11.02.2017).
- [27]. Sovacool B. K., Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: a critical survey Energy Policy, 8, 2940–2953 (2008).