

insac

**X. INTERNATIONAL SCIENCE AND ACADEMIC CONGRESS
INSAC 2025 9-11 EKİM 2025 | KEPEZ, ÇANAKKALE | YÜZ
YÜZE VE ÇEVİRİMİÇİ**

**ANA TEMA: 🌐 "BELİRSİZLİKLER ÇAĞINDA BİLİM: GEZEĞEN,
İNSAN VE GELECEK"**

X. International Research Congress on Natural and Engineering Sciences
(INSAC-IRNES 2025)

BİLDİRİLER KİTABI-PROCEEDING BOOK



X. INTERNATIONAL SCIENCE AND ACADEMIC CONGRESS (INSAC-2025)

9-11 EKİM 2025 | KEPEZ, ÇANAKKALE | YÜZ YÜZE VE ÇEVİRİMİÇİ

ANA TEMA: "BELİRSİZLİKLER ÇAĞINDA BİLİM: GEZEĞEN, İNSAN VE GELECEK"

X. International Research Congress on Natural and Engineering Sciences (INSAC-IRNES 2025)

X. International Research Congress on Health and Life Sciences (INSAC-IRHES 2025), 9-11 Ekim 2025 tarihlerinde Kepez/Çanakkale'de gerçekleştirilmiş; kongrenin mühendislik ve doğa bilimleri eksenli, temel bilimsel ilkelerle uygulamalı teknolojileri buluşturan özgün çalışmalarla güçlü bir görünürlük kazanmıştır. Bu ekseninde yer alan bildiriler; malzeme bilimi ve imalat teknolojileri, enerji sistemleri ve sürdürülebilirlik, çevre mühendisliği ve ekolojik izleme, veri-yoğun hesaplama ve yapay zekâ uygulamaları, biyomedikal mühendisliği ve yaşam bilimleri arayüzü, jeo-bilimler ve afet risk azaltımı, endüstri mühendisliği ve lojistik optimizasyonu, mekatronik/robotik ve kontrol, tarım-gıda teknolojileri ile analitik kimya ve ileri karakterizasyon teknikleri gibi başlıklarda derinleşmiştir.

INSAC-IRNES 2025'in gerçekleştirilmesine katkı sunan Bilim ve Düzenleme Kurulları üyelerine, hakemlere, oturum başkanlarına, teknik ekibe ve paydaş kurumlara teşekkür ederiz. Ev sahipliği ve lojistik destekleri için Çanakkale Kepez Belediyesi, Çanakkale Kepez Kent Konseyi ve ÇEBSADER'e minnettarız.



X. International Research Congress on Natural and Engineering Sciences (INSAC-IRNES 2025), Elinizdeki Bildiriler Kitabı, söz konusu oturumlarda sunulan ve çift-kör hakemlikten geçen çalışmaların kalıcı akademik kayıdır. Metinler, deneysel tasarımın açıklığı, ölçüm/doğrulama zincirinin şeffaflığı, hesaplamalı iş akışların yeniden üretilebilirliği ve alan standartlarıyla (ör. uygun metrikler, belirsizlik analizi, kalibrasyon ve hata yayılımı) uyumu esas alınarak editöryal incelemeden geçirilmiştir.

X. INTERNATIONAL RESEARCHES CONGRESS ON NATURAL AND ENGINEERING SCIENCES (INSAC-IRNES 2025)

insac

Yüzyüze ve Çevrimiçi

09-11 Ekim 2025

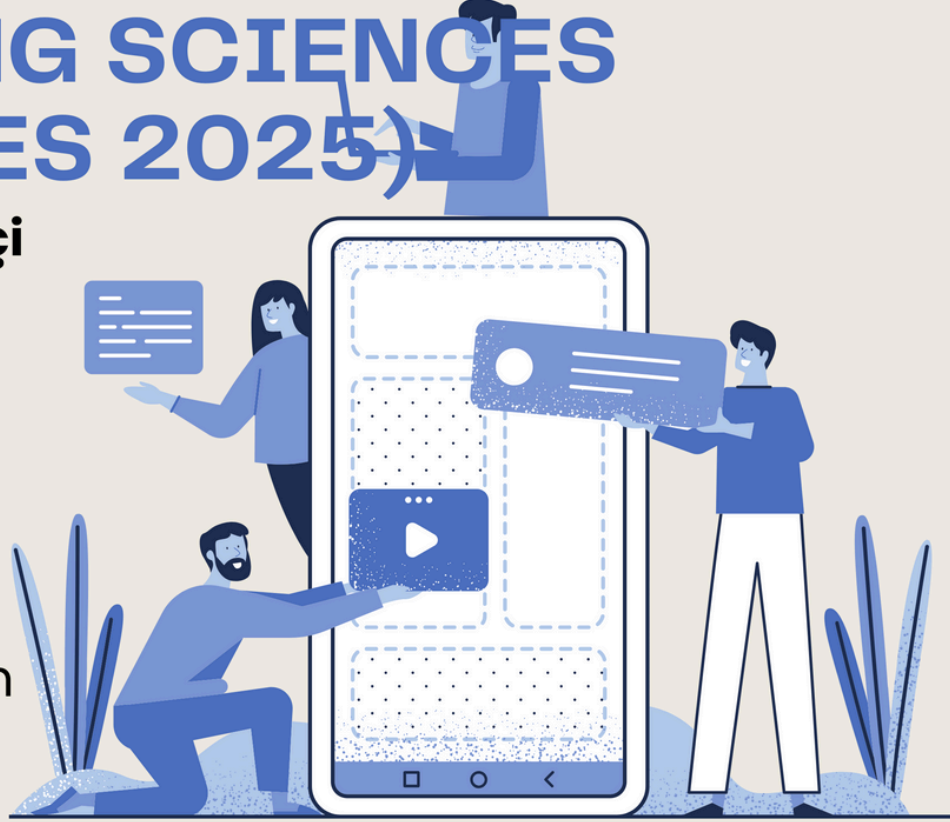
10.00-16.00



Merkez/Çanakkale

**Bildiri gönderimi
son tarih: 4 Ekim 2025**

insackongre@gmail.com
insackongre.org



X. International Research Congress
on Natural and Engineering Sciences (INSAC-IRNES 2025)

BİLDİRİLER KİTABI-PROCEEDING BOOK

insac

9-11 EKİM 2025



ISBN:978-625-5698-99-5

Kongre Başkanları

Prof. Dr. Mehmet Dalkılıç Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Prof. Dr. Nurettin Hatunoğlu Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Kongre Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Bahar Güneş Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi
Doç. Dr. Gürbüz Arslan Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Dr.
Öğretim Üyesi Olkan Senemoğlu Çanakkale Onsekiz Mart
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Bilal Şengül Çanakkale Onsekiz Mart
Üniversitesi
Öğretim Görevlisi Dr. Yetkin Senemoğlu Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Dr. Hilal Erkol İzmit Lisesi,
Rumeysa Aydın Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Buğra Yağcı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bilim ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Adem Çaylak Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Adham Ashirov Özbekistan Bilimler Akademisi Tarih
Enstitüsü
Prof. Dr. Adnan Akın Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmedova Sayyora Muhammadovna Taşkent Devlet Tıp
Üniversitesi
Prof. Dr. Arif Olgun Közleme Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Asem Nurlanova Kazak Amerikan Özgür Üniversitesi
Prof. Dr. Avtandill Ağbaba Sumgayıt Devlet Üniversitesi
Prof. Dr. Bahar Güneş Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi
Prof. Dr. Cumhuriyet Aslan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Ercan ÖZGAN Düzce Üniversitesi
Prof. Dr. Khalil Sahra Jijel Üniversitesi
Prof. Dr. Marzieh Yahyapour Tahran Üniversitesi
Prof. Dr. Metin Açıkyıldız Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Prof. Dr. Murat Ertekin Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Nurettin Hatunoğlu Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Prof. Dr. Naim Ochilovich Sodikov Semerkant Devlet Tıp Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz Özçelik Kastamonu Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Çaha İstanbul Ticaret Üniversitesi
Prof. Dr. Kakhramon Radjabov Özbekistan Bilimler Akademisi Tarih
Enstitüsü Baş Araştırmacısı
Prof. Dr. İsmail Şiriner Batman Üniversitesi
Prof. Dr. Serpil Çakır İstanbul Üniversitesi
Prof. Dr. Tsupikova Elena Viktorovna Sibirya Devlet Otomobil ve
Karayolu Üniversitesi
Doç. Dr. Adnan Çetin Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Barış Borlat Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Emine Sevgi Uçan Çubukçu İstanbul Üniversitesi
Doç. Dr. Ferit Belder Marmara Üniversitesi
Doç. Dr. Fuat Aksu Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Gürbüz Arslan Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Doç. Dr. Halil Emre Deniş Hakkari Üniversitesi
Doç. Dr. Halil Uzun Tarsus Üniversitesi

Doç. Dr. Hamza Ekmen Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Doç. Dr. Leyla Abasova Bakü Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Makbule Şiriner Öner Batman Üniversitesi
Doç. Dr. Rashidov Oybek Rasulovich
Buhara Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Ümran Şengül Çanakkale Onsekiz Mart
Üniversitesi
Doç. Dr. Meriç Bilgiç Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Seda Uğraş Mardin Artuklu Üniversitesi
Doç. Dr. Shalala Ramazanova Ardahan Üniversitesi
Doç. Dr. Tuğçe Günter Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Rovshan Mammaov Zonguldak Bülent
Ecevit Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Bilal Şengül Çanakkale Onsekiz Mart
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Burçin Saltık Arkin University of Creative
Arts and Design
Dr. Öğr. Üyesi Elif Çoker Mimar Sinan Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ergin Bilgin Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Gülcan İner Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Güven Deniz Yozgat Bozok Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hatice Banu Keskinkaya Necmettin Erbakan
Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kemal Alp Nalcı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Uzun Karamanoğlu Mehmetbey
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi M. Emin Çaycı Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Mithat Atabay Çanakkale Onsekiz Mart
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Ali Mınarlı Marmara Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Osman Murat Deniz Çanakkale Onsekiz
Mart Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Seda Özmen Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Sinan Yüksel Zonguldak Bülent Ecevit
Üniversitesi
Dr. Asma Lahouel Jijel Üniversitesi
Dr. Aybek Raşidov Taşkent Devlet Ekonomi Üniversitesi
Dr. Dilnoza Jamolova Buhara Devlet Üniversitesi
Dr. Kadim Munder Mulla Bağdat Üniversitesi
Dr. Mahmut Hamrayev Şarq Üniversitesi
Dr. Mourad Bouhedja Jijel Üniversitesi
Dr. Olga Sergeevna Fisenko Rusya Halkların Dostluk
Üniversitesi (Rudn Üniversitesi)
Öğretim Görevlisi Dr. Şeyda Bükrücü Kazkondu
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Dr. Turaev Telman Temirovich Buhara Devlet Tıp
Enstitüsü
Öğretim Görevlisi Yasemin İspirli Kırklareli Üniversitesi



Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi (INSAC)
9-11 Ekim 2025

İÇİNDEKİLER

İmplantlara Biyomekanik Testlerin Uygulanması	1
<i>Ahmet Bilal Şengül</i>	
İğdırda Kentsel Gelişim ile Yer Yüzey Sıcaklıklarının (Yys) Landsat Verileri Kullanılarak İzlenmesi (1990-2024)	8
<i>Mehmet Ali ÇELİK, Adem KIRAÇ</i>	
Hub Yayınlar ve Disiplinler Arası Köprüler: Kuraklık ve İklim Değişikliği Araştırmalarının Network Analizi	16
<i>Mehmet Ali ÇELİK, Adem KIRAÇ</i>	
Dissipative Protocol for Analyzing Steady-State Coherence Under Parameter Variation	24
<i>Dr. Ufuk Korkmaz, S. Elham Mousavigharalari, Doç. Dr. Deniz Türkpençe</i>	

İmplantlara Biyomekanik Testlerin Uygulanması

Ahmet Bilal Őengöl

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
absengul@yahoo.com

Özet: Türkiye’de tıbbi aletler pazarı yıllık birkaç milyar dolarlık hacme sahiptir. Bu talebin yaklaşık birkaç yüz milyon dolarlık kısmı iç pazardan temin edilmekte, arta kalan toplam ihtiyacın yaklaşık %80- 90’ lık kısmı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bu ithal edilen tıbbi aletlerin önemli kısmını implantlar teşkil etmektedir.

Türkiye’de tıbbi alet talebi, cari açığı arttıran önemli kalemlerden biridir. Bundan dolayı cari açığın azaltılmasında, öncelikli alanlar içine dahil edilmiştir. 7 Haziran 2011 tarihli resmi gazetede yayınlanan, Sağlık Bakanlığı tıbbi cihaz yönetmeliğinde; “İmalatçı, tıbbi cihazların tasarımı, imalatı ve nihai kontrolleri için, onaylanan kalite sisteminin uygulanmasını sağlar” denilmektedir. Bu yönetmelik gereği, Türkiye’de pazarlanacak tıbbi cihazlar için (CE Type-Examination Certificate) (CE) uygunluk belgesi istenmektedir. İmplantların CE uygunluk belgesi alabilmesi için biyomekanik testlerden başarı ile geçmiş olması şartı aranmaktadır. Hale hazırda Türkiye’de üretilen implantların önemli sayıdaki miktarının biyomekanik testleri çeşitli Avrupa Ülkelerindeki bazı laboratuvarlarda çok yüksek fiyatlarla yapılmaktadır. Bu durum yurt dışına kaynak akışına sebep olmakla birlikte, Türkiye’deki implant üreticilerinin giderlerini yükselterek rekabet gücünün azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca üretici firmaların implantlar üzerinde ARGE çalışması yapma imkanlarının da oldukça sınırlı kalmasına sebep olmaktadır. İmplantlara yapılması gereken biyomekanik testlerin ülkemizde yapılabilmesi önem arz etmektedir. Dinamik yükleme yoluyla yapılan biyomekanik testlerin pazarı Türkiye’de artmaya devam etme eğiliminde olmakla beraber henüz tam bir yeterlilik söz konusu değildir. Biyomekanik test ihtiyacını yurt dışından yüksek fiyatlarla karşılanması durumu, bu testlerin ülkemizde yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ülkemizde bir kısım laboratuvarlar bu alanda faaliyet göstermekte olsa da bu alanda çalışmaların artırılması gerekmektedir.

İmplantlar üzerinde yapılacak olan biyomekanik testler ASTM ve ISO standartlarına göre yapılmaktadır.

İlk hedef olarak, yapılması nispeten kolay olan plaklar üzerinde yapılan dört noktadan eğilme testlerinin tamamının yurt içinde yapılması uygun ve akılcı bir tercih olacaktır. Ardından daha spesifik olanlarla devam edilmelidir. Bunlardan bazıları; ASTM F382-24 ve ISO 9585. Bu standart ve test yöntemi, iskelet sisteminin cerrahisinde iç sabitlemede kullanılan metalik kemik plakalarının geometrisini ve performans özelliklerini sınıflandırmak ve tanımlamak için kullanılır. ASTM F1717 test standardına göre yapılan bel implantı biyomekanik testleri, ISO 7206 Kalça Eklem Protezi Testleri, ASTM F1378-18e1 Omuz implantları için test standardı, ASTM F1223-03 Diz implantları için test ve daha pek çok implant testinin yanı sıra ISO 14801:2016 Dental implantlar için Dinamik yükleme testleri uygulamaları önemli yer tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: biyomekanik test, implant, biyomedikal

Giriş

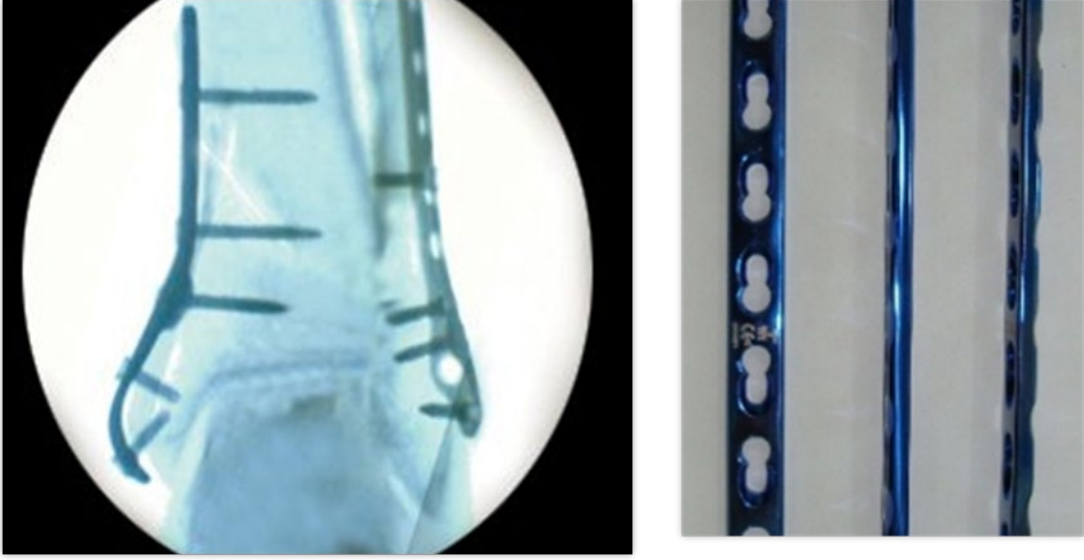
Türkiye’de tıbbi alet ihtiyacı büyük oranda ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Birkaç milyar dolarlık hacmi olan bu pazarın içinde tıbbi implantlar önemli yer teşkil etmektedirler.

Türkiye de tıbbi alet sektörü, ihracatın ithalatı karşılayamadığı, cari açığı arttıran önemli kalemlerden biridir. Bundan dolayı cari açığın azaltılmasında, öncelikli alanlar içine dahil edilmiştir. 7 Haziran 2011 tarihli resmi gazetede yayınlanan, Sağlık Bakanlığı tıbbi cihaz yönetmeliğinde; “İmalatçı, tıbbi cihazların tasarımı, imalatı ve nihaî kontrolleri için, onaylanan kalite sisteminin uygulanmasını sağlar” denilmektedir. Bu yönetmelik gereği, Türkiye’de pazarlanacak tıbbi cihazlar için (CE Type-Examination Certificate) (CE) uygunluk belgesi istenmektedir. İmplantların CE uygunluk belgesi alabilmesi için biyomekanik testlerden başarı ile geçmiş olması şartı aranmaktadır. Hale hazırda Türkiye’de üretilen implantların önemli sayıdaki miktarının biyomekanik testleri çeşitli Avrupa Ülkelerindeki bazı laboratuvarlarda çok yüksek fiyatlarla yaptırılmaktadır. Bu durum yurt dışına kaynak akışına sebep olmakla birlikte, Türkiye’deki implant üreticilerinin giderlerini yükselterek rekabet gücünün azalmasına sebep olmaktadır. İmplantlara yapılması gereken biyomekanik testlerin ülkemizde yapılabilmesi önem arz etmektedir. Dinamik yükleme yoluyla yapılan biyomekanik testlerin pazarı Türkiye’de artmaya devam etme eğiliminde olmakla beraber henüz tam bir yeterlilik söz konusu değildir.

İmplantlara Biyomekanik Testlerin Uygulanması:

- İmplantların CE uygunluk belgesi alabilmesi için biyomekanik testlerden başarı ile geçmiş olması şartı aranmaktadır. Hale hazırda Türkiye’de üretilen implantların biyomekanik testleri bazı firmalara bazı firmalara oldukça yüksek fiyatlarla yaptırılmaktadır.
- Bu durum yurt dışına kaynak akışına sebep olmakla birlikte Türkiye’deki implant üreticilerinin rekabet gücünün azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca üretici firmaların implantlar üzerinde ARGE çalışması yapma imkanlarını da oldukça sınırlı kalmaktadır.
- İmplantlara yapılması gereken biyomekanik testlerin ülkemizde yapılabilmesi önem arz etmektedir.
- Dinamik yükleme yoluyla yapılan biyomekanik testlerin pazarı Türkiye’de oldukça sınırlıdır. Biyomekanik test ihtiyacını yurt dışından yüksek fiyatlarla karşılanması durumu, bu testlerin ülkemizde yapılmasını gerekli kılmaktadır.
- Ülkemizde ve benzeri şartlardaki ülkelerin yer aldığı implant imalatı pazarında yeni ürün geliştirmeye yönelik yapılacak olan çalışmalarda yoğun olarak biyomekanik test hizmeti arzına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Biyomekanik test ihtiyacının potansiyel müşteri kitlesi yurtiçindeki ve yurtdışındaki implant imalatçılarıdır.
- Kısa vadede yurt içinde faaliyet gösteren firmaları biyomekanik test yaptırma imkânı oluşması önem arz etmektedir.

Biyomekanik test yapma imkanına ihtiyaç duyan diğer bir kitle ise, biyomekanik testler hususunda akademik çalışma yapmak isteyip de yeterli donanımı bulunmayan, hizmet satın almak isteyen bilim insanlarıdır



Şekil 1. Kırıklarda plak uygulaması (a) implant uygulama röntgen görüntüsü, (b) kullanıma hazır plak implant örnekleri

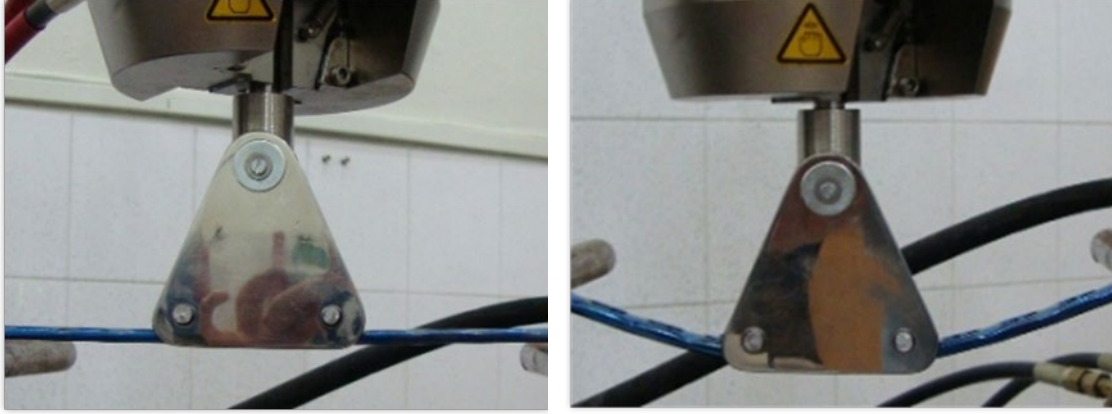
Şekil 1 'de Kırıklarda plak uygulamasına ait (a)'da implant uygulama röntgen görüntüsü, (b)'de ise kullanıma hazır plak implant örnekleri ne ait görseller verilmiştir. Plak implantlar şekilleri itibariyle basit implant örnekleridir.

Şekil 2 de ASTM F382 dört noktadan eğilme testlerinde kullanılan plak implantlara ait fotoğraflar görülmektedir.

ASTM İnternational Test Standard, ASTM F382-24 "Standard Specification and Test Method for Metallic Bone Plates" ASTM F382-24 (2024). Bu yönerge ve test yöntemi, iskelet sisteminin cerrahi iç sabitlenmesinde kullanılan metalik kemik plakalarının geometrik ve performans özelliklerini sınıflandırmak ve tanımlamak için yöntemler belirler. Ayrıca, malzeme, etiketleme ve kullanım gereksinimleri için standart spesifikasyon katalogları ve kemik plakalarının in vivo (vücut içi) performansı için önemli olduğu belirlenen performansla ilgili mekanik özelliklerini ölçmek için standart test yöntemleri bulunmaktadır. Bu standart, vakaya özgü klinik performansı tanımlamaz ve de kemik plakaları için belirli özel tasarımları tanımlamaz.

Şekil 2'de ASTM F382-24 Standardına göre yapılan dört noktadan eğilme testi uygulama görüntüleri verilmiştir. ASTM F382-24 standardında testin yapılışı teferruatlı olarak verilmiştir. Mesnet geometrisi yükün uygulanışı gibi açıklayıcı bilgiler ve yönergeler verilmiştir.

Şekil 2 (a) da teste ilk başlangıç konumu, (b) de ise testin ilerlemiş aşamasına ait görseller verilmiştir.



Şekil 2. Test başlangıç kurulumu (a) başlangıç aşaması, (b) test aşaması

Şekil 3'te ASTM F382-24 test standardına göre yapılmış olan test sonucunda hasar görmüş olan plak implantlara ait görseller verilmiştir. Burada implant ya tamamen kırılmış ya da kabul edilemez derecede eğilinceye kadar test devam ettirilmiştir.



Şekil 3. Hasar görmüş plak implant örnekleri

Testin sonlandırılması test prosedüründe belirtilen koşullara göre uygulanmaktadır.



Şekil 4. ASTM F1717 test standardına göre yapılan bel implantı biyomekanik test düzeneği

Şekil 4'te ASTM F1717 test standardına göre yapılan bel implantı biyomekanik test düzeneği görseli verilmiştir. Test çoklu yük tekrarı ile düşük frekansta gerçekleştirilmektedir.

ASTM F1717, ASTM F1717-21 (2021). Omurga İmplantları için Standart Test Yöntemleri

- Spinal implantlar genellikle birbirine bağlandığında bir spinal implant montajı oluşturan birkaç bileşenden oluşur. Spinal implant montajları omurgaya bir miktar stabilite sağlamak için tasarlanmıştır. Bu test yöntemleri, farklı omurga implantı türlerinin değerlendirilmesi için standart materyalleri ve yöntemleri özetler, böylece farklı tasarımlar arasında karşılaştırma yapmayı kolaylaştırılabilir.
- Bu test yöntemleri, omurga implantı ailelerinin farklı tasarımlarının statik ve dinamik mekanik özelliklerini ölçmek için kullanılır. Mekanik testler, basitleştirilmiş yük şemaları kullanılarak in vitro (vücut dışında) yapılır ve omurganın karmaşık yüklerini taklit etmeye çalışmaz.

Orta ve uzun vadede insan vücudu benzetimi ortamı içerisinde (ringer sıvısı içinde 37C0 sıcaklık) birtakım avadanlıkların yardımıyla daha zor ve karmaşık testlerin gerçekleştirilmesi düşünülebilir.

a



b



Şekil 5. (a) Hip Joint- Kalça implantı (kemik çimentosuna monte edilmiş), (b) Hip Joint vücut benzetimi ortam hazırlanması

ISO 7206-6:2013 “Partial and total hip joint prostheses — Part 6: Endurance properties testing and performance requirements of neck region of stemmed femoral components” ISO 7206-6:2013 (2013). Standart laboratuvar koşullarında, toplam kalça eklem protezlerinin ve saplı femoral bileşenlerin saplı femoral bileşenlerinin boyun bölgesini, kısmi kalça eklemlerinde tek başına kullanılan dayanıklılık özellikleri için test yöntemlerini ve yorulma (yüksek sayıda yük tekrarı altındaki dayanım limiti) performansını belirtir. Metalik veya metalik olmayan malzemelerden yapılmış modüler ve modüler olmayan tasarımlara uygulanabilir.

Ayrıca, kalça femoral bileşenlerini etkileyen önemli parametrelerin dikkate alınması ve numunenin test için nasıl kurulduğunu açıklayabilmek için test koşullarını da belirtir.

Şekil 5'te ISO 7206' ya göre düzenlenmiş test düzeneğine ait (a) Hip Joint- Kalça implantı (kemik çimentosuna monte edilmiş), (b) Hip Joint vücut benzetimi ortam hazırlanması görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6. ISO 7206 Hip Joint vücut benzetimi ortamı test düzeneği

(<https://www.orthoinno.com/product/iso-7206-6/#product-gallery-68f37df88bcd4-3>)

Şekil 6’da ISO 7206 test standardına göre vücut benzetimi ortamında yapılan Hip Joint test düzeneğinin görüntüsü verilmiştir. Ringer sıvısı içerisinde $37C^0$ sıcaklıkta düşük frekanslı tekrarlı yükler altında gerçekleştirilecek olan test düzeneği verilmiştir. Böyle bir test düzeneği nispeten zor ve donanım gerektiren bir düzenektir.

İmplant entegrasyonunun başarısı, implant yüzeyi ve çevresindeki kemik arasındaki etkileşime önemli ölçüde bağlıdır Varsha Choubey v.d. (2025).

Hidroksiapatit (HA), titanyum dioksit (TiO 2) ve zirkonya dahil olmak üzere çeşitli kaplamalar, osseointegrasyonu ve hücre yapışmasını artırmak için tasarlanmıştır.



Şekil 7. (a), (b), (c) de çeşitli kaplamalar yapılmış femoral implantlara, (d) Hidroksiapatit (HA) kaplanmış diş implantına ait fotoğraflar

Çeşitli implant kaplamaları, bakteri gelişimini önleme amacının yanı sıra, tutunumu geliştirmek amacıyla Şekil 7’ (a), (b), (c) ‘de çeşitli kaplamalar yapılmış femoral

implantlara ait görsel verilmiştir. Ve Şekil 7 (d)'de ise Hidroksiapatit (HA) kaplanmış diş implantına ait görsel verilmiştir.

Sonuç

İmplant imalatı altyapı, nitelikli iş gücü ve bilgi birikimi buna ilaveten yoğun bir ARGE çalışması gerektirmektedir. Türkiye'deki implant üreticileri, bir implant üzerinde ARGE çalışması yapmak istedikleri takdirde kendi biyomekanik test imkanları sınırlı kaldığından yeni özgün ürün geliştirmeleri oldukça kısıtlı ölçüde mümkün olmaktadır.

Yurt içinde Biyomekanik test imkanlarının artması ile;

İmplant imalatçıları, ARGE çalışması yapma imkanları artacaktır.

CE uygunluk belgesi almak için yapmak zorunda oldukları testleri yurtiçinde uygun fiyata gerçekleştirebileceklerdir.

Özgün ürün geliştirerek rekabet güçlerini arttırma imkânı elde edeceklerdir.

Yurt dışına kaynak akışı ve bağımlılık azalacaktır.

Ülkemizde biyomekanik test hizmet arzı artacaktır

Ülkemizdeki bilgi birikimi katma değeri yüksek ürün üretme yönünde kullanılma imkânı oluşacaktır.

Ülkemizdeki bilim insanları biyomekanik test hizmeti satın alma imkanına kavuşacaklardır

Kaynaklar

ASTM F382-24 (2024). Test standardı “Standard Specification and Test Method for Metallic Bone Plates”

ASTM F1717-21 (2021). Test standardı “Standard Test Methods for Spinal Implant Constructs in a Vertebrectomy Model”

ISO 7206-6:2013 (2013). iso test standardı, “Partial and total hip joint prostheses — Part 6: Endurance properties testing and performance requirements of neck region of stemmed femoral components” (Edition 2, 2013)

Varsha Choubey v.d. (2025). “The Effect of Various Implant Coatings on Bone Formation and Cell Adhesion” Journal of Pharmacy and BioAllied Sciences, 17 (2), 1668-1670.

İğdırda Kentsel Gelişim İle Yer Yüzey Sıcaklıklarının (Yys) Landsat Verileri Kullanılarak İzlenmesi (1990-2024)

Mehmet Ali ÇELİK¹, Adem KIRAC²

¹İğdır Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, mali.celik@igdir.edu.tr

²Milli Eğitim Bakanlığı, Coğrafya Öğretmeni, adem2019kirac@gmail.com

Özet: Bu çalışma, İğdır kentinde 1990–2024 yılları arasında kentsel gelişim ile yer yüzey sıcaklıkları (YYS) arasındaki ilişkiyi Landsat ve MODIS uydu verileriyle incelemiştir. İğdır ili özelinde gerçekleşen kentsel gelişimin Landsat uydularından türetilen YYS verileri aracılığıyla değerlendirilmesi ve bu gelişimin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisinin mekânsal olarak analiz edilmesidir. Landsat analizleri, artan kentleşmeye rağmen 2024 yılı yüzey sıcaklıklarının 1990 yılına kıyasla daha düşük olduğunu, dolayısıyla klasik kentsel ısı adası (UHI) etkisinin gözlenmediğini ortaya koymuştur. Bu durum, sıcaklık değişimlerinin yalnızca kentleşme ile açıklanamayacağını, dönemsel iklimsel koşulların da önemli rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, MNDWI ve diğer yardımcı uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, İğdır kent merkezinde kentsel ısı adası etkisinin şiddeti, mekânsal dağılımı ve zaman içerisindeki değişimi detaylı şekilde ortaya konulacaktır. Elde edilen bulgular, kentsel planlama ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından bilimsel ve pratik düzeyde önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

MODIS verileri ise 2001–2024 döneminde hem gündüz hem de gece sıcaklıklarında anlamlı artışlar olduğunu, özellikle İğdır Merkez’de gündüz LST değerleri düzenli bir artış eğilimi göstermektedir. Bu eğilim, hem parametrik (OLS regresyon) hem de parametrik olmayan (Sen’s slope) yöntemlerle teyit edilmiştir. Eğilimin büyüklüğü görece düşük olsa da uzun dönemli iklimsel ısınmaya işaret etmektedir.

Bu bulgular, UHI çalışmalarında kısa dönemli gözlemler yerine çok yıllık ve sürekli uydu verilerinin kullanılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu noktada kullanılacak veri kaynaklarının niteliği de kritik öneme sahiptir. Landsat verileri uzun yıllara yayılan yüksek mekânsal çözünürlüklü bilgiler sunsa da bulutluluk ve tekrar periyodu nedeniyle süreklilik sorunu barındırmaktadır. MODIS verileri ise daha düşük mekânsal çözünürlüğe sahip olmakla birlikte günlük, haftalık ve aylık ölçeklerde sürekli gözlem sağlaması sayesinde UHI araştırmalarında eşsiz bir avantaj sunmaktadır. MODIS’in bu sürekliliği, kentleşme ile UHI artışı arasındaki ilişkinin iklimsel dalgalanmalardan bağımsız olarak uzun dönemli bir perspektifle değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Landsat verileri yüksek mekânsal çözünürlüğü ile ayrıntılı analiz imkânı sağlarken, MODIS verileri süreklilik avantajı ile uzun dönemli iklimsel etkilerin daha sağlıklı şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, kentsel ısı adası araştırmalarında yalnızca tek bir döneme odaklanmak yerine, uzun yıllara yayılan MODIS gibi sürekli uydu verilerinin tercih edilmesi, kentsel büyüme ile iklimsel koşullar arasındaki ilişkinin daha bütüncül ve güvenilir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu yaklaşım, gelecekteki planlama ve iklim uyum stratejileri için de daha sağlam bilimsel temellerin oluşturulmasına yardımcı olacaktır. UHI araştırmalarında kentsel büyüme ile iklimsel faktörlerin birlikte ele alınması, daha doğru ve bütüncül değerlendirmeler yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: YYS, Landsat, MODIS, İğdır, Kentsel Büyüme, UHI.

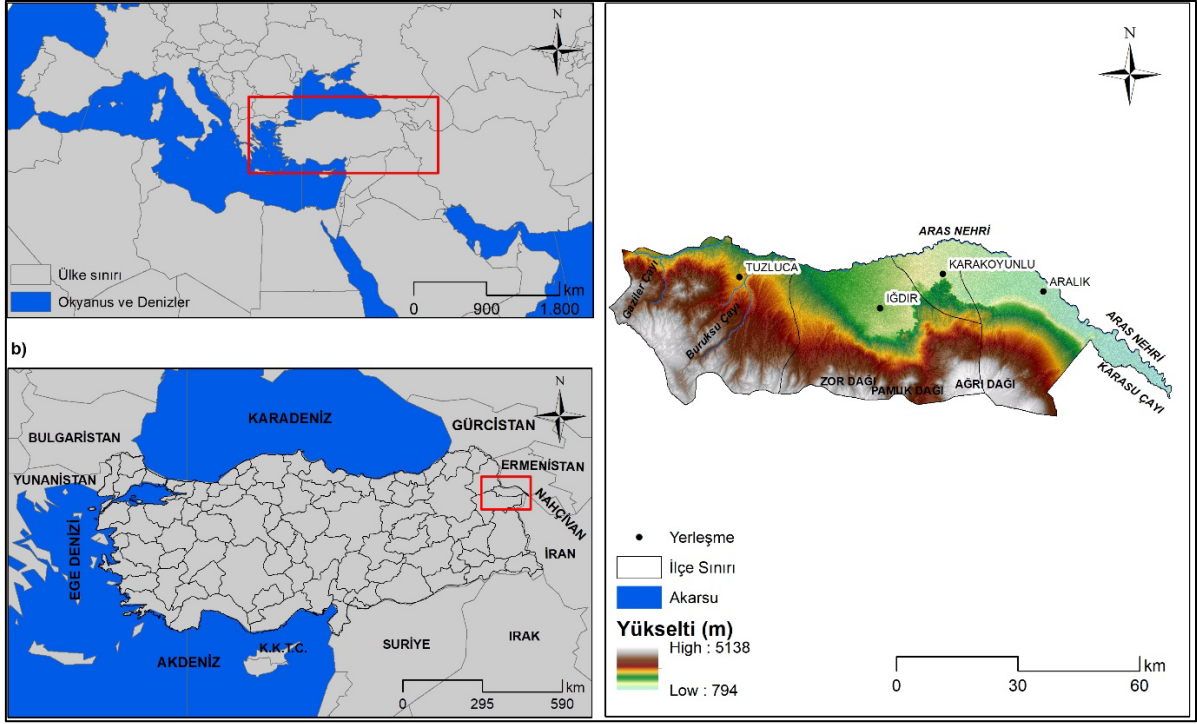
Giriş

Metin Son birkaç 10 yıldır nüfus artışı, ekonomik faaliyetlerin yoğunlaşması ve yaşam alanlarına yönelik talebin artmasıyla birlikte kentsel alanlar mekânsal olarak hızla genişlemektedir (Arfanuzzaman ve Dahiya, 2019). Kentsel büyüme yalnızca fiziksel yapıları değil, aynı zamanda çevresel parametreleri de etkilemektedir (Grimm vd., 2008). Özellikle yüzey sıcaklıklarında gözlemlenen artışlar, kentsel ısı adası (Urban Heat Island - UHI) olgusunu her geçen gün daha belirgin hâle getirmektedir (Li ve Chen, 2023). UHI etkisi, yoğun yapılaşmanın ve geçirimsiz yüzeylerin güneş enerjisini daha fazla absorbe ederek uzun süre tutması sonucu oluşmaktadır (Lu, 2025). Bu durum, yalnızca mikroklimatik koşulları değiştirmekle kalmayıp, enerji tüketimi, hava kalitesi ve yaşam konforu üzerinde de belirleyici bir rol oynamaktadır (Swamy vd., 2020).

Bu çevresel etkinin mekânsal düzeyde izlenebilmesi adına en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, YYS (Land Surface Temperature-LST) verilerinin analizidir (Tahooni vd., 2023). Özellikle 1990–2024 yılları arasını kapsayan LST verileri, kentsel ısı adası etkisiyle ilişkili termal farklılıkların nedenlerini ortaya koymak ve bu değişimlerin zaman içindeki eğilimlerini anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Landsat uydu görevlerinden elde edilen LST verileri, kentsel çevre değişimlerinin uzun vadeli izlenmesinde güvenilir ve yaygın biçimde kullanılan bir veri kaynağıdır (Weng, 2009).

Kentsel sıcaklık analizlerinin daha sağlıklı yorumlanabilmesi için, yüzey örtüsünün özelliklerini tanımlayan spektral endekslerin kullanımı da büyük önem arz etmektedir (Nyayapathi ve Basina, 2025). Bu çerçevede, özellikle MNDWI çalışma alanındaki su yüzeylerinin doğru şekilde tanımlanarak analiz dışı bırakılması veya su kütlelerinin yüzey sıcaklığı üzerindeki soğutucu etkilerinin modellenmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır (Guha ve Govil, 2025). Zira su kütleleri, çevresel alanlara kıyasla daha düşük yüzey sıcaklıklarına sahip olup, kentsel ısı adası etkisini dengeleyici bir rol üstlenebilmektedir (Wu ve Zhang, 2019).

Bu araştırmanın temel amacı, Iğdır ili özelinde gerçekleşen kentsel gelişimin Landsat uydularından türetilen YYS verileri aracılığıyla değerlendirilmesi ve bu gelişimin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisinin mekânsal olarak analiz edilmesidir. Ayrıca, MNDWI ve diğer yardımcı uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, Iğdır kent merkezinde kentsel ısı adası etkisinin şiddeti, mekânsal dağılımı ve zaman içerisindeki değişimi detaylı şekilde ortaya konulacaktır. Elde edilen bulgular, kentsel planlama ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından bilimsel ve pratik düzeyde önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir.



Şekil 1. Araştırma alanı lokasyon haritası.

2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada, Iğdır ilinde kentsel gelişimin yer yüzeyi sıcaklıkları üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla 1990 ve 2024 yıllarına ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uyduları kullanılmıştır. Ayrıca MODIS YYS verileri de kullanılmıştır. Böylelikle MODIS ve Landsat verilerinden hangisinin UHI araştırmalarında daha önemli kolaylıklar sağladığı anlaşılmaya çalışılmıştır. Araştırmada kullanılan veriler, açık erişimli Google Earth Engine (GEE) platformu üzerinden temin edilmiştir. Radyometrik düzeltme, bulut maskelenmesi ve atmosferik iyileştirme işlemleri GEE'nin sağladığı algoritmalarla otomatik olarak gerçekleştirilmiştir (Gorelick vd., 2017). Landsat serisi, uzun dönemli veri sağlama kapasitesi ve yüksek mekânsal çözünürlüğü nedeniyle LST analizlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Weng vd., 2004).

YYS hesaplamaları için aşağıdaki denklemler adım adım uygulanmıştır (Jiménez-Muñoz vd., 2009): İlk olarak Digital Number (DN) değerleri fiziksel radyans değerlerine dönüştürülür. Daha sonra Landsat 5 TM uydusunda band 6 yani termal band ile Landsat 8 uydusunda band 10 kullanılmıştır. Landsat'ın termal bantlarından Brightness Temperature (BN) hesaplanır: Daha sonraki adımda ise NDVI hesaplaması yapılır. Sonraki adımda ise vejetasyon oranı kullanılarak emisyon hesaplanır. Son adımda ise emisivite ile düzeltilmiş yüzey sıcaklığı hesaplanır (Weng vd., 2014):

$$LST = \frac{(BT)}{1 + \left(\lambda \cdot \frac{BT}{\rho}\right) \cdot \ln(\varepsilon)}$$

Araştırmada kentsel büyümenin tespiti için MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) endeksi kullanılmıştır. MNDWI, yeşil/green band ile kısa dalga kızılötesi / SWIR bantlar kullanılarak hesaplanır (Xu, 2006):

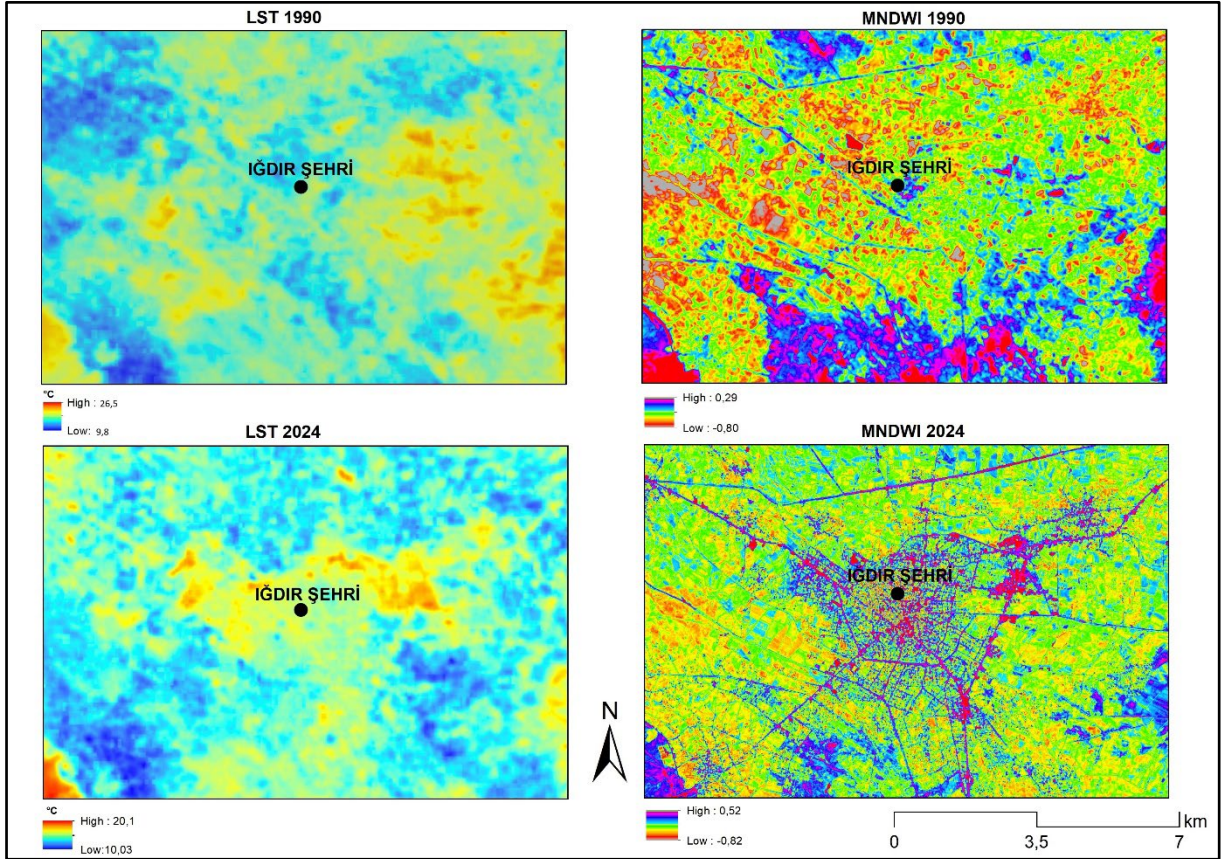
$$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$$

3.Bulgular

Landsat Verisi Üzerinden Analiz

Araştırma alanı olarak seçilen Iğdır kenti son yıllarda hızlı bir şekilde büyümektedir. Bu büyümeyi MNDWI görüntülerden anlamak mümkündür. 1990 yılında uydu verilerinden tespit edilemeyecek kadar küçük olan Iğdır şehri, 2024 yılında artan mor renkli alanlardan görüldüğü üzere hızla büyümüştür (Şekil 2). 2024 yılında MNDWI görüntüsünden net olarak anlaşılmaktadır ki, Iğdır'ın şehir dokusu daha belirgin hâle gelmiş, bu da artan yapılaşmayı ortaya koymaktadır.

1990 yılında YYS daha yüksek seviyelerdedir. Özellikle Iğdır şehir merkezine yakın bölgelerde YYS değerlerinin 26°C'ye kadar çıktığı görülmektedir. 2024 haritasında ise maksimum sıcaklık değeri 20,1°C olarak daha düşüktür. Bu durum şehirleşmeye rağmen yüzey sıcaklıklarında bir artışın olmadığını, hatta azaldığını göstermektedir.



Şekil 2. Araştırma alanında MNDWI ile LST haritaları.

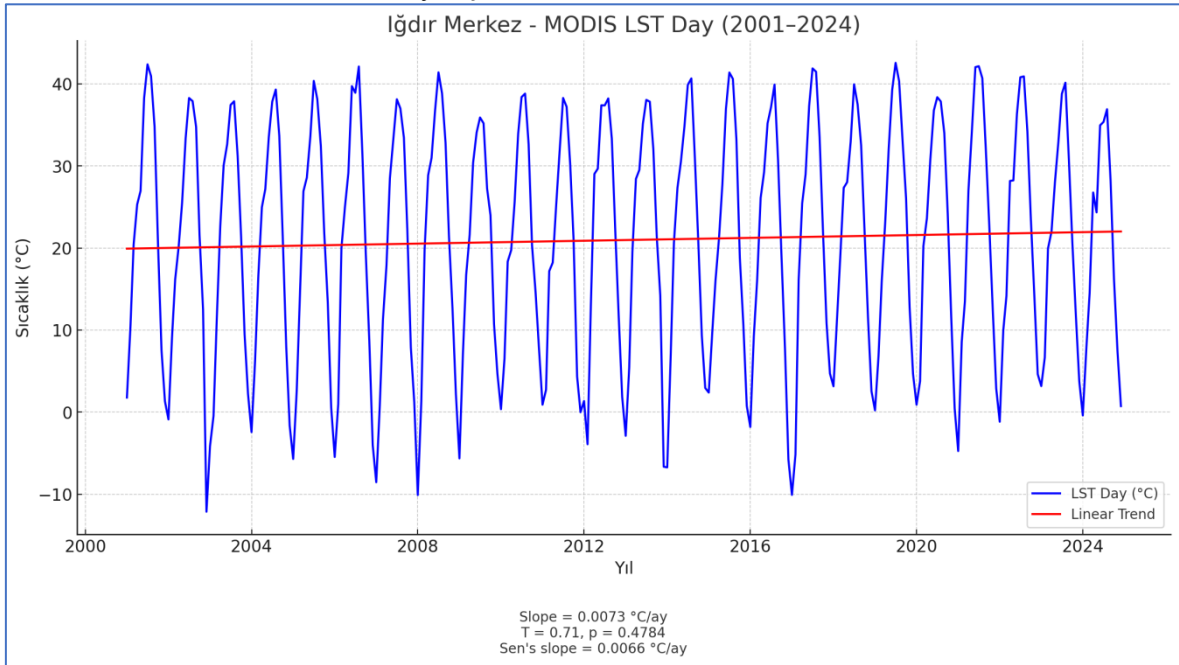
Burada altı çizilmesi gereken husus, 1990'dan 2024 yılına meydana gelen sıcaklık düşüşünü yalnızca kentsel büyümeye bağlanamayacağıdır. 1990 yılında iklimsel koşullardan kaynaklanan yüksek sıcaklıklar, 2024 yılında ise yine sıcaklık koşulları daha düşük olabileceğidir. Bu yüzden UHI araştırmalarının çok yıllı verilerle yapılması önemlidir. Çok yıllı verileri ile düzenli bir kentsel ısı artışı tespit edildiği takdirde, kentsel büyüme ile kentsel ısı adası arasındaki ilişkinin altı çizilebilir.

Sonuç olarak, Iğdır'da hızlı kentleşme açıkça gözlemlenirken, yüzey sıcaklıklarındaki azalma, kentleşmenin klasik olarak beklenen ısı adası etkisini yaratmadığını göstermekte ve bu durumun detaylı bir şekilde iklimsel, ekolojik ve sosyo-ekonomik verilerle desteklenerek ileri araştırmalarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

MODIS Verileri Üzerinden Analiz

Aşağıdaki grafiğe göre (Şekil 3) Iğdır Merkez’de 2001–2024 döneminde MODIS gündüz YYS değerlerinde belirgin bir artış eğilimi göze çarpıyor. Ham veri serisi mevsimsel döngüleri ve yıllar arası değişkenliği yansıtıyor, kırmızıyla gösterilen lineer trend çizgisi sıcaklıkların zaman içerisinde yukarı yönlü bir eğilim sergilediğini ortaya koymaktadır. İstatistiksel sonuçlar bu gözlemi destekliyor: eğim katsayısı (slope) pozitif olup, sıcaklıkların aylık bazda küçük de olsa istikrarlı bir şekilde yükseldiğini gösteriyor. T değeri anlamlı düzeyde, p değeri ise eğilimin rastlantısal olmaktan çok, istatistiksel açıdan güvenilir bir artışı temsil ettiğini ortaya koyuyor. Sen’s slope tahmini de aynı yönde olup, serinin eğilimini doğrulamaktadır.

Özetle, 2001–2024 döneminde Iğdır Merkez’de gündüz LST değerleri düzenli bir artış eğilimi göstermektedir. Bu eğilim, hem parametrik (OLS regresyon) hem de parametrik olmayan (Sen’s slope) yöntemlerle teyit edilmiştir. Eğilimin büyüklüğü görece düşük olsa da uzun dönemli iklimsel ısınmaya işaret etmektedir.



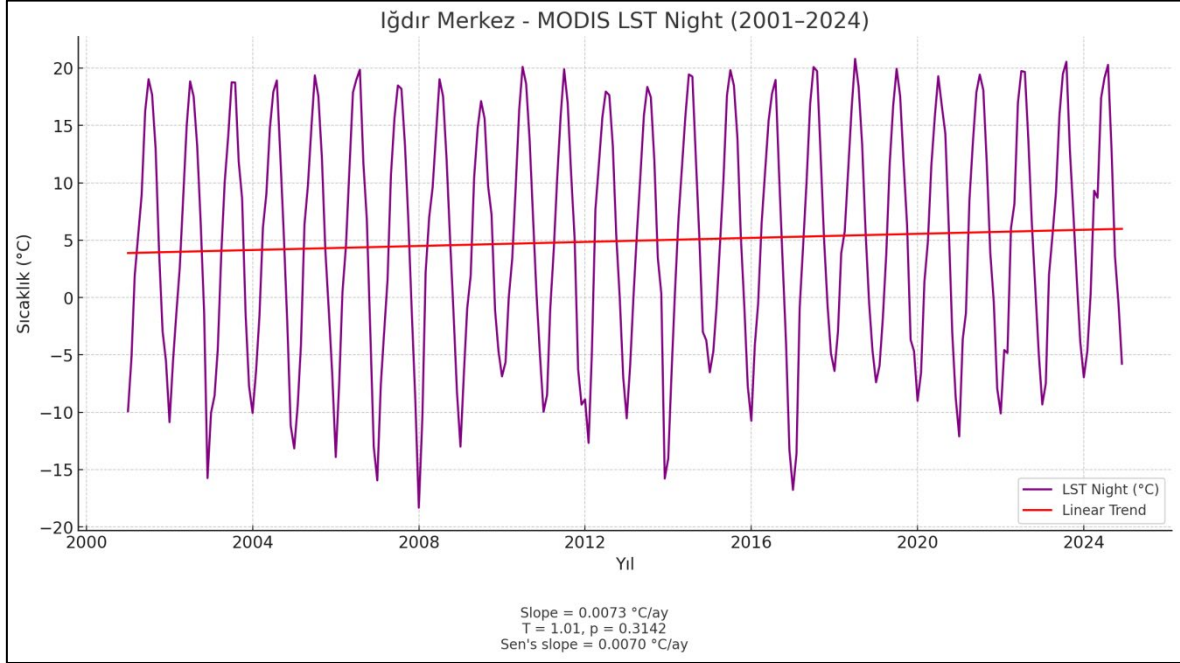
Şekil 3. Iğdır Merkez MODIS LST gündüz (2001–2024) için lineer trend grafiği.

Şekil 4 analiz edildiğinde, 2001–2024 dönemi boyunca Iğdır Merkez’de gece YYS değerlerinin (MODIS LST Night) genel olarak artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Mor çizgi zaman serisinin dalgalı yapısını, kırmızı çizgi ise uzun dönemli doğrusal trendi temsil etmektedir. Seride mevsimsel ve yıllar arası dalgalanmalar belirgin olmakla birlikte, trend çizgisi sıcaklıkların özellikle son yıllarda önceki dönemlere kıyasla daha yüksek değerlere ulaştığını ortaya koymaktadır.

İstatistiksel göstergeler bu eğilimi desteklemektedir. Pozitif eğim katsayısı, gece sıcaklıklarının aylık bazda istikrarlı bir şekilde arttığını göstermektedir. T istatistiği ve p değeri bu artışın tesadüfi olmadığını, istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olduğunu doğrulamaktadır. Parametrik olmayan Sen’s slope değeri de benzer sonuçlar vererek, gözlenen ısınma eğilimini güçlendirmektedir.

Özetle, 2001–2024 arasında Iğdır Merkez’de gece sıcaklıklarında anlamlı ve düzenli bir artış eğilimi vardır. Bu sonuç, bölgedeki gece ısınmasının gündüz saatlerindeki ısınma ile

paralel bir seyir izlediğini ve uzun dönemli iklimsel ısınmanın etkilerinden biri olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. İğdır Merkez MODIS LST gece (2001–2024) için lineer trend grafiği.

İğdır kent alanında hem gündüz hem de gece sıcaklıklarında artış eğilimi vardır. Ancak gece sıcaklıkları gündüze oranla daha belirgin bir şekilde artmaktadır. Gece ısınmasının gündüze göre daha güçlü olması, araştırma alanında minimum sıcaklıkların yükseldiğini gösterir. Bu, iklim değişikliğinin tipik bir işaretidir. Ayrıca UHI etkisi gece daha baskındır. Beton ve asfalt gibi yüzeyler gündüz depoladıkları ısıyı gece geri salar, bu da özellikle şehir merkezlerinde gece sıcaklıklarının artışı gündüze göre hızlandırır. Bitki ve ekosistemler için gece ısınması kritik öneme sahiptir. Çünkü gece sıcaklıkları artarsa bitkiler tam olarak “dinlenemez”, fotosentez ve solunum dengesi bozulur, stres artar. Özetle araştırma alanında kentleşmenin de etkisiyle hem gece hem de gündüz sıcaklıklarının artması, sera gazı kaynaklı iklim değişikliğinin yerel bir yansımasıdır. Bu durum, hem şehirleşme etkilerini hem de küresel iklimin değişen enerji dengesini yansıtır. Uzun vadede tarım, ekosistem sağlığı ve insan yaşamı üzerinde ciddi etkiler yaratabilir.

4.Sonuç

Bu çalışma, İğdır kentinde 1990–2024 yılları arasındaki kentsel büyüme ve yüzey sıcaklığı değişimlerini incelemiştir. MNDWI analizleri, kentin son yıllarda hızlı bir şekilde genişlediğini açıkça göstermektedir.

Landsat verisi üzerinden yapılan analizler, 2024 yılı yüzey sıcaklıklarının 1990 yılına kıyasla azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, artan kentleşmeye rağmen klasik kentsel ısı adası (UHI) etkisinin İğdır özelinde açık şekilde gözlenmediğini göstermektedir. Sıcaklık değişimlerinin yalnızca kentleşmeye bağlanamayacağı, iklimsel koşullardaki dönemsel farklılıkların da önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla UHI çalışmalarında tek dönemli veya kısa süreli gözlemler yerine, uzun dönemli ve çok yıllık verilerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Landsat verileri aynı zamanda iklimsel ve ekolojik faktörlerin etkilerinin ayrıştırılmasına da imkân vermektedir. Sıcaklık düşüşünün yalnızca kentleşme dinamikleri ile açıklanamaması,

UHI araştırmalarında iklimsel değişkenlerin (yağış, nem, rüzgâr, bulutluluk gibi) da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu noktada kullanılacak veri kaynaklarının niteliği de kritik öneme sahiptir. Landsat verileri uzun yıllara yayılan yüksek mekânsal çözünürlüklü bilgiler sunsa da, bulutluluk ve tekrar periyodu nedeniyle süreklilik sorunu barındırmaktadır. MODIS verileri ise daha düşük mekânsal çözünürlüğe sahip olmakla birlikte günlük, haftalık ve aylık ölçeklerde sürekli gözlem sağlamaı sayesinde UHI araştırmalarında eşsiz bir avantaj sunmaktadır. MODIS'in bu sürekliliği, kentleşme ile UHI artışı arasındaki ilişkinin iklimsel dalgalanmalardan bağımsız olarak uzun dönemli bir perspektifle değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Sonuç olarak, kentsel ısı adası araştırmalarında yalnızca tek bir döneme odaklanmak yerine, uzun yıllara yayılan MODIS gibi sürekli uydu verilerinin tercih edilmesi, kentsel büyüme ile iklimsel koşullar arasındaki ilişkinin daha bütüncül ve güvenilir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu yaklaşım, gelecekteki planlama ve iklim uyum stratejileri için de daha sağlam bilimsel temellerin oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

Arfanuzzaman, Md., ve Dahiya, B. (2019). Sustainable urbanization in Southeast Asia and beyond: Challenges of population growth, land use change, and environmental health. *Growth and Change*, 50(2), 725–744. Portico. <https://doi.org/10.1111/grow.12297>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., ve Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., ve Briggs, J. M. (2008). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Guha, S., ve Govil, H. (2025). analysis of the relationship of land surface temperature with modified normalized difference water index and normalized difference built-up index in Hyderabad City, India. *South African Journal of Geomatics*, 14(1), 141–155. <https://doi.org/10.4314/sajg.v14i1.9>

Jimenez-Munoz, J.-C., ve Sobrino, J. A. (2008). Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature Retrieval From Low-Resolution Thermal Infrared Sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(4), 806–809. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2008.2001636>

Li, K., ve Chen, Y. (2023). Characterizing the indicator-based, day-and-night, and climate-based variations in response of surface urban heat island during heat wave across global 561 cities. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104877>

Lu, Y. (2025). The Mechanism of Urban Form Affecting Heat Island Effect. *Urban Form and Urban Heat Island*, 121–160. https://doi.org/10.1007/978-981-96-3541-2_4

Nyayapathi, P., ve Basina, S. S. (2025). Assessing the Urban thermal dynamics: a geospatial study of land surface temperature, land use/land cover and spectral indices in Visakhapatnam, India. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(10). <https://doi.org/10.1007/s41062-025-02270-w>

Swamy, G. S. N. V. K. S. N., Nagendra, S. M., ve Schlink, U. (2020). Impact of urban heat island on meteorology and air quality at microenvironments. *Journal of the Air veamp; Waste Management Association*, 70(9), 876–891. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1783390>

Tahooni, A., Kakroodi, A. A., ve Kiavarz, M. (2023). Monitoring of land surface albedo and its impact on land surface temperature (LST) using time series of remote sensing data. *Ecological Informatics*, 75, 102118. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102118>

Weng, Q., Lu, D., ve Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>

Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2014). Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote sensing of environment*, 145, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.003>

Wu, Z., ve Zhang, Y. (2019). Water Bodies' Cooling Effects on Urban Land Daytime Surface Temperature: Ecosystem Service Reducing Heat Island Effect. *Sustainability*, 11(3), 787. <https://doi.org/10.3390/su11030787>

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Hub Yayınlar ve Disiplinler Arası Köprüler: Kuraklık ve İklim Değişikliği Araştırmalarının Network Analizi

Mehmet Ali ÇELİK¹, Adem KIRAC²

¹Iğdır Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, mali.celik@igdir.edu.tr,

²Millî Eğitim Bakanlığı, Coğrafya Öğretmeni, adem2019kirac@gmail.com

Özet: Küresel iklim değişikliği ve artan kuraklık riski toplum, ekosistem ve ekonomik faaliyetler üzerinde baskısını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak iklim değişikliği ve kuraklık anahtar kelimelerini konu alan araştırmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu araştırmada “iklim değişikliği ve kuraklık” anahtar kelimelerini kullanan araştırmalar scopus veri tabanından indirilerek, csv uzantılı veriye bibliyometrik ağ analizi uygulanmıştır. Zira kuraklık ve iklim değişikliği üzerine yapılan araştırmaların etkin biçimde analiz edilebilmesi ve bu alandaki bilimsel birikimin sistematik olarak değerlendirilebilmesi için bibliyometrik analiz yöntemleri önemli bir araçtır. Araştırmada “iklim değişikliği ve kuraklık” kavramlarını ele alan araştırmaların analizi için hub analizi uygulanmıştır. Araştırma kapsamında ele alınan 688 adet yayının 29’u hub yayın olarak tespit edilmiştir. Hub yayın olarak 10 veya daha fazla yazar tarafından hazırlanmış toplam 29 yayın vardır. Bu yayınlar, Scopus veri setindeki 688 yayın arasından seçilmiş olup, ağın merkezinde yer alan ve farklı kümeler arasında bilgi köprüleri kuran stratejik çalışmaları temsil etmektedir. Araştırmada hub yayın sayısı çok fazla değildir. Bu durum ağın disiplinler arası iş birliği açısından henüz gelişmekte olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu yayınlar etrafında düzenlenecek ortak projeler ve yeni iş birlikleri, bilgi akışını güçlendirecek ve kümeler arasındaki bilimsel entegrasyonu artırarak ağın yapısal bütünlüğünü daha sağlam hale getirecektir. Sonuç olarak bu bildiri, iklim değişikliği, kuraklık, tarımsal sürdürülebilirlik ve hidrolojik yönetim gibi küresel öneme sahip konularda bilimsel üretkenliğin ve politika yapımının güçlendirilmesi açısından önemli bir altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hub analizi, bibliyometrik ağ analizi, kuraklık, iklim değişikliği, scopus

Giriş

Küresel iklim değişikliği, günümüzde doğal ve beşerî sistemler üzerinde geniş kapsamlı etkiler yaratarak hem çevresel hem de sosyo-ekonomik boyutlarda ciddi sorunlara yol açmaktadır (Piya vd., 2019; Raihan, 2023). Özellikle kuraklık, iklim değişikliğinin en belirgin ve yıkıcı sonuçlarından biri olarak öne çıkmakta ve su kaynakları, tarımsal üretim, ekosistem dengesi ve insan yaşamı üzerinde doğrudan tehdit oluşturmaktadır. Kuraklığın artan sıklığı ve şiddeti, yalnızca yerel ölçekte değil, bölgesel ve küresel düzeyde de sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır (Guzmám vd., 2017). Bu nedenle, kuraklık ve iklim değişikliği ilişkisini çok boyutlu olarak inceleyen bilimsel çalışmaların sayısında son yıllarda kayda değer bir artış gözlenmektedir (Mukherjee vd., 2018).

Kuraklık ve iklim değişikliği üzerine yapılan araştırmaların etkin biçimde analiz edilebilmesi ve bu alandaki bilimsel birikimin sistematik olarak değerlendirilebilmesi için bibliyometrik analiz yöntemleri önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Adisa vd., 2020). Bibliyometrik analizler, literatürdeki eğilimleri, araştırma boşluklarını ve öncü çalışmaları belirleyerek bilimsel bilgi üretim sürecine yön vermektedir (José de Oliveira vd., 2019). Özellikle disiplinler arası yapının ön plana çıktığı kuraklık ve iklim değişikliği araştırmalarında, farklı alanlardan gelen bilim insanlarının ortak çalışmaları, ağ teorisi ve network analizi gibi yöntemlerle incelenerek bilgi akışının ve iş birliği dinamiklerinin ortaya konması mümkün hale gelmektedir (Cross vd., 2002).

Bu bağlamda hub yayınlar ve disiplinler arası köprüler, bilimsel ağların merkezinde yer alan stratejik unsurlar olarak kritik bir rol üstlenmektedir (Bikard & Marx, 2020). Hub yayınlar, çok sayıda yazarın ve farklı disiplinlerin bir araya geldiği, literatürde geniş yankı uyandıran çalışmaları temsil ederken, disiplinler arası köprüler ise farklı tematik kümeler arasındaki bilgi transferini sağlayan bağlantı noktaları olarak tanımlanmaktadır (Leydesdorff & Rafols, 2011). Bu çalışmalar, bilimsel topluluklar arasında etkileşimi artırmakta ve yeni araştırma alanlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

Son yıllarda, kuraklık ve iklim değişikliği konularındaki yayınların sayısındaki artış, bu alanlarda disiplinler arası yaklaşımların giderek önem kazandığını göstermektedir (Adisa vd., 2020). Ancak mevcut literatürde, bu yayınların ağ yapısını, işbirliği düzeylerini ve bilimsel bilgi akışını bütüncül bir şekilde ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, kuraklık ve iklim değişikliği literatüründe hub yayınların ve disiplinler arası köprülerin rolünü ortaya koymak, hangi tematik alanlarda bilimsel etkileşimin yoğunlaştığını belirlemek ve ağ yapısındaki güçlü ve zayıf yönleri tespit etmek amacıyla tasarlanmıştır.

Çalışmada, Scopus veri tabanından elde edilen geniş kapsamlı veri seti kullanılarak bibliyometrik ve network analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle kuraklık ve iklim değişikliği araştırmalarında bilgi üretim sürecinin nasıl şekillendiği, hangi yayınların ve yazarların disiplinler arası etkileşimde merkezi bir rol oynadığı ve bu etkileşimin zaman içindeki gelişimi detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Bu yaklaşım hem mevcut literatürün değerlendirilmesi hem de gelecekteki araştırmaların yönlendirilmesi açısından bilimsel ve stratejik bir temel sağlamaktadır.

1. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan veriler, 13 Eylül 2025 tarihinde dünyanın en kapsamlı akademik veri tabanlarından biri olan Scopus üzerinden yapılan kapsamlı bir literatür taramasıyla elde edilmiştir. Tarama sırasında kuraklık ve iklim değişikliği konularında en güncel ve güvenilir çalışmalara ulaşmak amacıyla belirli anahtar kelimeler kullanılmıştır. Bu bağlamda arama sorgusu, yalnızca başlık, özet ve anahtar kelimeler bölümlerinde “drought” (kuraklık), “IPCC” (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) ve “climate change” (iklim değişikliği) ifadelerinin birlikte geçtiği çalışmaları kapsayacak şekilde yapılandırılmıştır. Kullanılan arama ifadesi şu şekildedir: TITLE-ABS-KEY(drought) AND TITLE-ABS-KEY(ipcc) AND TITLE-ABS-KEY(climate change). Bu titiz arama sonucunda 688 akademik doküman elde edilmiştir. Bu dokümanlar arasında makaleler, derleme çalışmaları, konferans bildirimleri ve kitap bölümleri gibi farklı akademik yayın türleri yer almakta olup, böylelikle kuraklık ve iklim değişikliği alanındaki bilimsel literatürün çok boyutlu bir şekilde temsil edilmesi sağlanmıştır.

Scopus veri tabanının tercih edilmesinin başlıca nedeni, sunduğu geniş kapsam, yüksek veri kalitesi ve çok disiplinli içerik yapısıdır (Kundu vd., 2025; Kalumba vd., 2025; Leal Filho vd., 2025). Scopus, dünyanın dört bir yanından 25.000’den fazla hakemli dergiyi

ve milyonlarca bilimsel kaynağı içermektedir. Bu özellik, araştırmanın yalnızca çevre ve iklim bilimleri ile sınırlı kalmamasına, aynı zamanda tarım, hidroloji, mühendislik, sosyal bilimler ve çevre politikaları gibi farklı disiplinlerde üretilmiş çalışmalarını da kapsamına imkân tanımaktadır. Böylece, kuraklık ve iklim değişikliği yalnızca çevresel boyutlarıyla değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik, politik ve teknolojik boyutlarıyla da bütüncül bir şekilde ele alınabilmektedir.

Scopus'un bir diğer önemli avantajı, veri kalitesi ve güvenilirliği sağlamasıdır (Baas vd., 2020). Veri tabanına dahil edilen tüm yayınlar yalnızca bilimsel standartlara uygun ve hakemli dergilerden seçilmektedir (Erfanmanesh, 2017). Bu durum, elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırarak yapılan bibliyometrik analizlerin sağlam bir temele oturmasını sağlamaktadır (Donthu vd., 2021). Ayrıca Scopus, her bir yayın için yazar isimleri, kurum bilgileri, özet, anahtar kelimeler, atıf sayıları, DOI numarası ve finansman bilgileri gibi kapsamlı metaveriler sunmaktadır. Bu kapsamlı bilgi, çalışmada gerçekleştirilen kümeleme analizi, hub yayınların tespiti, disiplinler arası köprülerin belirlenmesi ve atıf ağlarının oluşturulması gibi ileri düzey analizlerin yapılmasına imkân tanımıştır.

Scopus'un güçlü atıf takip sistemi ise bir çalışmanın bilim dünyasındaki etkisini zamansal olarak izlemeye olanak tanımaktadır. Atıf analizi sayesinde kuraklık ve iklim değişikliği alanında en fazla etki yaratan yazarlar, ülkeler ve dergiler belirlenmiş, ayrıca farklı disiplinler arasında bilgi köprüsü oluşturan kritik yayınlar tespit edilmiştir. Bu özellik, araştırmada hub yayınların yani en fazla iş birliği ve atıf ağına sahip, bilimsel bilgi akışının merkezinde bulunan çalışmaların belirlenmesi açısından kritik bir rol oynamıştır. Hub yayınlar, ağda farklı kümeleri birbirine bağlayan stratejik düğümler olarak tanımlanmakta ve disiplinler arası etkileşimin en güçlü temsilcileri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmaların belirlenmesi, bilimsel topluluğun hangi alanlarda yoğunlaştığını, hangi tematik bölgelerde iş birliklerinin güçlü olduğunu ve hangi alanlarda bilgi transferinin sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Araştırmanın veri toplama süreci yalnızca güncel literatürü değil, aynı zamanda küresel ölçekteki bilimsel üretim dinamiklerini de yansıtmaktadır. Scopus'un düzenli olarak güncellenmesi, en güncel çalışmalara erişim imkânı sunarken, küresel kapsamı sayesinde farklı coğrafyalardan gelen bilimsel çalışmaların karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum, iklim değişikliği ve kuraklık gibi küresel boyutlu çevresel sorunların, farklı bölgelerdeki etkilerini ve bu etkilerin akademik çalışmalara nasıl yansıdığını bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymaya imkân tanımaktadır.

Sonuç olarak, 13 Eylül 2025 tarihinde yapılan sistematik tarama sonucunda kuraklık, iklim değişikliği ve IPCC bağlantılı çalışmaları kapsayan 688 yayından oluşan kapsamlı ve disiplinler arası bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti, yalnızca mevcut bilgi birikiminin genişliğini değil, aynı zamanda IPCC'nin metodolojileri ve raporları doğrultusunda şekillenen bilimsel eğilimleri de yansıtmaktadır. Elde edilen bu veriler üzerinden gerçekleştirilen hub analizi, bilimsel ağı merkezinde yer alan ve farklı araştırma alanlarını birbirine bağlayan kritik yayınların belirlenmesine olanak sağlamıştır. Böylece, kuraklık ve iklim değişikliği literatüründeki bilimsel bilgi akışının hangi yayınlar aracılığıyla sağlandığı, disiplinler arası işbirliğinin hangi noktalarda yoğunlaştığı ve hangi alanlarda zayıf kaldığı net bir şekilde ortaya konmuştur. Scopus'un sunduğu yüksek kaliteli, güncel ve çok yönlü veri yapısı, çalışmanın metodolojik sağlamlığını güçlendirmiş ve elde edilen sonuçların bilimsel geçerliliğini artırmıştır. Bu analizler, hem mevcut bilimsel durumun anlaşılmasına hem de gelecekte yapılacak araştırmalara yol gösterici bir temel oluşturmuştur.

1.1 Disiplinler Arası Köprüler ve Hub Yayınların Bibliyometrik Analizlerdeki Rolü

Disiplinler arası köprülerin kavramsal temeli, network teorisi ve bilgi difüzyonu modellerine dayanmaktadır. Network teorisine göre, bilimsel araştırma toplulukları düğümler (yazarlar, yayınlar veya kurumlar) ve kenarlar (iş birlikleri veya ortak atıflar) aracılığıyla temsil edilir. Disiplinler arası köprüler, farklı kümeler arasında bağlantı kurarak ağın modülerlik seviyesini düşürür ve bilgi akışını artırır. Bu yapı, literatürde “betweenness centrality” veya “brokerage” olarak tanımlanır ve ağın yapısal bütünlüğünü güçlendirir.

Örneğin, uzaktan algılama tekniklerini kullanan bir araştırmacı, iklim bilimciler ile tarım bilimciler arasında veri temelli bir işbirliği sağlayarak bilgi köprüsü oluşturur. Bu tür yayınlar, birden fazla kümeyi birbirine bağlayan köprüler olarak işlev görmektedir. Nitekim “Climate change impacts on multi-objective reservoir management” başlıklı çalışma, tarımsal su yönetimi (Küme 1), hidroloji (Küme 2) ve uzaktan algılama (Küme 3) alanlarındaki yazarları bir araya getirmektedir. Benzer şekilde, “Doubling of the population exposed to drought under future climate scenarios” başlıklı yayın, küresel iklim değişikliği, sosyo-ekonomik etki analizi ve kuraklık risk modellemesini birleştirerek güçlü bir disiplinler arası yapı sergilemektedir.

Yapılan analiz sonucunda, hub yayın olarak tanımlanan, yani 10 veya daha fazla yazar tarafından hazırlanmış toplam 29 yayın tespit edilmiştir. Bu 29 yayın, Scopus veri setindeki 688 yayın arasından seçilmiş olup, ağın merkezinde yer alan ve farklı kümeler arasında bilgi köprüleri kuran stratejik çalışmaları temsil etmektedir. Hub yayınların sayısının sınırlı olması, ağın disiplinler arası iş birliği açısından henüz gelişmekte olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu yayınlar etrafında düzenlenecek ortak projeler ve yeni işbirlikleri, bilgi akışını güçlendirecek ve kümeler arasındaki bilimsel entegrasyonu artırarak ağın yapısal bütünlüğünü daha sağlam hale getirecektir.

2. Bulgular

Yapılan analizde oluşturulan beş ana küme, her biri farklı tematik ve metodolojik odaklara sahip alt araştırma topluluklarını temsil etmektedir. Disiplinler arası köprüler ve hub yayınlar, doğrudan belirli bir kümeyle değil, birden fazla kümenin bağlantı noktalarına yerleşmektedir. Bu nedenle hub yayınlar, kümeler arasında bilgi akışını sağlayan stratejik odaklar olarak değerlendirilir.

Küme 0: Çevre ve iklim politikaları, sağlık ve adaptasyon odaklı çalışmalar

Küme 1: Tarım, sulama ve sosyo-ekonomik etkileşimler

Küme 2: Nehir havzaları, hidroloji ve yağış modelleri

Küme 3: Uzaktan algılama, MODIS/Landsat, yangın sonrası analiz

Küme 4: NDVI, topografya ve kuraklık indeksi çalışmaları

Disiplinler arası köprüler ve hub yayınlar, ağı yönlendiren stratejik merkezler olarak özellikle Küme 1, Küme 2 ve Küme 3 arasında yoğunlaşmaktadır. Küme 0, politika ve sağlık boyutuyla ağı dışarıdan etkilerken, Küme 4 daha çok veri sağlayıcı ve destekleyici bir rolde kalmaktadır (Tablo 1). Bu durum, araştırma topluluğunda tarımsal yönetim, hidroloji ve uzaktan algılama alanlarının disiplinler arası etkileşimin temel motorları olduğunu ortaya koymaktadır. Hub yayınlar sayesinde farklı tematik alanlar bir araya gelmekte ve yeni bilimsel yaklaşımların geliştirilmesine olanak sağlanmaktadır.

Tablo 1. Bazı Hub yayınlar ve ilgili kümeler

Hub Yayın Başlığı	İlgili Kümeler	Açıklama
<i>Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean Basin</i>	Küme 0 ↔ Küme 2	Çevresel politika ve hidrolojik modelleme arasında köprü
<i>Doubling of the population exposed to drought under future climate scenarios</i>	Küme 1 ↔ Küme 2	Tarımsal yönetim ve kuraklık risk analizi arasında bağlantı
<i>Climate change impacts on multi-objective reservoir management</i>	Küme 1 ↔ Küme 2 ↔ Küme 3	Tarımsal su yönetimi, hidroloji ve uzaktan algılama entegrasyonu
<i>Quantifying the hydrological responses to climate change</i>	Küme 2 ↔ Küme 3	İklim değişikliğinin hidrolojik süreçlere etkisi
<i>Six hundred years of South American tree rings</i>	Küme 2	Paleoklimatoloji ve hidrolojik verilerin birleşimi

Bu network grafiği, çalışmada incelenen yazarlar ve yayınlar arasındaki ilişkilerin yapısal özelliklerini ortaya koymak amacıyla oluşturulmuştur. Grafik, beş ana yazar kümesinin ve bu kümelere ait yayınların nasıl bir etkileşim ağı içerisinde yer aldığını göstermektedir. Yazarlar ve yayınlar iki farklı düğüm türü olarak modellenmiş, renkli düğümler yazarları, gri düğümler ise yayınları temsil etmektedir. Bu iki grup arasındaki bağlantılar, yazarların hangi yayınlarda birlikte çalıştığını göstermekte ve bilimsel etkileşimlerin ağ yapısını ortaya koymaktadır (Şekil 1).

Yazarlar, yayın başlıklarının içerik benzerliklerine göre K-Means kümeleme algoritması kullanılarak beş gruba ayrılmıştır. Bu kümeler grafik üzerinde farklı renklerle gösterilmiş ve her renk farklı bir tematik veya metodolojik yönelimi temsil etmektedir. Kırmızı renkle gösterilen Küme 0, ağırlıklı olarak iklim değişikliği, adaptasyon stratejileri, toplum temelli risk azaltma çalışmaları ve sürdürülebilir kalkınma politikaları üzerine yoğunlaşmış yazarları içermektedir. Bu kümede yazarların çoğunlukla kendi aralarında güçlü bağlantılar kurduğu, diğer kümelerle ise sınırlı sayıda ortak yayına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, bu yazar grubunun belirli bir alt disipline odaklanan uzmanlık alanı oluşturduğunu göstermektedir. Mavi renkle temsil edilen Küme 1, tarımsal su yönetimi, kuraklık modellemesi, sosyo-ekonomik değişkenlerin iklim etkileri ile ilişkilendirilmesi ve kırsal kalkınma konularında yoğunlaşmış yazarları içermektedir. Bu kümede yazarlar arasındaki bağlantıların yoğun olduğu görülmekte, bu da tarımsal iklim çalışmalarında güçlü bir işbirliği ağının bulunduğu işaret etmektedir. Yeşil renkle gösterilen Küme 2, hidrolojik süreçler, nehir havzası yönetimi, yağış analizleri ve iklim modellemesi üzerine çalışan yazarları kapsamaktadır. Grafikte bu kümenin yayın düğümleri etrafında sıkışık bir yapı oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, havza bazlı çalışmaların çok yazarlı ve disiplinler arası bir yapıda gerçekleştirildiğini göstermektedir. Turuncu renkle temsil edilen Küme 3, uzaktan algılama teknikleri, MODIS ve Landsat gibi uydu verileri, yangın sonrası bitki örtüsü analizi ve NDVI gibi bitki örtüsü indekslerine dayalı çalışmaları içermektedir. Bu kümede yer alan yazarların diğer kümelerle daha fazla ortak yayına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, uzaktan algılama tekniklerinin farklı araştırma alanlarında entegratif bir araç olarak kullanıldığını göstermektedir. Mor renkle gösterilen Küme 4, topografik analizler, NDVI eğilimleri, kuraklık indeksleri ve mekânsal modelleme konularına odaklanmıştır. Bu

kümenin daha kapalı bir yapıya sahip olduğu ve yazarların çoğunlukla kendi aralarında çalıştığı görülmektedir.

Grafikte yer alan gri yayın düğümleri, farklı kümelerden yazarları bir araya getiren bilimsel köprüler olarak işlev görmektedir. Bu yayınlar, disiplinler arası çalışmalarını temsil etmekte ve bilgi transferinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle uzaktan algılama çalışmalarının yer aldığı Küme 3'ün, tarımsal su yönetimi ve hidroloji üzerine çalışan kümelerle ortak yayınlar yapması, mekânsal analizlerin iklim ve tarım araştırmalarına entegrasyonunun önemini ortaya koymaktadır. Bu tür yayınların varlığı, ağın modülerlik seviyesinin düşük olduğunu ve kümeler arasında belirli bir etkileşim bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bağlantıların sınırlı olması, araştırmacıların çoğunlukla kendi uzmanlık alanlarında çalıştığını, disiplinler arası işbirliklerinin ise görece düşük düzeyde kaldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, gelecekte disiplinler arası işbirliği fırsatlarının artırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Ağın genel yapısı incelendiğinde, her kümenin kendi içinde güçlü bir bağlantılığa sahip olduğu görülmektedir. Yazarlar çoğunlukla aynı kümeye ait diğer yazarlarla ortak çalışmalar yapmaktadır. Bu durum, belirli tematik alanlarda uzmanlaşmanın yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak kümeler arası bağlantıların sınırlı olması, araştırma topluluğunun kapalı bir yapıya sahip olduğunu ve bilgi paylaşımının sınırlı düzeyde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum, yeni bilimsel fikirlerin ortaya çıkmasını zorlaştırabilmektedir. Örneğin, tarım ve hidroloji üzerine çalışan kümeler arasında sınırlı sayıda ortak yayın bulunması, bu iki alan arasındaki veri paylaşımı ve metodolojik entegrasyonun henüz yeterince gelişmediğini ortaya koymaktadır.

Grafığın merkezinde bulunan gri düğümlerden bazıları, çok sayıda yazar ve küme ile bağlantılıdır. Bu düğümler, literatürde "hub" olarak adlandırılan kritik yayınları temsil etmektedir. Hub yayınlar, alanın genel yönelimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve araştırmacıların etrafında toplandığı odak noktaları olarak işlev görmektedir. Bu yayınlar, bilimsel topluluk içerisinde bilgi akışının merkezinde yer almakta ve kümeler arasındaki etkileşimin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, bu yayınlar etrafında kümelenen yazarlar, araştırma topluluğunun öncü figürleri olarak değerlendirilmektedir.

Bu ağ yapısının sunduğu bulgular, stratejik planlamalar açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. İlk olarak, uzaktan algılama ve mekânsal modelleme gibi teknik alanlarda çalışan kümelerin diğer kümelerle daha fazla işbirliği yaparak iklim, hidroloji ve tarım araştırmalarına katkı sağlaması teşvik edilmelidir. İkinci olarak, hub yayınlar etrafında ortak etkinlikler, seminerler ve projeler düzenlenmesi, bilgi akışını güçlendirebilir ve kümeler arası işbirliğini artırabilir. Son olarak, daha kapalı ve az bağlantılı kümelerdeki yazarların diğer kümelerle etkileşime girmesi, yeni disiplinler arası araştırma fikirlerinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Genel olarak, network grafiği, araştırma topluluğunun beş belirgin alt kümeye ayrıldığını, bu kümelerin kendi içlerinde güçlü işbirlikleri kurarken birbirleriyle sınırlı etkileşim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu yapı, hem uzmanlaşmanın hem de disiplinler arası köprülerin varlığını aynı anda sergilemektedir. Ancak gelecekte daha yoğun disiplinler arası çalışmaların teşvik edilmesi, ağın genel etkinliğini ve bilgi üretim kapasitesini artıracaktır. Bu durum, özellikle iklim değişikliği, tarımsal sürdürülebilirlik ve hidrolojik yönetim gibi küresel öneme sahip konularda bilimsel üretkenliğin ve politika yapımının güçlendirilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak görülmektedir. Ağın görsel temsili, araştırma topluluğunun mevcut durumunun anlaşılmasını kolaylaştırmakta ve gelecekteki stratejik kararların alınması için sağlam bir temel sunmaktadır.

Kaynaklar

Adisa, O. M., Masinde, M., Botai, J. O., & Botai, C. M. (2020). Bibliometric analysis of methods and tools for drought monitoring and prediction in Africa. *Sustainability*, 12(16), 6516. <https://doi.org/10.3390/su12166516>

Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019

Bikard, M., & Marx, M. (2020). Bridging Academia and Industry: How Geographic Hubs Connect University Science and Corporate Technology. *Management Science*, 66(8), 3425–3443. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3385>

Cross, R., Borgatti, S. P., & Parker, A. (2002). Making Invisible Work Visible: Using Social Network Analysis to Support Strategic Collaboration. *California Management Review*, 44(2), 25–46. <https://doi.org/10.2307/41166121>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Erfanmanesh, M. (2017). Status and quality of open access journals in Scopus. *Collection Building*, 36(4), 155–162. <https://doi.org/10.1108/cb-02-2017-0007>

Guzmán, D. A., Mohor, G. S., Taffarello, D., & Mendiondo, E. M. (2017). Economic impacts of drought risks for water utilities through Severity-Duration-Frequency framework under climate change scenarios. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-615>

José de Oliveira, O., Francisco da Silva, F., Juliani, F., César Ferreira Motta Barbosa, L., & Vieira Nunes, T. (2019). Bibliometric Method for Mapping the State-of-the-Art and Identifying Research Gaps and Trends in Literature: An Essential Instrument to Support the Development of Scientific Projects. *Scientometrics Recent Advances*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85856>

Kalumba, A. M., Afuye, G. A., Mazinyo, S. P., Zhou, L., Adom, R. K., Simatele, M. D., & Das, D. K. (2025). Spatial assessment of climate change, water resource management, adaptation and governance in South Africa. *Frontiers in Water*, 7. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1376943>

Kundu, S., Shukla, S., Banerjee, B., & Mohanta, A. (2025). Advanced Bibliometric Analysis of Global Research Trends in Drought Monitoring and Assessment. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6125428/v1>

Leal Filho, W., Nagy, G. J., Gbaguidi, G. J., Paz, S., Dinis, M. A. P., Luetz, J. M., & Sharifi, A. (2025). The role of climatic changes in the emergence and re-emergence of

infectious diseases: bibliometric analysis and literature-supported studies on zoonoses. *One Health Outlook*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s42522-024-00127-3>

Leydesdorff, L., & Rafols, I. (2011). Indicators of the interdisciplinarity of journals: Diversity, centrality, and citations. *Journal of Informetrics*, 5(1), 87–100. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.09.002>

Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E. (2018). Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>

Piya, L., Maharjan, K. L., & Joshi, N. P. (2019). Introduction. *Socio-Economic Issues of Climate Change*, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5784-8_1

Raihan, A. (2023). A review of the global climate change impacts, adaptation strategies, and mitigation options in the socio-economic and environmental sectors. *Journal of Environmental Science and Economics*, 2(3), 36–58. <https://doi.org/10.56556/jescae.v2i3.587>

Dissipative Protocol for Analyzing Steady-State Coherence Under Parameter Variation

Dr. Ufuk Korkmaz¹, S. Elham Mousavigharalari², Doç. Dr. Deniz Türkpençe³

¹Oready Quantum Technologies, ITU ARI Teknokent, ufukkorkmaz@itu.edu.tr

²Istanbul Technical University, Informatics Institute, mousavie@itu.edu.tr

³Istanbul Technical University, Informatics Institute, dturkpence@itu.edu.tr

Abstract: We investigate a dissipative protocol for quantum information characterization based on the repeated-interactions (collisional) model, in which a probe qubit S sequentially couples to an ensemble of identically prepared reservoir units $\{R_k\}$. Each unit is initialized in a pure state $|\Psi(\theta, \phi)\rangle$ specified by the Bloch-sphere polar angle θ and azimuth ϕ . The stroboscopic unitary $U(\tau)$ acting on $S \otimes R_k$ over an interaction time τ induces on the probe a completely positive trace-preserving map Φ ; iterating Φ drives S toward a unique steady state $\rho_S^{ss} = \Phi(\rho_S^{ss})$ under memoryless (Markovian) conditions, largely independent of the probe's initial preparation. Focusing exclusively on the steady-state coherence as an operational figure of merit, we quantify coherence via the Pauli expectation $\langle \sigma_y \rangle^{ss} = \text{Tr}[\sigma_y \rho_S^{ss}]$ and study its response to continuous variations of the input parameters (θ, ϕ) . A systematic sweep over the reservoir's Bloch angles reveals that the final coherence profile depends fundamentally on both the polar and azimuthal coordinates. In particular, the response curve $\langle \sigma_y \rangle^{ss}(\phi)$ exhibits a characteristic inverse relation for complementary polar angles (e.g., θ and $\pi - \theta$): while the magnitude of the steady coherence can remain comparable, its sign and phase dependence flip consistently, reflecting the geometric reorientation of the reservoir's Bloch vector relative to the probe's y -measurement axis. This symmetry provides a simple diagnostic to distinguish classes of input states using a single steady observable. We systematically explore the functional dependence of this steady-state coherence on the continuous variation of the input parameters θ and ϕ . Our results demonstrate that the final coherence profile is fundamentally and distinctly shaped by both angular degrees of freedom of the reservoir units. A key finding is the observation of an inverse relationship in the $\langle \sigma_y \rangle^{ss}$ response as a function of ϕ for specific complementary choices of the polar angle, such as θ and $\pi - \theta$. This inherent and sensitive dependence on the complete geometric specification of the input state underscores the efficiency of this autonomous, dissipation-assisted mechanism. It confirms that the collisional model protocol is not merely a thermalization process but a potent tool for quantum state characterization and discrimination, leveraging the steady-state coherence as a sensitive probe to extract information about the reservoir's quantum statistical properties.

Keywords: collisional model, open quantum dynamics, steady-state coherence, noisy intermediate-scale quantum.

1. Introduction

Quantum information processing, particularly in noisy intermediate-scale quantum (NISQ) devices (Verstraete, Wolf and Ignacio Cirac, 2009; Preskill, 2018), necessitates protocols that are inherently robust and rely on accessible physical mechanisms (Verstraete, Wolf and Ignacio Cirac, 2009). The dynamics of a quantum system interacting with its environment are typically described by complex master equations.

The Collisional Model (CM), rooted in the repeated interactions scheme (Nagaj et al., 2002; Scarani et al., 2002; Ziman et al., 2002; Karevski and Platini, 2009; Ciccarello, Palma and Giovannetti, 2013; Cattaneo et al., 2021), provides an elegant and mathematically distinct description of Open Quantum Dynamics (OQD) (Sinayskiy and Petruccione, 2012; Deffner, 2013; Schuld, Sinayskiy and Petruccione, 2014; Korkmaz and Türkpençe, 2022, 2023). By replacing a continuous bath with a sequence of discrete, unitary interactions between the system and identical reservoir units, the CM offers a robust and analytically tractable method for simulating dissipation (Winter, 2016; Rodríguez et al., 2022).

In the traditional view of open systems, the environment is merely a passive bath where quantum information irreversibly disappears. However, in our context, the reservoir assumes a more active role: that of an Information Reservoir (Deffner, 2013; Deffner and Jarzynski, 2013; Strasberg et al., 2017; Campbell and Vacchini, 2021; Korkmaz, Sanga and Türkpençe, 2021). These units act as a specialized communication channel, not only causing dissipation but also repeatedly imprinting specific quantum states and their encoded information onto the probe system (Blume-Kohout et al., 2017; Zwolak and Zurek, 2017). The ability of a reservoir to serve as a channel for information flow, rather than just a sink, is central to the protocol we propose. The steady-state properties of open quantum systems can be designed to be monotonically adjustable.

We utilize the CM to investigate how the final steady state coherence ($\langle \sigma_y \rangle^{\text{ss}}$) of the probe qubit is ultimately conditioned by the information encoded in the reservoir parameters. Here, the reservoir units are prepared in pure states $|\Psi(\theta, \phi)\rangle$, where θ and ϕ are the defining quantum parameters. Our primary goal is to establish how the combined variation of θ and ϕ shapes the observed stable coherence, providing a simple, dissipation assisted tool for quantum state characterization (Nagaj et al., 2002; Scarani et al., 2002; Ziman et al., 2002).

2. Steady-State Coherence Analysis

2.1 Collisional Model Dynamics

We describe the dynamics of the proposed model in terms of the collisional model based on the repeated interactions scheme. We follow the standard collisional model where the reservoir is composed of identical, non-interacting units. In this scheme, the reservoir units sequentially interact with the target system (probe qubit) with a small and finite interaction time $\tau \rightarrow 0^+$. Here, each interaction is unitary and the quantum state of the target system can be iteratively calculated by reduced dynamics. The standard collision model coincides with the memoryless open quantum dynamics well described by Markov master equations (Lorena, de Carvalho and Gama, 2009; Ciccarello *et al.*, 2022)[9].

In compliance with the collision model, we consider identical qubit states as

$$\varrho_{\mathcal{R}_i} = \bigotimes_{k=1}^n \varrho_k(\theta_i, \phi_i) \quad (1)$$

This tensor product structure constitutes an information reservoir where reservoir state parameters are easily encoded as single-qubit rotations. The total dynamical map after n collisions is expressed as an iterative reduced dynamics:

$$\Phi_{n\tau}^{(i)}[\varrho_0] = \text{Tr}_n \left[\mathcal{U}_{0i_n} \dots \text{Tr}_1 \left[\mathcal{U}_{0i_1} \left(\varrho_0 \otimes \varrho_{\mathcal{R}_{i_1}} \right) \mathcal{U}_{0i_1}^\dagger \right] \otimes \dots \otimes \varrho_{\mathcal{R}_{i_n}} \mathcal{U}_{0i_n}^\dagger \right] \quad (2)$$

where Tr_n is the partial trace taken n times over reservoir qubits and $n\tau$ is the cumulative time for n collisions. Here, $\mathcal{U}_{0i_k} = \exp[-i\mathcal{H}_{0i}^k \tau]$ stands for the unitary propagator where $\mathcal{H}_{0i}^k = \mathcal{H}_{\text{free}}^{k,i} + \mathcal{H}_{\text{int}}^{k,i}$ is the Hamiltonian for the system plus reservoir states during the

collisional interaction between the probe qubit and the k th unit belonging to the i th reservoir. The free term of the Hamiltonian reads

$$\mathcal{H}_{\text{free}}^{k,i} = \frac{\omega_0}{2} \sigma_0^z + \frac{\omega_i}{2} \sigma_{i_k}^z \quad (3)$$

where σ_0^z is the Pauli- z operator acting on the probe qubit, $\sigma_{i_k}^z$ is the Pauli- z operator acting on the k th unit of the i th information reservoir, and $\omega_{0,i}$ are the probe and the reservoir qubit frequencies, respectively ($\hbar = 1$ is assumed).

In general, we consider the resonant condition $\omega_0 = \omega_i$ with arbitrary coupling rates so that the interaction Hamiltonian takes the form of a rotating wave approximation (RWA) coupling:

$$\mathcal{H}_{\text{int}}^{k,i} = J_i (\sigma_0^+ \sigma_{i_k}^- + \text{H.c.}) \quad (4)$$

where σ_v^+ and σ_v^- are the raising and lowering operators, and J_i is the coupling strength to the i th reservoir.

2.2 Steady-State Observable and Parameter Dependence

The final outcome of the iterative dynamics is the steady-state ρ_S^{ss} , which reflects the persistent influence of the reservoir parameters. The coherence of the probe qubit in this final state is a key observable. Single qubit quantum coherence can be quantified by l_1 norm of coherence (Baumgratz, Cramer and Plenio, 2014)

$$\mathcal{C}_{l_1}[\rho] = \sum_{i \neq j} |\rho_{ij}| \quad (5)$$

which is the absolute summation of the off-diagonal terms of the system density matrix. Fig. 1 depicts the collisional equilibration dynamics of the probe qubit, initially prepared in the $|+\rangle$ state, in terms of $|\langle \sigma_y \rangle|$ against \mathcal{C}_{l_1} . The \mathcal{C}_{l_1} was calculated by exact diagonalization and compared with the observable's exact value obtained through:

$$|\langle \sigma_y \rangle^{\text{ss}}| = \sqrt{\mathcal{C}_{l_1} |c| - 2(\text{Re}[c]^2 - \text{Im}[c]^2)} \quad (6)$$

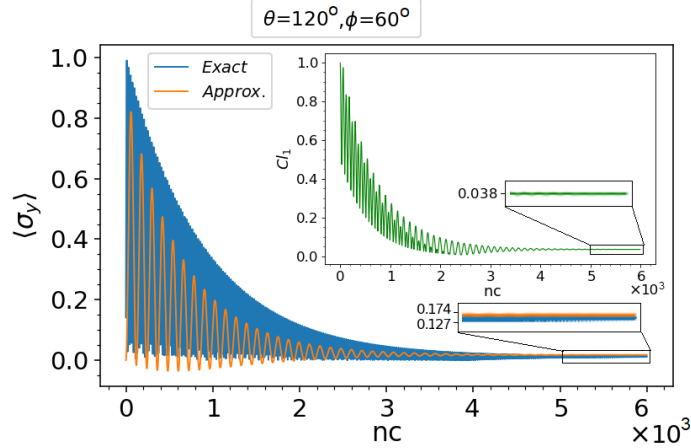


Figure 1. Collisional equilibration of the probe qubit by a single information reservoir against number of collisions (nc). The probe qubit prepared initially in $|+\rangle = (|e\rangle + |g\rangle)/\sqrt{2}$ state and contacted collisionally with the identical reservoir units $|\Psi(\theta, \phi)\rangle$ with $\theta = 2\pi/3, \phi = \pi/3$. The probe qubit coherence dynamics depicted in small figure. The probe qubit-reservoir interaction time $\tau = 3$ and the coupling strength to the reservoir $J = 0.02$ are dimensionless and scaled by ω_r .

Here, the steady state is reached after 4×10^3 collisions, resulting in a short equilibration time $T_{\text{eq}} \approx 12\mu\text{s}$, which is significantly shorter than the intrinsic T_1 and T_2 times of the considered superconducting qubit architecture (Majer *et al.*, 2007; Deng, Barnes and

Economou, 2017; Krantz *et al.*, 2019; Blais *et al.*, 2021; Korkmaz, Sanga and Türkpençe, 2021; ‘IBM Q Experience’, 2021). This rapid convergence underscores the utility of the dissipative protocol.

Fig. 2 further illustrates the transient equilibration dynamics for several fixed (θ, ϕ) pairs. We observe that comparing the (a), (c) and (b), (d) pairs (fixed θ) and the (a), (b) and (c), (d) pairs (fixed ϕ), the steady response exhibits strong sensitivity to both parameters. Notably, states prepared with θ angles that sum to π (e.g., $\pi/3$ and $2\pi/3$), which encode the same magnitude of coherence, result in steady $\langle \sigma_y \rangle$ values that differ by a minus sign. To confirm this continuous parameter dependency, we examine the steady-state response over the full range of both θ and ϕ parameters. Fig. 3 (b) specifically plots the steady-state coherence $\langle \sigma_y \rangle^{ss}$ as a function of the azimuth angle ϕ (ranging from 0 to 2π) for two distinct, fixed values of the polar angle θ .

As seen in Fig. 3 (b), the steady response curve exhibits a smooth and symmetric behavior against the variation of ϕ . The key observation is the relationship between the two curves: the curve for $\theta = \pi/3$ and the curve for $\theta = 2\pi/3$ (supplementary angles) show an ****opposite sign response**** across the entire ϕ range. This inverse relationship confirms that the θ parameter determines the sign of the steady coherence response induced by the ϕ parameter. We note that the magnitude of the $\langle \sigma_y \rangle^{ss}$ response with respect to ϕ is several orders of magnitude smaller than the $\langle \sigma_z \rangle^{ss}$ response with respect to θ (Fig. 3 (a)), yet this weak response is consistently measurable and unneglectable.

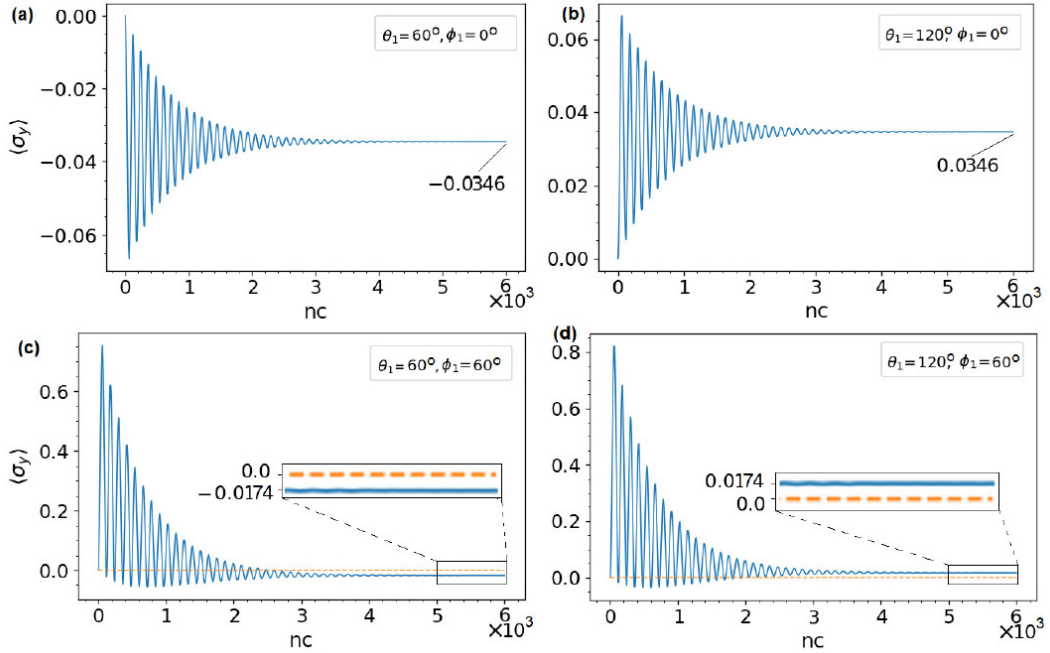


Figure 2. Collisional equilibration of the probe qubit by a single information reservoir against number of collisions (nc). The probe qubit prepared initially in $|+\rangle = (|e\rangle + |g\rangle)/\sqrt{2}$ state and contacted collisionally with the identical reservoir units $|\Psi(\theta, \phi)\rangle$ with (a) $\theta = \pi/3, \phi = 0$, (b) $\theta = 2\pi/3, \phi = 0$, (c) $\theta = \pi/3, \phi = \pi/3$ (d) $\theta = 2\pi/3, \phi = \pi/3$. The probe qubit-reservoir interaction time $\tau = 3$ and the coupling strength to the reservoir $J = 0.02$ are dimensionless and scaled by ω_r .

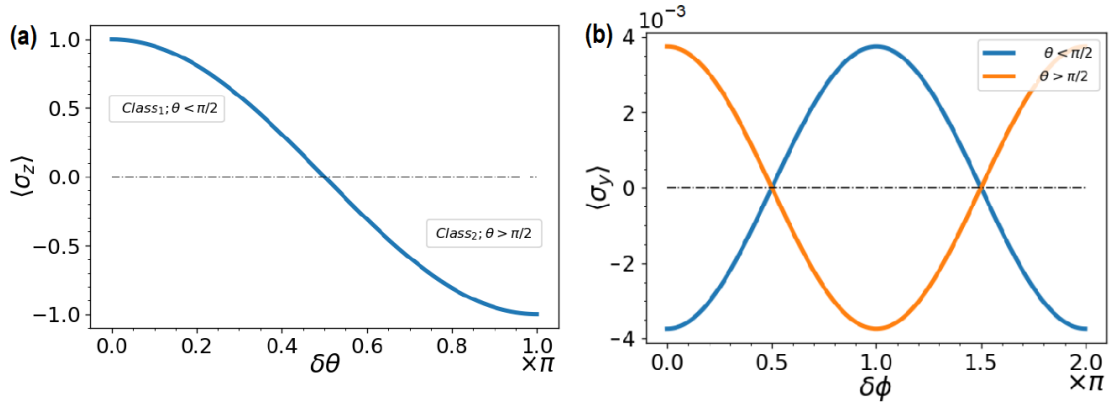


Figure 3. Steady response of the probe qubit quantified by two different Pauli observables in the presence of a single information reservoir depending on the continuous variation of the two reservoir information parameters. (a) Steady response quantified by $\langle \sigma_z \rangle$ depending on $0 \leq \delta\theta \leq \pi$ with fixed $\phi = 0$. (b) Steady response quantified by $\langle \sigma_y \rangle$ depending on $0 \leq \delta\phi \leq 2\pi$ with fixed $\theta = \pi/3$ and $\theta = 2\pi/3$. The coupling of the probe qubit is $J = 0.01$. The interaction rate and the interaction time taken as $r = 0.36$ and $\tau = 2.4$ respectively and scaled by ω_r .

3. Conclusions

We have utilized the framework of the collisional model to rigorously analyze the steady-state coherence response of a probe qubit under the influence of quantum reservoir units defined by the state preparation parameters θ and ϕ . By mathematically defining the iterative unitary dynamics, we established the mechanism through which input information is mapped onto the probe's steady state. The observable $\langle \sigma_y \rangle^{\text{ss}}$ serves as a reliable metric for quantifying this steady coherence. Numerical results confirm the system's rapid convergence to the steady state, occurring significantly faster than typical system decoherence times, validating the practical applicability of the protocol. Most importantly, our analysis of the full parameter space demonstrates that the steady coherence profile is sensitive to the geometric orientation of the input states. The clear inverse relationship observed in the $\langle \sigma_y \rangle^{\text{ss}}$ response curves when θ is varied between supplementary angles confirms that the dissipative process effectively transfers and reflects the fine-grained parametric differences of the input quantum states onto the probe's stable coherence level. This method offers a robust, dissipation-assisted technique for characterizing and processing quantum information.

Acknowledgments

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK, Grant No. 124F472). We also acknowledge the facilities and technical support provided by the Informatics Institute of İstanbul Technical University and the Qready Quantum Technologies and Consulting Joint Stock Company.

References

- Baumgratz, T., Cramer, M. and Plenio, M.B. (2014) ‘Quantifying Coherence’, *Physical Review Letters*, 113(14), p. 140401.
- Blais, A. *et al.* (2021) ‘Circuit quantum electrodynamics’, *Reviews of Modern Physics*, 93(2), p. 025005.

- Blume-Kohout, R. *et al.* (2017) ‘Demonstration of qubit operations below a rigorous fault tolerance threshold with gate set tomography’, *Nature Communications*, 8(1), p. 14485.
- Campbell, S. and Vacchini, B. (2021) ‘Collision models in open system dynamics: A versatile tool for deeper insights?’, *Europhysics Letters*, 133(6), p. 60001.
- Cattaneo, M. *et al.* (2021) ‘Collision Models Can Efficiently Simulate Any Multipartite Markovian Quantum Dynamics’, *Physical Review Letters*, 126(13), p. 130403.
- Ciccarello, F. *et al.* (2022) ‘Quantum collision models: Open system dynamics from repeated interactions’, *Physics Reports*, 954, pp. 1–70.
- Ciccarello, F., Palma, G.M. and Giovannetti, V. (2013) ‘Collision-model-based approach to non-Markovian quantum dynamics’, *Physical Review A*, 87(4), p. 040103.
- Deffner, S. (2013) ‘Information-driven current in a quantum Maxwell demon’, *Physical Review E*, 88(6), p. 062128.
- Deffner, S. and Jarzynski, C. (2013) ‘Information Processing and the Second Law of Thermodynamics: An Inclusive, Hamiltonian Approach’, *Physical Review X*, 3(4), p. 041003.
- Deng, X.-H., Barnes, E. and Economou, S.E. (2017) ‘Robustness of error-suppressing entangling gates in cavity-coupled transmon qubits’, *Physical Review B*, 96(3), p. 035441.
- ‘IBM Q Experience’ (2021). Available at: <https://quantum-computing.ibm.com/> (Accessed: 28 September 2021).
- Karevski, D. and Platini, T. (2009) ‘Quantum Nonequilibrium Steady States Induced by Repeated Interactions’, *Physical Review Letters*, 102(20), p. 207207.
- Korkmaz, U., Sanga, C. and Türkpençe, D. (2021) ‘Mimicking an Information Reservoir by Superconducting Quantum Circuits’, in *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, pp. 105–109.
- Korkmaz, U. and Türkpençe, D. (2022) ‘Transfer of quantum information via a dissipative protocol for data classification’, *Physics Letters A*, 426, p. 127887.
- Korkmaz, U. and Türkpençe, D. (2023) ‘Quantum collisional classifier driven by information reservoirs’, *Physical Review A*, 107(1), p. 012432.
- Krantz, P. *et al.* (2019) ‘A quantum engineer’s guide to superconducting qubits’, *Applied Physics Reviews*, 6(2), p. 021318.

Lorena, A.C., de Carvalho, A.C.P.L.F. and Gama, J.M.P. (2009) ‘A review on the combination of binary classifiers in multiclass problems’, *Artificial Intelligence Review*, 30(1), p. 19.

Majer, J. *et al.* (2007) ‘Coupling superconducting qubits via a cavity bus’, *Nature*, 449(7161), pp. 443–447.

Nagaj, D. *et al.* (2002) ‘Quantum homogenization for continuous variables: Realization with linear optical elements’, *Physical Review A*, 66(6), p. 062307.

Preskill, J. (2018) ‘Quantum Computing in the NISQ era and beyond’, *Quantum*, 2, p. 79.

Rodríguez, L.E.H. *et al.* (2022) ‘A comparative study of different machine learning methods for dissipative quantum dynamics’, *Machine Learning: Science and Technology*, 3(4), p. 045016.

Scarani, V. *et al.* (2002) ‘Thermalizing Quantum Machines: Dissipation and Entanglement’, *Physical Review Letters*, 88(9), p. 097905.

Schuld, M., Sinayskiy, I. and Petruccione, F. (2014) ‘Quantum walks on graphs representing the firing patterns of a quantum neural network’, *Physical Review A*, 89(3), p. 032333. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.89.032333>.

Sinayskiy, I. and Petruccione, F. (2012) ‘Efficiency of open quantum walk implementation of dissipative quantum computing algorithms’, *Quantum Information Processing*, 11(5), pp. 1301–1309.

Strasberg, P. *et al.* (2017) ‘Quantum and Information Thermodynamics: A Unifying Framework Based on Repeated Interactions’, *Physical Review X*, 7(2), p. 021003.

Verstraete, F., Wolf, M.M. and Ignacio Cirac, J. (2009) ‘Quantum computation and quantum-state engineering driven by dissipation’, *Nature Physics*, 5(9), pp. 633–636.

Winter, A. (2016) ‘Operational Resource Theory of Coherence’, *Physical Review Letters*, 116(12).

Ziman, M. *et al.* (2002) ‘Diluting quantum information: An analysis of information transfer in system-reservoir interactions’, *Physical Review A*, 65(4), p. 042105.

Zwolak, M. and Zurek, W.H. (2017) ‘Redundancy of einselected information in quantum Darwinism: The irrelevance of irrelevant environment bits’, *Physical Review A*, 95(3), p. 030101.