

[illegible]

5

PROCEEDINGS BOOK
ENGINEERING AND ARCHITECTURE



28 Aralık
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
2024 / İSTANBUL

"Bu proje T.C. İçişleri Bakanlığı Sivil Toplumla İlişkiler Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmektedir."



T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
**SİVİL TOPLUMLA
İLİŞKİLER**
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

10. ULUSLARARASI ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI - 5
10th INTERNATIONAL STUDENT SYMPOSIUM
PROCEEDINGS BOOK – 5

ENGINEERING and ARCHITECTURE
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK

Tasarım / Graphic Design
Cüret Karakaş
UDEF

ISBN: 978-625-7480-42-0

Yayın Tarihi / Publication Date
İstanbul, 2025

Yayınevi Bilgileri / Publisher

ULUSLARARASI ÖĞRENCİ DERNEKLERİ FEDERASYONU (UDEF)
FEDERATION OF INTERNATIONAL STUDENT ASSOCIATIONS

Adres: Ayvansaray Mah. Kariye Türbesi Sok. No: 24 Fatih-İstanbul
Telefon: +90 (212) 255 88 65 | Fax: +90 (212) 255 88 62 | E-posta: info@udef.org.tr

Düzenleyen Kurumlar / Organized by

Uluslararası Öğrenci Dernekleri Federasyonu (UDEF) | İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) |
Uluslararası Balkan Üniversitesi (IBU)

Destekleyen Kurumlar / Sponsoring Institutions

Bâb-1 Âlem Uluslararası Öğrenci Derneği | Sefire-i Alem Uluslararası Öğrenci Derneği
Mihrimah Uluslararası Öğrenci Derneği | TUMED | Sivil Toplumla İlişkiler Genel Müdürlüğü
Yurt Dışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı | Esenler Belediyesi

Düzenleme Kurulu / Organizing Board

Dr. Selman Duran (Düzenleme Kurulu Başkanı) UDEF | **Dr. Salman Narlı** UDEF | **Abdul Raheem Akbari** UDEF | **Azamat Arpachiev** UDEF | **Cüret Karakaş** UDEF | **İmam Hissein Alio** UDEF | **Feyat Eren** UDEF | **Harun Söylemez** UDEF | **Barış Osman** UDEF | **İhsanullah Joya** UDEF

Organizasyon Komitesi / Organizing Committee

Ercan Akcan Bab-1 Alem UÖD | **Derya Şama** Sefire-i Alem UÖD | **Vildan Demir** Mihrimah UÖD
Mustafa Kesici Bab-1 Alem UÖD | **Yusuf Mugoya** Bâb-1 Âlem UÖD
Mücahit Durmuş Bab-1 Alem UÖD | **Tayfun Karagülle** Bab-1 Alem UÖD |
Hilal Yetimova UDEF | **Gürsel Furkan Meme** UDEF

Bilim Kurulu / Scientific Committee

Prof. Dr. Abdenour Nadji Badji Mokhtar Annaba University | **Prof. Dr. Ahmet Alibasic** University of Sarejevo | **Prof. Dr. Ahmet Gülmez** Sakarya Üniversitesi | **Prof. Dr. Cevat Özyurt** Manas Üniversitesi | **Prof. Dr. Ertan Özensel** Manas Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi | **Prof. Dr. Faruk Taşçı** İstanbul Üniversitesi | **Prof. Dr. Hakkı Yazıcı** Afyon Kocatepe Üniversitesi | **Prof. Dr. Hawa Kasule** Markere University | **Doç. Dr. Mehmet Ali Aydemir** Muş Alparslan Üniversitesi | **Prof. Dr. Mehmet Çevik** İzmir Katip Çelebi Üniversitesi | **Prof. Dr. Mesut Idriz** University of Sharjah | **Prof. Dr. Muhidin Mulalic** International University of Sarajevo | **Prof. Dr. Murat Çemrek** Necmettin Erbakan Üniversitesi | **Prof. Dr. Musa Alcı** Ege Üniversitesi | **Prof. Dr. Yakup Poyraz** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Prof. Dr. Yusuf Adıgüzel** Sakarya Üniversitesi | **Assoc. Prof. Dr. Delcho Leshkovski** Uluslararası Balkan Üniversitesi | **Assoc. Prof. Dr. Makame Omar** Makame State University of Zanzibar | **Assoc. Prof. Dr. Samarbek Syrgabaev** Bishkek Humanitarian University | **Doç. Dr. Ahmet Ayhan Koyuncu** Afyon Kocatepe Üniversitesi | **Doç. Dr. Furkan Beşel** Sakarya Üniversitesi | **Doç. Dr. Hayri Baytan Özmen** Usak Üniversitesi | **Doç. Dr. İbrahim Nacak** Selçuk Üniversitesi | **Doç. Dr. Md. Nazmul Islam** Rajshahi Üniversitesi | **Doç. Dr. Mesut Koçak** Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi | **Doç. Dr. Mohammad Naser Amin** Kabul Polytechnic University | **Doç. Dr. Mohammad Rafi Rati** Kabul Polytechnic University | **Doç. Dr. Nurul Huda Sakib** Jahangirnagar University | **Doç. Dr. Nurullah Altıntaş** Sakarya Üniversitesi | **Doç. Dr. Safiullah Omary** National Institute of Applied Sciences (INSA) | **Doç. Dr. Selçuk Atay** Karabük Üniversitesi | **Doç. Dr. Sifatullah Bahij** Kabul Polytechnic University | **Doç. Dr. Taha Eğri** Kırklareli Üniversitesi | **Doç. Dr. Zafer Çelik** Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi | **Asst. Prof. Dr. Ahmet Lökçe** Uluslararası Balkan Üniversitesi | **Asst. Prof. Dr. Marija Miloshevska Janakieska** Uluslararası Balkan Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Abuzer Gündüz** Sakarya Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Köroğlu** İstanbul Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman Karaoğlu** Yalova Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Anar Jafarova** Hazar Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Burak Cıkıryel** Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Daşdemir Mahmandarov** Azerbaycan İlahiyat Enstitüsü | **Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ramazan Yılmaz** İbn Haldun Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi İnayetulla Azimov** İstanbul Aydın Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Kamran Abdullayeva** Karadeniz Teknik Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali Bolat** İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Mesut Barış** İstanbul Gelişim Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ayyıldız** Gümüşhane Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Ömer Akgül** Sağlık Bilimleri Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Rahmat Ullah** İstanbul Gelişim Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Samire Hasanova** Aydın Yakın Doğu Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Selman Duran** Medipol Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Sultan Mahmud Ranan** Rajshahi University | **Dr. Öğr. Üyesi Youssoufa Soumanan** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Dr. Mehmet Baydemir** | **Dr. Rajab Idd Muyingon** Kabale University

İÇİNDEKİLER

<i>Seba Hasan</i> Cumba Felsefesinin Çağdaş Mimaride Teknik Bir Yaklaşımla Uygulanması (Mashrabiya)	7
<i>Abdul Samad, Muhammed Kürşad Uçar</i> Advance Machine Learning Techniques For Asthma Disease Prediction.....	18
<i>Muhammed Kürşad Uçar</i> Yemen Kahvesinin Kalitesi Üzerindeki Değer Zincirinin Etkisi: "Tarımdan Hasada Kadar"	29
<i>Fodié Diagana, Hatice Özaktan</i> Rizobakterilerin Domates Yetiştiriciliğinde Tuzluluk Stresine Etkilerinin Araştırılması	36
<i>Hussam Alsalameh, Ibrahim Develi, Busra Karahan</i> Performance Analysis of OTFS-IM: Impact of Doppler Units and Sampling Rate on System Efficiency	52
<i>Ibrahim Isse Ali, Mohamed Said</i> Medicinal Plants as Biofactories: Utilizing Natural Defense Compounds for Enhanced Plant Protection	59
<i>Kamilia Khannoussi, Ahmet Afşin Kulaksız</i> Fotovoltaik Sistemlere Giriş: Güneş Hücrelerinden Enerji Üretimine.....	70
<i>Mohamoud Warsame, Zülal Diri Kenger</i> Warehouse Optimization: Analysing Opening/Closing Decisions in Distribution Networks-A Case Study	80

Cumba Felsefesinin Çağdaş Mimaride Teknik Bir Yaklaşımla Uygulanması (Mashrabıya)

Seba Hasan¹

Giriş

Araştırma, Arap ve İslam sanatında önemli bir mimari öge olan cumbaların estetik değerlerini ve işlevlerini ele almaktadır. Cumbalar, iç ve dış estetiği işlevsel olarak bir araya getirerek sıcaklık düzenleme, ışık geçişini sağlama ve hava akışını kontrol etme gibi görevler üstlenirler. Ayrıca, cumbaların imalatında kullanılan ahşap türleri ve süsleme teknikleri gibi detaylar da incelenmiştir. Araştırma, cumbaların modern mimarideki kullanımlarını, binaların cephelerini kaplama, Doğu kimliğini vurgulama ve gölgelendirme ile serinletme amacıyla nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Geleneksel İslam öğelerinin modern mimari ve çağdaş sanat tasarımlarında nasıl adapte edilebileceğini, yeni estetik ve işlevsel öğeler ekleyerek İslami kimliğini koruma, yenileme ve geliştirme konularını ele almaktadır. Geleneksel Türk ve İslam mimarisinin önemli unsurlarından biri olan cumbalar, yapısal ve estetik özellikleriyle dikkat çeker. Tarihsel süreçte cumbalar, sadece estetik bir öge değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel bir simge olarak da önemli bir rol oynamıştır. Bu makalede, cumba felsefesinin çağdaş mimaride teknik bir yaklaşımla nasıl uygulanabileceği detaylandırılmaktadır.

Araştırmanın Amaçları

Araştırmanın temel amacı, İslam ülkelerindeki geleneksel cumba formlarını incelemek ve bu formların modern mimariye nasıl entegre edilebileceğini belirlemektir. Bu bağlamda araştırma, aşağıdaki hedeflere odaklanmaktadır:

Geleneksel Cumba Formlarının Tespiti: İslam ülkelerinde kullanılan farklı cumba formlarını belirlemek ve bu formların özelliklerini incelemek.

Mimari Mirasın Sürdürülebilirliği: Geleneksel mimari değerleri, teknolojik ve çağdaş olanaklarla birleştirerek sürdürülebilir mimari kimliğe sahip çağdaş ahşap ürünler tasarlamak.

Modern Ahşap Ürün Tasarımı: Çağdaş mimaride, geleneksel mimari mirasa dayalı değerleri kullanarak modern ahşap ürünler tasarlamaya yönelik sonuçlar ve uygulamalar elde etmek.

Araştırmanın Sınırları

Araştırma, cumbanın şeklini, büyük pencerelerin geometrik tasarımını ve altın oranın çağdaş mimaride hem işlevsel hem de estetik açıdan başarılı bir şekilde uygulanmasını kapsamaktadır. Ahşap ürün sektöründe cumbalı pencerelerin çağdaş mimari uygulamalarına odaklanmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma, tanımlayıcı-analitik ve deneysel araştırma yöntemlerini birleştirir ve şu adımları içerir:

¹ Doktora Öğrencisi (PhD Student) İstanbul Üniversitesi

Teorik Çerçeve

Cumbaların sanatsal değerlerini incelemek ve görsel ve boşluksal özelliklerini belirlemek.

Seçilen mimari örneklerin incelenmesi ,cumbaların işlevsel ve estetik yönlerinden nasıl yararlandıklarının analizinin neler olduğu.

Cumbaların mimari değerleri ile çağdaş mimari uygulamalar arasındaki ilişkinin analizi ve ahşap ürünlerin tasarımında nasıl kullanılabileceğinin incelenmesi.

Deneyisel Uygulama Çerçevesi

Araştırmacı bazı İslam ülkelerindeki cumba şekillerini karşılaştırıyor.

Geleneksel mimari özelliklerden esinlenerek, çatılarında ahşap ürünler kullanılmasını bina cepheleri için çağdaş tasarımların ve cumba uygulamalarının ve modern mimarideki kullanımlarının araştırılmasını içermektedir.

Deneyisel Uygulama Çerçevesi

Cumba Şekillerini Karşılaştırma: Araştırmacı, bazı İslam ülkelerindeki cumba şekillerini karşılaştırmaktadır.

- **Geleneksel Mimari Özelliklerden Esinlenme:** Çatılarda ahşap ürünlerin kullanılmasını, bina cepheleri için çağdaş tasarımlar ve cumba uygulamalarının modern mimarideki kullanımlarını araştırmak.

Mimari Cephelerin Önemi

Mimari cepheler, bir yapının kimliğini ve karakterini belirleyen önemli öğelerdir. Cumbalar, cephelerde hem estetik hem de işlevsel değerler katarak, mekanların daha ferah ve aydınlık olmasını sağlar.

Mimari Cephe Elemanları

- **Cumba:** Cumba odaları farklı isimlerle çeşitli ülkelerde kullanılmıştır. Örneğin, Mısır, Suriye, Filistin, Lübnan ve Sudan'da "Maşrabya", Irak'ta "Şanaşıl", Suudi Arabistan, Körfez Ülkeleri ve Yemen'de "Roşan", Kuzey Afrika ülkelerinde "Barumqli" ve Türkiye'de "Cumba" olarak bilinir.

Cumba Çeşitli Ülkelerde Karşılaştırma Tablosu: Farklı ülkelerdeki cumba formlarının karşılaştırılması.

- **Cephe Malzemesi Çeşitleri:** Ahşaptan metale kadar değişen cephe malzemeleri.

Cumbayı Oluşturan Elemanlar

- **Pencere:** Cumbanın en belirgin ve işlevsel öğesidir. Pencereler, cumbanın dışa açılımını sağlayarak mekana ışık ve hava girişini mümkün kılar.

- **Pencere Kanatları:** Tekli, çift kanatlı veya çok yönlü çalışan kanatlar, cumbanın işlevselliğini artırır.

- **Cumbanın Taşıyıcı Sistemi:** Ahşap taşıyıcı, yığma taşıyıcı (kiriş) ve demir taşıyıcı gibi farklı sistemler kullanılabilir.

- **Cumbanın Kaplama Malzemesi:** Ahşap, demir ve cam gibi çeşitli malzemeler kullanılabilir.

Cumbanın Çıkma Mesafesi

- 1 Metre: Genellikle cumbaların dışa çıkma mesafesi 1 metre olarak belirlenir.
- 1 Metre ve Fazla: Daha geniş cumbalar için 1 metreden fazla çıkıntı yapılabilir.

Cumbanın Görsel Algısı

- Renkler: Cumbalar genellikle kahverengi tonlarında veya çeşitli renklerde boyanabilir.
- Doku: Ahşap veya metal dokular kullanılabilir.

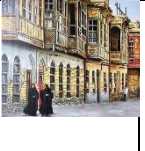
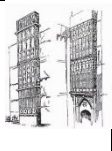
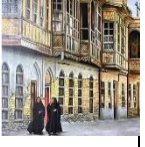
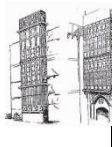
Cumbanın Plan Batında Ferman

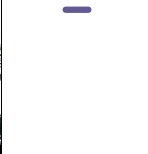
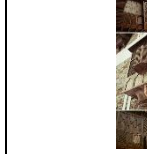
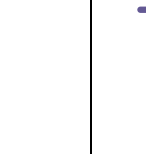
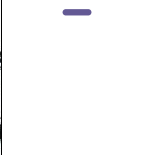
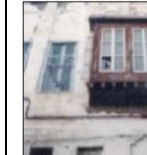
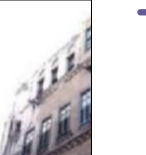
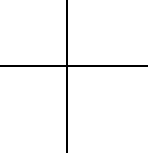
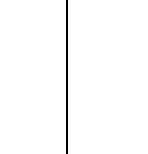
- Rasyonel ve Dörtgen: Dörtgen ve düzenli formlar.
- Irrasyonel ve Dörtgen: Dörtgen ama düzensiz formlar.

Fonksiyonlarına Göre Çeşitler

- Aydınlatma: Cumbalar, mekanların daha fazla doğal ışık almasını sağlar.
- Havalandırma: Cumbalar, hava sirkülasyonunu artırarak iç mekanların daha ferah olmasını sağlar.
- Panel: Cumbalar, dış cephede estetik bir panel görevi görür.

	Suriye Mısır/ Filistin Lübnan/ Sudan	Irak	Suudi Arabistan, Körfez Ülkeleri Yemen	Kuzey Afrika ülkeler	Türkiye	Suriye Mısır/Filistin Lübnan/ Sudan
Cumbayı oluşturan elemanlar Pencere						
Pencere kanatları						
Tekli kanatlı						
Çift kanatlı						

Çok yönlü çalışma kanatları					
Cumbanın Çıkma Mesafesi					
1 metre					
1 Metre ve fazla					
Cumbanın Taşıyıcı sistemi					
Ahşap Taşıyıcı					 Res. 14. Uşak Sanatçısı Evi'nde Demir Taçlı, Camla Çatıdan 13. Katı
Yığma Taşıyıcı (kiriş)					 Res. 6. XIX. Y. Ortadondu Evi'nde Bir Odanın İçerisi, Çatıdan 13. Katı
Demir Taşıyıcı					
Cumbanın Kaplama Malzemesi					

Ahşap							
Demi							
Cam							
Cumbanın Görsel Algısı							
Renk							
Kahve rengi							
Çeşitli Renk							

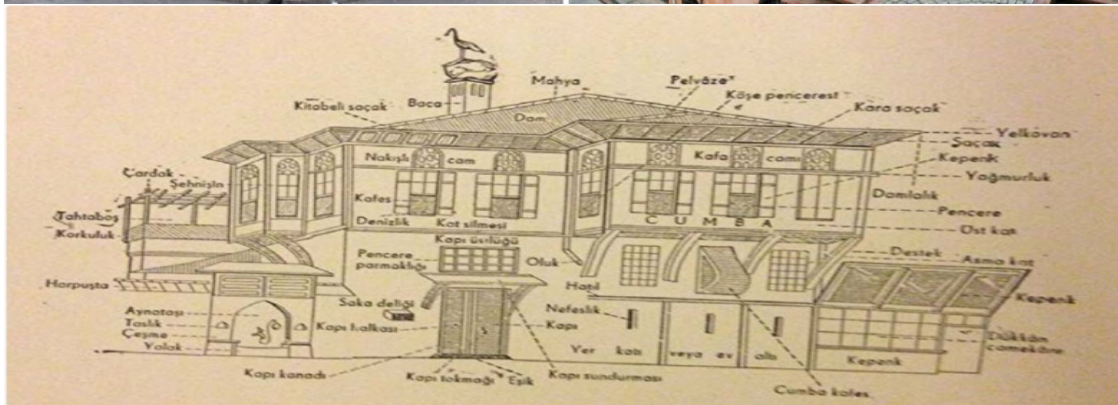
Tablo-1 (Cumba Çeşitli Ülkelerde Karşılaştırma Tablosu göstermektedir.) Araştırmacı tarafından hazırlanan (Hasan, 2024)

"Cumbalar, yaygın bir Doğu mimari tarzına sahiptir ancak isimleri, desenleri, renkleri, yapıldığı malzemeler, iç ve dış yapıları, uygarlıklar ve şehirlerin genel iklimine göre değişmektedir.

Cumbalar, Abbasiler döneminde ortaya çıkmış olup (a) resminde görüldüğü gibi sıcaklık, ışık ve havalandırmayı düzenleme rolünü üstlenmiştir. Ayrıca (b) resminde işlevsel rolünün yanı sıra ev sahibinin zenginliğini yansıtan sosyal bir izlenim vermiştir ve estetik bir hava katmıştır. (c) resmindeki

mabeyin, işlevsel bir rol üstlenirken dış kaplamaların ve düzenli pencere açıklıklarının değiştiği bir yapıya sahiptir. (d) Resminde ise özel bir tarz ve renk alan mabeyin, küçük boyutlu farklı şekillerdeki açıklıklarla şehri ayıran ve ek bir estetik katkı sağlayan farklı bir dağılıma sahiptir."

Cumba Osmanlı sokak dokusunu şekillendiren en önemli unsur olmasının yanı sıra Türk evinin kendine has en karakteristik detaylardan birisidir. Cumbalar cephedeki doluluk-boşluk ilişkisi ve oluşturdukları ışık-gölge oyunları ile sokaklara dinamik bir görüntü kazandırmaktadır.



Arseven'in Sanat Ansiklopedisi'nde cumbanın büyük çıkımlar, şahnişinin ise küçük çıkımlar için kullanılan bir terim olduğunu gösteren bir çizimi de mevcuttur.

El-Suhaimi Evi



Resim.2.

Cumba Kavramının Çağdaş Uygulamaları

ARAP DÜNYASI ENSTİTÜSÜ



AL BAHAR TOWERS



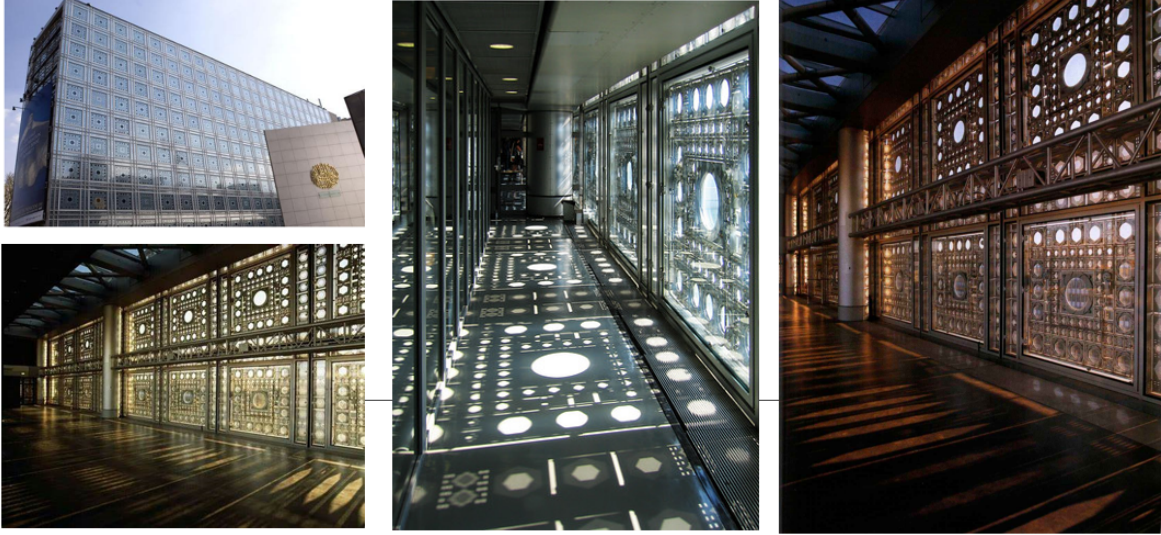
MASDAR



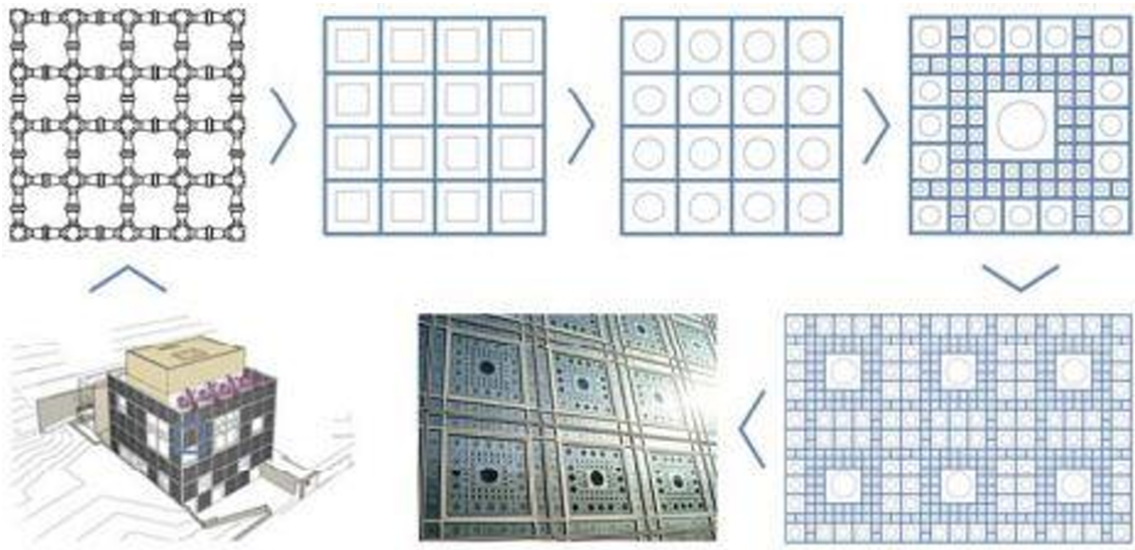
Arap Dünyası Enstitüsü

1987 yıl Dünya üzerinde büyük bir etki yaratan Arap Dünya Mimarlık Enstitüsü'nün (AWI) mimarlarından Jean Nouvel, geleneksel şadırvanları dönüştürerek akıllı şadırvanlarla donatılmış cephe tasarımları geliştirdi. Bu akıllı şadırvanlar, güneş pilleri tarafından kontrol edilen motorlarla hareket eden açıklıklara sahiptir. Bu açıklıklar, günlük hava durumuna bağlı olarak binalara giren ışık miktarını ayarlayan perde gibi çalışır. Bu mühendislik açıklıklarının çalışması, ışığın yoğun olduğunda kapanan ve loş olduğunda açılan otomatik kamera diyaframı gibi tamamen otomatik bir şekilde gerçekleşir.

Böylece bina tasarımı, Arap mimarisinin hava kontrol teknolojilerini geliştirdiği şey olan ışık filtreleri oluşturur.

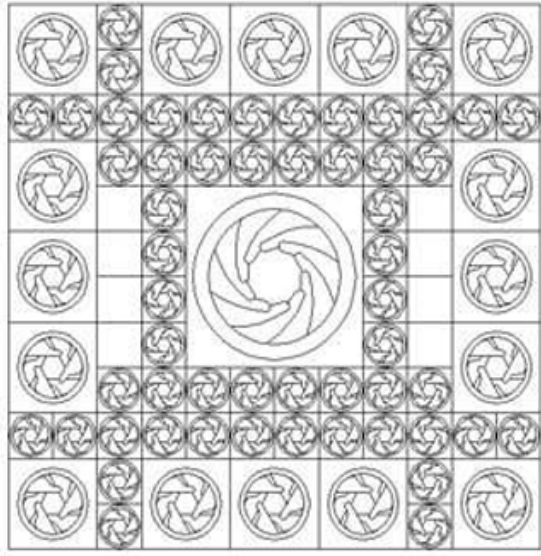


Akıllı ve karmaşık teknolojilerin binalarda kullanılması, mimarların dikkatlice incelemesi gereken konulardan biridir çünkü bu tür sistemler arızalanabilir ve son derece maliyetli periyodik bakım gerektirir . Örneğin, AWT'da, 2013 yılında sadece Güney cephesindeki akıllı şadırvanlarda birçok arıza meydana gelmiş ve sadece bakımı milyonlarca avroya mal olmuştur.



Şekil (5) : Model için geleneksel mimari ve modern mimariyi birleştiren bir tasarım (8)

Aşamalı lens kapanış şekli, tasarımda tek bir birim kullanılarak uygun aydınlatmayı sağlamak için tekrarlanarak tasarlanmıştır.



Boşluklar ve dolu parçalar arasındaki tezatın ışığın içinden sızmasına izin verdiği zaman, renkli boşluklar gibi işlev gördüğü belirtilmiştir (Ataya, 2019). Ancak bu tezat gözleri rahatsız edecek kadar güçlü değildir çünkü ahşap parçaların dönmesiyle mashrabiya ve pencerelerdeki ışığın yayılmasına izin vererek aydınlık boşluklar ile koyu ahşap parçalar arasındaki kontrastı azaltır.

Parametrikizm, tüm mimari ve karmaşık unsurların esnek ve adaptif olduğu bir kavramdır. Geleneksel ve modern yöntemler, doğrusal hatlar, dikdörtgenler, küpler ve silindirler gibi geometrik şekillere dayanırken Parametrikizmde yeni alternatifler, dinamik, etkileşimli ve uyarlanabilir geometrik varlıklardır. NURBS ve eğriler, biçim veren temel unsurlar olarak kabul edilir ve yaşayan sistemlerin temelini oluşturur.

Cumba Kavramının Çağdaş Uygulamaları

Örnekler

- El-Suhaimi Evi: Geleneksel cumbaların modern uygulamalarına bir örnek.
- Arap Dünyası Enstitüsü: Geleneksel mimari unsurların çağdaş bir yapıda nasıl kullanılabileceğine dair bir örnek.
- Abraj Al Bahr: Abu Dabi Yatırım Konseyi Genel Merkezi: Modern mimaride geleneksel cumbaların uygulamaları.
- Masdar: Sürdürülebilir ve yenilikçi bir projede geleneksel mimari öğelerin kullanımı.

Cumbanın özellikleri	Estetik değerler			Fankosiyon değerler				Sosyal değerler (gizlilik)
Çağdaş Cumba	Bijimcilik	Bir binanın bileşenlerinin uyumu	Çevreyle uyumluluğu	Işığın geçini kontrolü	Hava akışı kontrolü	Havadaki nemi ayarlaması	Sıcaklığın azaltması	
CUMBA	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AL BAHAR TOWERS	✓	✓	—	✓	—	—	✓	—
MASDAR	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓
ARAP DÜNYASI ENSTİTÜSÜ	✓	✓	✓	✓	—	—	✓	✓

Öneriler

- Maddi ve ruhsal ihtiyaçları karşılamak için Cumba'dan faydalanılmalıdır.
- Doğal güneş ışığından yararlanılmalı ve yapay aydınlatma azaltılmalıdır.
- Mühendislik ve sanatsal uzmanlıklardan faydalanarak birlikte çalışmak, yenilikçi tasarımların oluşturulmasına yardımcı olabilir.
- Tasarım eğitimi veren kurumlarda müfredatları güncellemek için tasarım yöntemleri ve üretim teknolojileri hakkındaki yeni gelişmeleri takip etme gerekliliği vardır.
- Eğitim kurumları ile modern tasarım yazılımı ve duvar yüzey kaplama ürünleri üreten şirketler arasında işbirliği protokolleri kurulmalıdır. Bu işbirlikleri, tasarım ve üretim olanaklarını tanıtan atölye çalışmaları ve seminerler düzenlemek için kullanılabilir.
- Öğrencilere, küresel eğilimleri taklit etmek yerine kendi kültürel ve sanatsal miraslarımıza uygun bir tasarım metodolojisini takip etmeleri konusunda teşvik edilmelidir.
- Kültürel ve sanatsal mirasımızın sözlüğünü geliştirirken işlevsel kimliğin korunmasına dikkat edilmelidir.
- Yerel çevreye uygun tasarım ve üretim metodları oluşturmak için bilimsel araştırmalara ve modern teknolojik altyapıya yatırım yapılmalı, araştırmaların ciddiyeti büyük önem taşımaktadır.

Sonuç

Cumba felsefesinin çağdaş mimaride teknik bir yaklaşımla uygulanması, geleneksel ve modern tasarım öğelerinin bir araya getirilmesiyle mümkündür. Cumbaların estetik ve işlevsel özellikleri, doğru malzeme seçimi ve enerji verimliliği göz önünde bulundurularak günümüz mimarisine entegre edilebilir. Bu şekilde, tarihi ve kültürel mirasımızı koruyarak, modern yaşam alanlarına özgün ve işlevsel çözümler sunabiliriz. Bu araştırma, mimari miras değerlerini teknoloji ve çağdaş olanaklarla birleştirerek sürdürülebilir mimari kimliğe sahip ürünlerin tasarımına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Kaynakça

(Amany Mashhour Hendy, Aya Faisal Abo Elfetouh,) Golden Ratio in The Subdivisions of Islamic Wood Lathe of Architecture Facades.

(ÇETİN, 2006) GELENEKSEL TÜRK EVİNDE CUMBA

(Mohamed, N. A., & Ali, W. H. ,2014). Traditional Residential Architecture in Cairo from a Green Architecture Perspective. Arts and Design Studies, 16, 6

(Mahmuod. S, Osman Zahni. H, Hamdi alhindi. A, 2018) A Criteria for using Parametric Design for Two Dimensional Wall Surfaces published 1st of January 2018

(Abas Syed Jan, Amer Shaker Salman, 1995) : "Symmetries of Islamic geometrical patterns" Vol. 3, publisher World Scientific. 1995

El Sayed Muhammad Ramadan, Maha: El Kayem El Wazefya we El Gamalya llfatahat El Maamarya We Dwrha fe Ethraa El Faragh El Dakhly . Magalet El Amara We El Fnon, El Adad El Asher, El Goze' El Thane.

(Farghali Bayoumi, 2016) Nevin: el tatbekat el moasra llmashrabya kamoroth thakafe, magalet el amara we el fnon, el adad el awel, 2016.

(Mahdi Salameh,2019) Hiam: el mashrabya fe el amara el aslamia, magalet el amara we el fnon, el adad el thalath ashr, 2019

(ŞENYURT, 2016) İnşa Kuralları, Mimari Algı ve Mekân Kullanımı Bağlamında Osmanlı Toplumunda “Cumba”

Advance Machine Learning Techniques For Asthma Disease Prediction

Abdul Samad¹, Muhammed Kürşad Uçar²

Asthma, a widespread chronic respiratory disease, impacts millions globally. Accurate and timely diagnosis is crucial for effective management and better patient outcomes. This research proposes an advanced machine learning framework to improve asthma detection using sophisticated data processing and predictive modeling techniques. By utilizing a comprehensive dataset that includes various clinical features relevant to asthma diagnosis, the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) was implemented to address class imbalance, thereby enhancing the model's ability to generalize across diverse patient groups. Feature selection was performed using the Spearman correlation algorithm to reduce computational costs and improve prediction efficiency by identifying the most significant features. Several machine learning algorithms were tested, including k-Nearest Neighbors (k-NN), Decision Tree, and Naive Bayes. The Naive Bayes algorithm outperformed the others, achieving an accuracy rate of 96.91%, with specificity and sensitivity rates of 0.93 and 1, respectively, using only 18 features. The results demonstrate the potential of this machine learning approach as a reliable and efficient diagnostic tool for healthcare providers. This study highlights the transformative role of machine learning in medical diagnostics, offering a promising avenue for enhancing clinical decision-making and patient care in asthma management.

Keywords: Asthma Disease, Feature selection, Machine learning, diagnostic tool

Introduction

Asthma is a prevalent chronic respiratory disorder characterized by reversible airway obstruction, inflammation, and hyperresponsiveness, affecting over 300 million individuals globally [1]. Despite its prevalence, asthma diagnosis remains challenging due to the variability in symptoms and the lack of a definitive diagnostic test. Traditional diagnostic methods, such as spirometry and clinical evaluation, often suffer from limitations, including variability in test results and reliance on patient self-reporting, which can lead to underdiagnosis or misdiagnosis [2].

Machine learning (ML) for asthma prediction has gained traction due to its potential to enhance diagnosis and management. Recent studies have demonstrated the effectiveness of machine learning models for predicting asthma exacerbations. A systematic review conducted by BMC Pulmonary Medicine [3] by BMC Pulmonary Medicine analyzed 23 models, primarily using logistic regression, random forest, and XGBoost, achieving predictive accuracies ranging from 75% to 92%, depending on the dataset and algorithm used. The study found that the most influential predictors were systemic steroid use, short-acting beta2-agonists, and emergency department visits.

A separate study [4] used machine learning to increase the accuracy of asthma diagnosis, with models such as XGBoost (87.1% accuracy) and LGBM (85.9% accuracy), highlighting significant predictors like inhaler usage and LAMA. In a study [5], 13 ML models, including Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest, and Gradient Boosting, were employed to predict asthma risk from self-reported symptoms and demographic data. A hybrid model combining Logistic Regression and

¹ Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sakarya University

² MKU Technology, Sakarya University Technopolis

LightGBM achieved the highest Area Under the Curve (AUC) of 0.9062 and 79.85% sensitivity, proving effective in low-resource settings.

A subsequent study [6] reviewed machine learning in mobile health (mHealth) for asthma, focusing on technology development, attack prediction, and patient clustering. The potential of supervised models like decision trees and logistic regression for predicting asthma attacks based on real-time device data was noted, though most studies used small datasets with limited generalizability. A novel approach proposed in research [7] involved an ML-based risk prediction tool integrated with IoT devices and smartphones. This tool used a convolutional neural network (CNN) model to predict asthma risk by analyzing Peak Expiratory Flow Rates (PEFR) and particulate matter levels, providing real-time alerts with high accuracy suitable for personalized health management.

A further review [8] on machine learning techniques for predicting asthma exacerbations identified various data sources such as clinical records and environmental factors. Supervised models, particularly logistic regression, were found to be most effective, with a focus on integrating prediction windows and external validation for better clinical relevance. This approach achieved an average accuracy of 78% (AUROC), which was higher compared to traditional methods. Additional research [9] highlighted the importance of patient-specific factors, such as medical history and comorbidities, in predicting asthma exacerbations. Despite accurate predictions, challenges such as data heterogeneity and integration into standard care remain.

Another investigation [10] developed a computer-aided diagnostic system using machine learning to detect respiratory sounds in asthma patients. This model achieved 89.3% sensitivity and 86.0% specificity, demonstrating potential for diagnosing asthma, especially in pediatric populations.

In another study [11], an explainable ResNet18-based model for asthma detection using lung sounds was introduced, achieving 99.73% accuracy with support vector machine (SVM) classifiers.

This study leverages machine learning models to predict asthma risk and accurately detect the disease, using an open-source Kaggle dataset and machine learning algorithms to enhance clinical decision-making.

Material and Method

This study aims to predict asthma using machine learning algorithms, structured according to the flow diagram in Figure 1 Flow Diagram. Initially, advanced data processing was conducted, including standardization to ensure consistency and uniform scaling of the dataset. To address class imbalance, the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) was applied, enhancing the representation of minority classes. Feature selection was performed using the Spearman correlation method, which assesses the relationship between features and asthma risk labels, optimizing the dataset by retaining the most relevant features. Subsequently, classification models were developed using various machine learning algorithms applied to these selected features.

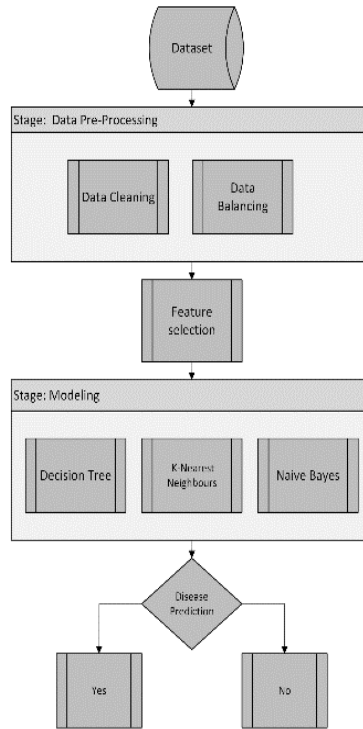


Figure 1 Flow Diagram

Dataset

An open-source dataset was utilized in this research, obtained from the Kaggle [12]. This dataset includes health information from 2,392 asthma patients and features 28 attributes that offer various insights into asthma. Table 1 Features Description, provides a detailed overview of these attributes. During preprocessing, features such as "PatientID" and "DoctorInCharge" were excluded because they do not contribute to the prediction of asthma disease using machine learning algorithms.

Table 1 Features Description

Feature	Description
PatientID	Unique identifier for each patient.
Age	Age of the patient.
Gender	Gender of the patient.
Ethnicity	Ethnic background of the patient.
EducationLevel	Level of education completed by the patient.
BMI	Body Mass Index, a measure of body fat based on height and weight.
Smoking	Smoking status of the patient.
PhysicalActivity	Level of physical activity or exercise.
DietQuality	Quality of the patient's diet.
SleepQuality	Quality of the patient's sleep.
PollutionExposure	Level of exposure to environmental pollution.
PollenExposure	Level of exposure to pollen.
DustExposure	Level of exposure to dust.
PetAllergy	Presence of allergies to pets.
FamilyHistoryAsthma	Family history of asthma.
HistoryOfAllergies	History of allergies in the patient.

Eczema	History of eczema, a skin condition.
HayFever	History of hay fever, an allergic condition.
GastroesophagealReflux	Presence of gastroesophageal reflux disease (GERD).
LungFunctionFEV1	Forced Expiratory Volume in 1 second, a measure of lung function.
LungFunctionFVC	Forced Vital Capacity, another measure of lung function.
Wheezing	Occurrence of wheezing.
ShortnessOfBreath	Experience of shortness of breath.
ChestTightness	Experience of chest tightness.
Coughing	Frequency or presence of coughing.
NighttimeSymptoms	Presence of symptoms that occur at night.
ExerciseInduced	Symptoms induced by exercise.
Diagnosis	Medical diagnosis given to the patient.
DoctorInCharge	The doctor is responsible for the patient's care.

Smote Algorithm

The Synthetic Minority Over-Sampling Technique (SMOTE) is a widely recognized method for addressing class imbalance in datasets by generating synthetic samples of the minority class. Unlike traditional oversampling, which involves replicating existing minority instances, SMOTE creates new samples by interpolating between existing samples and their nearest neighbors. This is achieved by selecting a sample, identifying its k-nearest neighbors based on Euclidean distance, and generating synthetic points along the lines connecting the sample to its neighbors. This approach helps balance the class distribution, enhances the representation of the minority class, and improves the model's predictive performance by creating smoother decision boundaries [13]. SMOTE has been successfully applied across various domains, including medical diagnosis, fraud detection, and text classification, proving its effectiveness in enhancing the robustness of machine learning models on imbalanced data [14], [15]. Its ability to mitigate overfitting and improve generalization makes SMOTE an essential tool in modern data preprocessing workflows.

Feature Selection

To enhance model performance, we applied a feature selection technique using the Spearman correlation coefficient to evaluate the relationships between features and class labels. This approach enabled us to calculate and rank the correlation values of the features, as presented in Table 2 Spearman's Correlation.

Table 2 Spearman's Correlation

FN	Score	FN	Score
26	0.111	15	0.042
23	0.107	13	0.023
19	0.087	24	0.023
3	0.079	4	0.020
25	0.077	1	0.017
20	0.065	11	0.015
12	0.065	2	0.013
18	0.064	10	0.009
21	0.056	7	0.009
5	0.048	16	0.008
6	0.048	22	0.007

17	0.046	8	0.003
9	0.043	14	0.001
FN: Feature Number			

Classification

Classification is a fundamental task in machine learning that involves predicting categorical labels for given input data based on learned patterns [16]. It is widely used in various domains such as healthcare, finance, and marketing, where accurate predictions can drive critical decision-making processes. Classification models are trained on labeled data, allowing them to learn the underlying relationships between features and their respective classes. In this study, we employed three classification models to enhance predictive accuracy: k-Nearest Neighbors (k-NN), Decision Tree, and Naive Bayes.

k-Nearest Neighbors (k-NN)

k-Nearest Neighbors (k-NN) is a non-parametric algorithm used for classification and regression. It classifies a data point based on the majority label of its k-nearest neighbors or predicts a value by averaging the values of these neighbors [17]. The choice of k and the distance metric (e.g., Euclidean, Manhattan) are crucial, affecting model accuracy [18]. Although simple to implement, k-NN can be computationally expensive for large datasets, necessitating optimization techniques [19]. It assumes uniform feature distribution, often requiring data normalization.

Decision Tree

Decision Trees are hierarchical models used for classification and regression. They split data based on feature values, creating a tree structure where each node represents a decision based on a feature, and each leaf node represents an outcome [20]. Decision Trees are easy to interpret but can overfit, particularly with deep trees. Pruning and setting maximum depth are common techniques to mitigate overfitting [21]. They are also sensitive to data variations, potentially leading to different trees from the same dataset.

Naive Bayes

Naive Bayes is a probabilistic classifier based on Bayes' Theorem, assuming feature independence given the class label [22]. Despite this unrealistic assumption, it performs well in many tasks, especially text classification. It calculates the posterior probability of each class and assigns the class with the highest probability [23]. Naive Bayes is computationally efficient and effective with high-dimensional data, though it can struggle with highly correlated features.

Performance Evaluation Criteria

The models' performance was thoroughly evaluated using several key metrics that measure their classification ability. These metrics included Accuracy Rate (AR), Sensitivity (Se), Specificity (Sp), F1 Score, Kappa, and Area Under the ROC Curve (AUC). Accuracy Rate shows how often the model makes correct predictions, Sensitivity measures its ability to identify true positives, and Specificity assesses how well it identifies true negatives. The F1 Score balances precision and recall, Kappa measures the agreement between predictions and actual results, and AUC indicates the model's effectiveness in distinguishing between classes. Together, these metrics provide a clear and detailed evaluation of the models' accuracy, consistency, and overall performance.

Table 3 Performance Evaluation Criteria

F	Mod el	Performance evaluation criteria						F	Mod el	Performance evaluation results					
		Acc	Se n	Sp e	F1	Kap pa	AU C			Acc	Se n	Sp e	F1	Kap pa	AU C
1	DT	62.40	0.39	0.86	0.54	0.25	0.63	14	DT	91.95	0.92	0.92	0.92	0.84	0.92
	kNN	60.36	1.00	0.21	0.34	0.21	0.60		kNN	90.26	0.81	0.99	0.89	0.81	0.90
	NB	62.40	0.39	0.86	0.54	0.25	0.63		NB	93.50	0.99	0.88	0.93	0.87	0.93
2	DT	72.22	1.00	0.44	0.61	0.44	0.72	15	DT	91.84	0.92	0.92	0.92	0.84	0.92
	kNN	70.81	1.00	0.42	0.59	0.42	0.71		kNN	90.12	0.81	1.00	0.89	0.80	0.90
	NB	72.22	1.00	0.44	0.61	0.44	0.72		NB	92.94	0.99	0.87	0.93	0.86	0.93
3	DT	72.22	0.71	0.73	0.72	0.44	0.72	16	DT	90.85	0.91	0.91	0.91	0.82	0.91
	kNN	67.77	0.70	0.66	0.68	0.36	0.68		kNN	90.39	0.81	1.00	0.89	0.81	0.90
	NB	73.32	0.81	0.65	0.72	0.47	0.73		NB	94.38	0.99	0.90	0.94	0.89	0.94
4	DT	80.37	0.83	0.78	0.80	0.61	0.80	17	DT	93.16	0.93	0.93	0.93	0.86	0.93
	kNN	77.38	0.81	0.74	0.77	0.55	0.77		kNN	89.64	0.79	1.00	0.89	0.79	0.90
	NB	81.15	0.91	0.71	0.80	0.62	0.81		NB	96.47	1.00	0.93	0.96	0.93	0.96
5	DT	85.12	0.87	0.84	0.85	0.70	0.85	18	DT	93.50	0.94	0.93	0.93	0.87	0.93
	kNN	80.51	0.84	0.77	0.80	0.61	0.81		kNN	88.67	0.77	1.00	0.87	0.77	0.89
	NB	86.00	0.97	0.75	0.84	0.72	0.86		NB	96.91	1.00	0.94	0.97	0.94	0.97
6	DT	85.45	0.84	0.87	0.85	0.71	0.85	19	DT	92.72	0.92	0.94	0.93	0.85	0.93
	kNN	87.79	0.86	0.89	0.88	0.76	0.88		kNN	88.36	0.77	1.00	0.87	0.77	0.88
	NB	85.67	0.94	0.77	0.85	0.71	0.86		NB	96.91	1.00	0.94	0.97	0.94	0.97

7	DT	85.0 1	0.8 3	0.8 7	0.8 5	0.70	0.8 5	2 0	DT	93.3 8	0.9 3	0.9 4	0.9 3	0.87	0.9 3
	kNN	88.7 6	0.8 4	0.9 3	0.8 9	0.78	0.8 9		kNN	87.0 8	0.7 4	1.0 0	0.8 5	0.74	0.8 7
	NB	85.3 4	0.9 4	0.7 7	0.8 4	0.71	0.8 5		NB	96.8 0	1.0 0	0.9 4	0.9 7	0.94	0.9 7
8	DT	87.2 1	0.8 5	0.8 9	0.8 7	0.74	0.8 7	2 1	DT	93.0 5	0.9 2	0.9 4	0.9 3	0.86	0.9 3
	kNN	90.1 2	0.8 6	0.9 4	0.9 0	0.80	0.9 0		kNN	86.7 3	0.7 4	1.0 0	0.8 5	0.73	0.8 7
	NB	86.1 1	0.9 4	0.7 8	0.8 5	0.72	0.8 6		NB	96.6 9	1.0 0	0.9 3	0.9 7	0.93	0.9 7
9	DT	88.2 0	0.8 8	0.8 9	0.8 8	0.76	0.8 8	2 2	DT	93.0 5	0.9 1	0.9 5	0.9 3	0.86	0.9 3
	kNN	91.0 5	0.8 7	0.9 5	0.9 1	0.82	0.9 1		kNN	85.8 5	0.7 2	1.0 0	0.8 4	0.72	0.8 6
	NB	89.4 2	0.9 8	0.8 1	0.8 9	0.79	0.8 9		NB	96.5 8	1.0 0	0.9 3	0.9 6	0.93	0.9 7
1 0	DT	88.5 3	0.8 8	0.9 0	0.8 9	0.77	0.8 9	2 3	DT	91.2 9	0.9 0	0.9 3	0.9 1	0.83	0.9 1
	kNN	90.7 0	0.8 5	0.9 7	0.9 0	0.81	0.9 1		kNN	85.6 3	0.7 1	1.0 0	0.8 3	0.71	0.8 6
	NB	90.7 4	0.9 7	0.8 4	0.9 0	0.81	0.9 1		NB	96.8 0	1.0 0	0.9 4	0.9 7	0.94	0.9 7
1 1	DT	87.7 6	0.8 6	0.9 0	0.8 8	0.76	0.8 8	2 4	DT	93.5 0	0.9 1	0.9 6	0.9 3	0.87	0.9 4
	kNN	91.1 4	0.8 5	0.9 8	0.9 1	0.82	0.9 1		kNN	84.8 8	0.7 0	1.0 0	0.8 2	0.70	0.8 5
	NB	90.0 8	0.9 8	0.8 2	0.8 9	0.80	0.9 0		NB	96.5 8	1.0 0	0.9 3	0.9 6	0.93	0.9 7
1 2	DT	92.0 6	0.9 1	0.9 3	0.9 2	0.84	0.9 2	2 5	DT	92.6 1	0.9 1	0.9 4	0.9 3	0.85	0.9 3
	kNN	91.0 5	0.8 4	0.9 8	0.9 1	0.82	0.9 1		kNN	83.8 2	0.6 8	1.0 0	0.8 1	0.68	0.8 4
	NB	92.5 0	0.9 8	0.8 7	0.9 2	0.85	0.9 2		NB	96.8 0	1.0 0	0.9 4	0.9 7	0.94	0.9 7
1 3	DT	90.7 4	0.9 1	0.9 1	0.9 1	0.81	0.9 1	2 6	DT	92.5 0	0.9 1	0.9 4	0.9 2	0.85	0.9 3
	kNN	90.6 1	0.8 2	0.9 9	0.9 0	0.81	0.9 1		kNN	83.8 6	0.6 8	1.0 0	0.8 1	0.68	0.8 4
	NB	92.2 8	0.9 7	0.8 8	0.9 2	0.85	0.9 2		NB	96.5 8	1.0 0	0.9 3	0.9 6	0.93	0.9 7

F: Feature, DT: Decision Tree, kNN: k-Nearest Neighbors, NB: Naive Bayes, Acc: Accuracy, Sen: Sensitivity, Spe: Specificity, F1: F1Score, Kap: Kappa, AUC: Area Under the Curve

Result

This study proposed a machine learning framework to enhance asthma diagnosis using advanced preprocessing, feature selection, and predictive modeling techniques. Initially, data standardization ensured consistency in feature scaling, and class imbalance was addressed using the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE). Feature selection through Spearman correlation identified the most relevant features, optimizing model efficiency. Three classification algorithms—Naive Bayes (NB), Decision Tree (DT), and k-Nearest Neighbors (k-NN)—were evaluated for their predictive performance on the optimized dataset. Among the models, the Naive Bayes algorithm demonstrated the highest performance, achieving an accuracy of 96.91%, sensitivity of 1.00, and specificity of 0.94, making it the most reliable for asthma prediction. The Decision Tree model also performed well, with an accuracy of 93.50%, sensitivity of 0.94, and specificity of 0.93, but it was slightly less consistent in balancing sensitivity and specificity. The k-Nearest Neighbors model achieved an accuracy of 90.26%, sensitivity of 0.81, and specificity of 0.99, performing well in specificity but showing limitations in identifying all positive cases. The Naive Bayes model's success can be attributed to its probabilistic structure and the effective integration of SMOTE and Spearman correlation, which enhanced its capability to manage imbalanced data and pinpoint key features. These findings highlight the significant potential of advanced machine learning techniques to improve asthma diagnosis, underscoring their role as valuable tools in clinical decision-making.

Discussion

The Naive Bayes algorithm outperformed other models, achieving the highest accuracy of 96.91% using 18 features, with sensitivity of 1.00 and specificity of 0.94. This performance underscores the value of combining SMOTE for class imbalance and Spearman correlation for feature selection, which significantly optimized the model. Compared to prior studies [3], [4] with accuracies around 0.84, our framework showed substantial improvement. Feature selection reduced computational costs and improved model interpretability, which is crucial in clinical settings. While Decision Tree and k-NN models also showed promising results, they were slightly inferior. Decision Tree achieved 93.50% accuracy but struggled with balancing sensitivity and specificity, while k-NN had high specificity (0.99) but lacked sensitivity. Naive Bayes excelled due to its simplicity and effective handling of categorical data, enhanced by SMOTE to improve generalization across diverse patient groups. This aligns with similar studies demonstrating SMOTE's effectiveness in healthcare applications [4]. The study's limitations include the use of a single dataset, which may affect generalizability. Further validation across multiple datasets is needed. This careful optimization allowed our model to more accurately identify relevant patterns in the data, enhancing its predictive power beyond what was reported in prior research. The result is a more reliable and robust diagnostic tool for asthma, offering improvements over the methods traditionally highlighted in literature.

Conclusion

This research demonstrates the effectiveness of advanced machine learning, particularly the Naive Bayes algorithm, in improving asthma diagnosis. By addressing class imbalances with SMOTE and selecting features using Spearman correlation, the study achieved a diagnostic accuracy of 96.91% and a sensitivity of 1.00. These results surpass traditional methods, emphasizing the importance of precise data processing in developing reliable predictive models. The study highlights the potential of machine

learning to significantly enhance clinical decision-making and patient outcomes in asthma management, suggesting further exploration of these techniques for broader medical applications.

Acknowledgment

This study did not require ethical approval, as it relied solely on data from publicly available open-source datasets.

References

- [1] B. Mali, S. Dhal, and A. K. Das, “Diagnosis of Asthma in Children Based on Symptoms: A Machine Learning Approach,” *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, vol. 2021-December, pp. 782–787, 2021, doi: 10.1109/TENCON54134.2021.9707283.
- [2] H. Backman, L. Hedman, S. A. Jansson, A. Lindberg, B. Lundbäck, and E. Rönmark, “Prevalence trends in respiratory symptoms and asthma in relation to smoking - two cross-sectional studies ten years apart among adults in northern Sweden,” *World Allergy Organ J*, vol. 7, no. 1, Jan. 2014, doi: 10.1186/1939-4551-7-1.
- [3] S. Xiong, W. Chen, X. Jia, Y. Jia, and C. Liu, “Machine learning for prediction of asthma exacerbations among asthmatic patients: a systematic review and meta-analysis,” *BMC Pulm Med*, vol. 23, no. 1, pp. 1–15, Dec. 2023, doi: 10.1186/S12890-023-02570-W/FIGURES/9.
- [4] H. Joo, D. Lee, S. H. Lee, Y. K. Kim, and C. K. Rhee, “Increasing the accuracy of the asthma diagnosis using an operational definition for asthma and a machine learning method,” *BMC Pulm Med*, vol. 23, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2023, doi: 10.1186/S12890-023-02479-4/TABLES/6.
- [5] J. Gunawardana, S. Viswakula, R. P. Rannan-Eliya, and N. Wijemunige, “Machine learning approaches for asthma disease prediction among adults in Sri Lanka,” *Health Informatics J*, vol. 30, no. 3, Jul. 2024, doi: 10.1177/14604582241283968.
- [6] K. C. H. Tsang, H. Pinnock, A. M. Wilson, and S. A. Shah, “Application of Machine Learning Algorithms for Asthma Management with mHealth: A Clinical Review,” 2022, *Dove Medical Press Ltd*. doi: 10.2147/JAA.S285742.
- [7] G. S. Bhat *et al.*, “Machine learning-based asthma risk prediction using IoT and smartphone applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 118708–118715, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3103897.
- [8] W. K. Darsha Jayamini, F. Mirza, M. Asif Naeem, and A. H. Y. Chan, “Investigating Machine Learning Techniques for Predicting Risk of Asthma Exacerbations: A Systematic Review,” *J Med Syst*, vol. 48, no. 1, pp. 1–20, Dec. 2024, doi: 10.1007/S10916-024-02061-3/TABLES/7.
- [9] N. A. Molino, G. Turcatel, and D. Riskin, “Machine Learning Approaches to Predict Asthma Exacerbations: A Narrative Review,” Feb. 01, 2024, *Adis*. doi: 10.1007/s12325-023-02743-3.
- [10] A. Gelman *et al.*, “Computer-Aided Detection of Respiratory Sounds in Bronchial

Asthma Patients Based on Machine Learning Method,” *Sovremennye Tehnologii v Medicine*, vol. 14, no. 5, pp. 45–52, 2022, doi: 10.17691/stm2022.14.5.05.

[11] I. Topaloglu *et al.*, “Explainable attention ResNet18-based model for asthma detection using stethoscope lung sounds,” *Eng Appl Artif Intell*, vol. 126, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.engappai.2023.106887.

[12] “Asthma Disease Dataset.” Accessed: Aug. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/rabieelkharoua/asthma-disease-dataset>

[13] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, “SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique,” *Journal Of Artificial Intelligence Research*, vol. 16, pp. 321–357, Jun. 2011, doi: 10.1613/jair.953.

[14] G. Douzas and F. Bacao, “Geometric SMOTE a geometrically enhanced drop-in replacement for SMOTE,” *Inf Sci (N Y)*, vol. 501, pp. 118–135, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.INS.2019.06.007.

[15] H. He and E. A. Garcia, “Learning from imbalanced data,” *IEEE Trans Knowl Data Eng*, vol. 21, no. 9, pp. 1263–1284, Sep. 2009, doi: 10.1109/TKDE.2008.239.

[16] S. Chowdhury and M. P. Schoen, “Research Paper Classification using Supervised Machine Learning Techniques,” *2020 Intermountain Engineering, Technology and Computing, IETC 2020*, Oct. 2020, doi: 10.1109/IETC47856.2020.9249211.

[17] M. Bansal, A. Goyal, and A. Choudhary, “A comparative analysis of K-Nearest Neighbor, Genetic, Support Vector Machine, Decision Tree, and Long Short Term Memory algorithms in machine learning,” *Decision Analytics Journal*, vol. 3, p. 100071, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.DAJOUR.2022.100071.

[18] Y. Cai, D. Ji, and D. Cai, “A KNN Research Paper Classification Method Based on Shared Nearest Neighbor,” *NTCIR Conference on Evaluation of Information Access Technologies*, 2010.

[19] J. Sun, W. Du, and N. Shi, “A Survey of kNN Algorithm,” *Information Engineering and Applied Computing*, vol. 1, no. 1, May 2018, doi: 10.18063/IEAC.V1I1.770.

[20] Y. Lu, T. Ye, and J. Zheng, “Decision Tree Algorithm in Machine Learning,” *2022 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications, AEECA 2022*, pp. 1014–1017, 2022, doi: 10.1109/AEECA55500.2022.9918857.

[21] H. Blockeel, L. Devos, B. Frénay, G. Nanfack, and S. Nijssen, “Decision trees: from efficient prediction to responsible AI,” *Front Artif Intell*, vol. 6, p. 1124553, 2023, doi: 10.3389/FRAI.2023.1124553.

[22] H. Chen, S. Hu, R. Hua, and X. Zhao, “Improved naive Bayes classification algorithm for traffic risk management,” *EURASIP J Adv Signal Process*, vol. 2021, no. 1, pp. 1–12, Dec. 2021, doi: 10.1186/S13634-021-00742-6/TABLES/5.

[23] F. J. Yang, “An implementation of naive bayes classifier,” *Proceedings - 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2018*, pp. 301–306, Dec. 2018, doi: 10.1109/CSCI46756.2018.00065.

Yemen Kahvesinin Kalitesi Üzerindeki Değer Zincirinin Etkisi: "Tarımdan Hasada Kadar"

Assma'a Abdullah Alqudaimi¹

Özet

On beşinci yüzyıla kadar dünya, kahve adı verilen bir içeceği tanımıyordu. On altıncı yüzyıla gelindiğinde, bu içecek Orta Doğu, Türkiye ve Güney Hindistan'a kadar yayıldı ve daha sonra diğer ülkelere, hatta Amerika Birleşik Devletleri'ne kadar ulaştı. Yemen, bu dönemde kahve ticaretini tekelleştiren tek ülkeydi ve siyasi istikrar sayesinde modern döneminin en parlak günlerini yaşadı, bu da ekonomik, entelektüel ve bilimsel alanda gelişmeyi beraberinde getirdi (A. K. H. Muksher, 2016).

Mocha Limanı, kahvenin dünyaya tanıtılmasında önemli bir rol oynamış ve kahveye bu limanın ismi verilmiş "Moka" olarak anılmaya başlanmıştır. O zamandan bu yana, Yemen kahvesi (Albun Alyemeni), yüksek kalitesi ve eşsiz özellikleriyle tanınmış ve dünya pazarlarında özel bir yer edinmiştir. Yemen kahvesi, zengin ve karmaşık tadıyla öne çıkar ve nadir bulunan, lüks bir kahve türü olarak kabul edilmektedir. Müzayedelerde diğer kahve türlerine kıyasla daha yüksek fiyatlarla satılır ve kahve uzmanları ve meraklıları tarafından büyük ilgi görür.

Bu yüksek kalite, Yemen'in dağlık bölgelerinde uygulanan geleneksel tarım yöntemlerine ve bu bölgelerin kendine özgü iklim koşullarına dayanmaktadır. Ayrıca Yemen kahvesinin geçtiği değer zinciri, tarımdan hasada, işlenmeye ve dağıtımına kadar olan süreçler, kalitesinin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu zincirin her aşaması, kahvenin tadını ve özelliklerini koruyarak küresel ölçekte değerli kalmasını sağlamaktadır. Bu makalede, Yemen kahvesinin kalitesine etki eden değer zincirindeki bu süreçlerin etkileri ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kahve, Moka, Geleneksel Tarım, Değer Zinciri, Kahve Kalitesi, Mocha

Disiplin: Ziraat Bölümü

Giriş

Yemen, kahve yetiştiriciliği ve ihracatı konusunda önde gelen ülkelerden biridir ve Yemen kahvesi, köklü tarihi ve benzersiz özellikleri sayesinde dünya çapında büyük bir üne sahiptir. 16. yüzyıldan bu yana bu tarımsal ürün, Yemen ekonomisinin temel taşlarından biri hâline gelmiş ve özellikle ünlü Al-Mukha Limanı aracılığıyla ülkenin uluslararası ticaretine önemli katkılar sağlamıştır. Yemen kahvesi, yüksek kalitesi ve dağlık bölgelerdeki özel yetiştirme koşullarını yansıtan eşsiz tadıyla tanınmaktadır. Kahve üretim sürecinde yer alan değer zinciri, bu kalitenin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır; zira üretimin her aşaması—tarımdan hasada, işleme ve dağıtımına kadar—kahvenin nihai özelliklerini olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kahve kalitesinin sürdürülebilirliği, üretim sürecinin her aşamasında titiz bir bakım gerektirmektedir. Yüksek dağlardaki teraslarda gerçekleştirilen geleneksel el ile tarım, özenle uygulanan hasat yöntemleri ve doğal işleme teknikleri, kahvenin karmaşık ve belirgin aromasının oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Harez ve Rima gibi kahve yetiştirme bölgelerinin benzersiz iklimi de kahvenin karakteristik özellikleri üzerinde belirleyici bir faktördür.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi Ege Üniversitesi

Ayrıca, hasat sonrası dikkatli işleme, kurutma ve depolama süreçleri, kahvenin aromasını ve niteliklerini koruyarak küresel piyasalardaki konumunu güçlendirmektedir. Çeşitli araştırmalar, Yemen kahvesinin bu entegre değer zinciri sayesinde yüksek rekabet gücüne sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çiftçilerden ihracatçılara kadar uzanan değer zinciri süreçlerinin iyileştirilmesi, kahve kalitesini artırmanın yanı sıra ekonomik getirileri de yükseltebilmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma, Yemen kahvesinin kalitesi üzerindeki değer zincirinin etkisini analiz etmeyi ve bu eşsiz ürünün kalitesini artıran üretim aşamalarına odaklanmayı amaçlamaktadır.

Yemen Kahvesi

Yemen Kahvesinin Tanımı

Yemen, kahvenin keşfi ve kahve tarımı gibi birçok değerli nimete ev sahipliği yapmıştır. Bu durum, Arap ve İslam dünyasının Portekizli Haçlıların bölgeye saldırıları ve limanları abluka altına alması sonucu ekonomik çöküş ve hayatın her alanında büyük zorlukların yaşandığı bir dönemde gerçekleşmiştir (A. K. H. Muksher, 2016). Yemen kahvesi, aynı zamanda "Albun Alyemeni" veya "Moka kahvesi" olarak da bilinir; ilk kez dünyaya ihraç edildiği Mocha Limanı'ndan adını almıştır. Yemen kahvesi, Arap Yarımadası'nın güney ucunda bulunan Yemen'in zorlu ve dağlık bölgelerinde yetişen birden fazla kahve türünü kapsar; bu çeşitler arasında en bilinen tür Arabica kahvesidir. Yemen kahvesi, zengin kültürel mirası, özel yetiştirme alanları ve yüksek rakımlı teraslarla öne çıkar ve kahve severler dünyasında özel bir yere sahiptir (İ. Muhammed, 2024).

Kahve sektörü, Yemen ekonomisinde önemli bir alt sektör olarak kabul edilir. Günümüzde ihracat sınırlı olmasına rağmen, Yemen kahvesi hala kendine has gelenekleri, tarihi ve eşsiz lezzeti sayesinde rekabet avantajını korumaktadır. Yüksek kaliteli Yemen kahvesi, dünyadaki en yüksek ihracat fiyatlarına sahip olup, profesyonel tadımcılar arasında dünya çapında en iyi kahvelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Kahvenin kökenine dair görüşler farklılık gösterse de, kahve üretimi ve tüketimi ilk olarak Yemen'de yaklaşık 1450 yılında başlamıştır. Sonraki 250 yıl boyunca Yemen, kahve üretiminde dünya genelinde tekel konumundaydı ve bu içeceğe olan uluslararası talebin artmasıyla Yemen'in bu tekeli devam etti. Ancak, 18. yüzyılın ilk yarısında diğer ülkelerin kahve yetiştirmeye başlamasıyla Yemen'in bu tekeli sona ermiştir (A. Al-Najjar, Y. Dijkshoorn, R. Zubiry, R. Ruben, 2023).

Yemen kahve çekirdekleri, dünya genelinde kahve severleri büyüleyen özel bir cazibeye sahiptir. Yemen kahvesi, bölgeden bölgeye değişen karmaşık ve benzersiz bir tada sahiptir. Bazı bölgelerde meyvemsi tatlar öne çıkarken, bazı bölgelerde ise çikolata notaları belirgindir. Ünlü Amerikalı gazeteci ve yazar William Harrison Ukers, ilham verici kitabı "All About Coffee"de Yemen kahvesini, çikolata içermemesine rağmen güçlü çikolata tonlarına sahip eşsiz bir lezzet olarak tanımlar (Al-Yemen Al-Saeed for Yemen Mocha Coffee, 2023).

Kahve değer zinciri içinde, yeşil kahve çekirdekleri, bir yan ürün olarak bilinen kahve kabuklarını da içerir. Yemenliler, tüm özel günlerinde "qishr" adı verilen bir içecek yapmak için bu kabukları kullanırlar. Qishr, suyla kaynatılarak hazırlanır ve zencefil, kakule, karanfil ve tarçın gibi baharatlarla tatlandırılır. Yemenliler, qishr'i sağlık yararları nedeniyle ve piyasada kahve çekirdeğine göre daha uygun fiyatlı olduğu için tercih ederler. Araştırmalar, qishr'in fiyatının yeşil kahve çekirdeklerinin yarısı kadar olduğunu ve bazı pazarlarda kilogram başına yaklaşık 3,5 ABD doları olduğunu göstermektedir. Bu durumda, kahve çekirdekleri, kabuktan sonra neredeyse ikincil bir ürün olarak görülmektedir (A. Al-Najjar, Y. Dijkshoorn, R. Zubiry, R. Ruben, 2023).

Yemen Kahvesinin Sınıflandırılması:

Kahve bitkisi, ticari değeri yüksek bir tarım ürünüdür ve boyutları yetiştiği bölgeye ve türüne göre değişen bir çalıdır. Yemen kahvesi çeşitlerinin çoğu, 4.5 ile 6 metre arasında bir yüksekliğe ulaşır. Derin kök sistemi 3 metreye kadar inebilir. Yaprakları çift sıralıdır, ince yapılıdır ve her zaman yeşildir. Gövdesi odunsu bir yapıya sahiptir. Meyvesi küçük, etli bir kabukla çevrilidir; yeşil renkten kahverengi veya koyu kırmızıya dönen bu meyvenin içinde iki adet tohum bulunur. Coffea cinsine ait olan kahve bitkisi, 25'ten fazla tür içerir (*Al-Yemen Al-Saeed for Yemen Mocha Coffee, 2023*).

Yemenli kahve çiftçileri, yetiştirdikleri kahve türlerini tanımlamak için çeşitli adlar kullanırlar. Önceki çalışmalarda onlarca isim listelenmiş olsa da, Yemen'de yetiştirilen Arabica kahvesinin çoğunluğunu oluşturan dört ana çeşit olduğu belirtilmiştir: Udaini, Dawairi, Tufaahi ve Burai. Ancak, bu isimlerin kapsamlı bir çalışmayla ana kahve bölgelerini içerecek şekilde sınıflandırılmamış olması bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada, 17 genin genetik çeşitliliği incelenmiş ve belirli bir ismin, örneğin Udaini'nin, farklı genetik gruplarda da kullanılabileceği gösterilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar arasında, çiftçilerin kahveye verdiği isimlerin genetik arka planıyla ilişkisini inceleyen başka bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu isimler genellikle kahvenin yetiştiği bölgeye veya belirli fiziksel özelliklerine dayanarak verilmektedir. Dolayısıyla, bu kahve çeşitlerinin genetik bir analizine ihtiyaç duyulmadan, bu isimler sadece bölgesel adlandırmalar olarak kabul edilebilir (*C. Montagnon, V. Rossi, C. Guercio ve F. Sheibani, 2022*).

Yemen kahvesi türlerinin adlandırılmasında üç temel unsur esas alınmaktadır:

Yetiştigi bölgeye göre: Örneğin, Audain bölgesinde yetiştirilen kahveye Udaini adı verilir.

Görünüşüne göre: Cadi, Tufaahi, Dawairi gibi adlar fiziksel görünümüne göre verilmiştir.

Kahve fidanını belirli bir bölgeye getiren kişilerin adına göre: Örneğin, Hacce bölgesine kahve getiren kişi nedeniyle buradaki kahve Waadi adıyla anılmaktadır (*A. Al-Juradi, 2024*).

Genel olarak kahve, ticari kahve ve nitelikli kahve olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Nitelikli kahve (specialty coffee) , kalite, tat ve yetiştirme yöntemi açısından en yüksek standartları karşılayan.

Yemen kahvesinin Özellikleri

Yemen kahvesi, zengin bir geçmişe sahip olup, dünyanın en eski ve en kaliteli kahvelerinden biri olarak kabul edilir. Yemen kahvesi, yüksek rakımlı ve zorlu Yemen dağlarında yetiştirilir. Bu bölgede yüksek rakım, volkanik toprak ve yerel iklim çeşitliliği, kahvenin kendine özgü ve benzersiz tatlar geliştirmesine katkı sağlar. Yemen kahvesi üretimi, geleneksel tarım uygulamaları ile yüksek maliyetli ve zahmetli bir süreç gerektirir. Bu süreçte geleneksel ve sürdürülebilir yöntemler kullanılarak kahvenin özgünlüğü ve el işçiliği korunur. Örneğin, Yemen kahvesi genellikle güneşte kurutma yöntemiyle işlenir; bu da çekirdeklerin derin tatlar ve karmaşık aromalar geliştirmesine olanak tanır.

Bu koşullar nedeniyle, Yemen'de kahve üretimi diğer ülkelere kıyasla nispeten düşüktür ve bu da Yemen kahvesini az bulunan ve değerli bir ürün haline getirir. Yemen kahvesi, kuru meyve, çikolata, tarçın, kakule ve baharat notaları ile şarabı andıran bir asiditeye sahip olup, benzersiz ve karmaşık bir tat deneyimi sunar. Ayrıca Yemen kahvesi, topraksı, aromatik ve karmaşık olarak tanımlanan kendine özgü bir lezzetiyle de ünlüdür. (*İ. Muhammed, 2024*).

Kahvenin Değer Zincirleri

Çiftçi;

Yemenli kahve çiftçisi, toprağını en değerli varlığı olarak görür ve Yemen kahvesinin en yüksek kalitesini elde etmek için tüm kaynaklarını seferber eder. Çiftçi, üretim sürecinin başlangıcından hasat aşamasına kadar her aşamada büyük bir titizlikle çalışır. Bu süreçte, her aşama zamanlama, nitelik ve içerik açısından hassas bir şekilde uygulanır.

Yemenli çiftçiler, kahve bitkilerini teras tarımı yöntemiyle dağlık arazilerde yetiştirirler. Bu yüksek rakım, yerel iklim, Yemen'in coğrafi yapısı ve çevresel koşulları, Yemen kahvesinin kendine has özelliklerini oluşturur. Bu kahve çiftlikleri genellikle deniz seviyesinden 1200 ila 2400 metre yükseklikte (yaklaşık 4000 ila 8000 fit) yer alır. Yemen kahvesini diğerlerinden ayıran özelliklerden biri de geleneksel tarım yöntemlerinin titizlikle uygulanmasıdır. Yemenli çiftçiler, kahve kirazını yetiştirirken ve hasat ederken yüzyıllara dayanan eski yöntemleri kullanır.

Bazı araştırmalar, dünya genelindeki çevresel değişimlerin, şu anda kahve üretimine uygun olan bazı bölgeleri gelecekte elverişsiz hale getirebileceğini öne sürmektedir. Ancak Yemen, kahve üretimi için önemli bir merkez olmaya devam edecektir. Yemen'in çevresel koşullarının kahveye olan uyumu artmakta, bu da zamanla kahve kalitesinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Yemen'in kahvenin ana vatanı olması, bu bitkinin değişen iklim ve çevresel şartlara genetik olarak uyum sağlaması ve yeni mutasyonlar geliştirerek adapte olmasına olanak tanır. (M. Al-Hakimi, 2024).

Hasat mevsimi, genellikle dikimden sonra üçüncü yılda başlar ve bu aşama kahve üretiminde en hassas aşamadır. Kahve hasadı, ticari kahve ve özel kahve olmak üzere iki farklı yöntemle yapılır. Özel kahve üretiminde, olgunlaşmış kahve kirazlarının seçici olarak elle toplanması büyük bir özen gerektirir. Çiftçiler, kırmızı veya koyu bordo renkli olgun kahve kirazlarını, mekanik ya da fizyolojik zarara yol açmayan özel toplama ve taşıma kapları kullanarak özenle toplarlar.

Hasattan sonra bazı çiftçiler değer zincirini devam ettirerek işleme sürecini kendileri yürütür. Ticari kahve üretimi için kahve kirazlarını topladıktan sonra günlerce süren doğal güneş kurutması amacıyla kurutma yataklarına sererler veya taş ve kerpiçten yapılmış evlerinin çatılarına koyarlar. Her iki yöntemde de çiftçiler, kahvenin güneşten eşit şekilde faydalanması için kahve çekirdeklerini düzenli olarak çevirirler. Diğer bazı çiftçiler ise yeşil kahveyi kooperatiflere veya tüccarlara satarlar; bu süreç belirli sözleşmeler çerçevesinde yürütülür.

Özel kahve sektöründe, çiftçiler yüksek kaliteli kahve üretmek için gerekli uygulamaları iyi bilirler; organik gübre kullanarak toprak hazırlığından, bitkilerin çeşitliliğini göz önünde bulundurarak fidan dikimine kadar her aşamayı titizlikle yürütürler. Çoğu çiftçi, organik gübreleri kullanır. Kahve ağaçlarının yüksek kalite ve verim seviyelerini korumak için tamamlayıcı sulama, kuyulardan veya diğer kaynaklardan belirli zamanlarda yapılır ve yağmur suyuna büyük ölçüde güvenilir.

Hasat aşaması, kahvenin kalitesini doğrudan etkilediği için son derece hassastır. Geleneksel kahve çiftçileri, işçilik maliyetlerini düşürmek için kahve kirazlarını farklı olgunluk aşamalarında toplarken, özel kahve üretiminde yalnızca kırmızı, olgun kahve kirazlarının dikkatle toplanması daha iyi bir sonuç elde etmek için önemlidir. Bu nedenle, özel kahve üretiminde seçim süreci özel bir özen gerektirir. Toplanan kirazların taşındığı çuvallar, kırmızı kirazların ezilmesini veya malzemeden kaynaklanan olumsuz etkileri önlemek için uygun kalitede kumaşlardan yapılmalıdır.

Kooperatifler;

Yemen’de kahve yetiştirilen bölgelerde bulunan tüm kooperatifler, belirli sözleşmelerle çiftçilerden kahve toplama işini üstlenir. Bu kooperatifler bazı durumlarda kahveyi kurutma gibi işlemlerden geçirir ya da yalnızca ticari bir aracı olarak işlev görerek, kahveyi özenle yeşil veya kurutulmuş şekilde çiftçilerden yerel tedarikçilere, uluslararası aracılar, araştırma enstitülerine veya kafe ve kahve dükkanlarına ulaştırır.

Bu kooperatifler, kahve çekirdeklerinin kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemeden koruyarak, kahvenin yüksek kalitesini koruyacak belirli taşıma ve depolama yöntemleri kullanır. Örneğin, uzman kahve firmaları, tarımsal amaçlar için genellikle kullanılan çevre dostu kurutma ağlarından yapılmış kurutma yatakları kullanır. Ayrıca, uzman kahve firmaları, kahve işleme sürecini yürütecek ekiplerini eğitir ya da kahve yetiştiren bölgedeki çiftçilere eğitim sağlar.

Bu kooperatifler nadiren, Kahve Uzmanlık Derneği’nin (SCA) standartlarına göre kusursuz, özel kahve üretimi için kahve ayırma ve derecelendirme işlemlerini gerçekleştirir. Buna göre, 350 gramlık kahve numunesinde birinci sınıf kusur bulunmamalı ve ikinci sınıf kusur sayısı beşi geçmemelidir.

Tüccar;

Tüccar, kahvenin fiyatlandırılması ve satışında aracı rolünü üstlenir. Kahveyi yerel pazarda doğrudan müşterilere perakende olarak satabilir, kahve satışı yapan özel mağazalara veya genel mağazalara tedarik edebilir. Ayrıca, uluslararası kahve satışına ilişkin yasa ve yönetmelikler doğrultusunda yurt dışına ihraç edebilir. Ayrıca, tüketici taleplerine ve arz-talep zincirine bağlı olarak kooperatiflerin yaptığı şekilde kahveyi işleyebilir. Tüccar, kahveyi taşıırken kalitesinin korunması ve dış etkenlerden korunması için uygun taşıma yöntemlerini dikkatle seçer.

Kavurma Tesis;

Kavurma tesisinin işlevi yalnızca kahve kavurmaktır. Bu tesiste, kahve çekirdekleri kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirilerek tüketim için hazır kavrulmuş kahveye dönüştürülür. Kavurma işlemi, kahvenin belirgin aromasını üreten süreçtir ve bu süreçte yeşil kahve çekirdeklerinin renk, tat, koku ve yoğunluk gibi özellikleri değiştirilir. Dolayısıyla, bu aşama, nihai ürün kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir aşamadır ve lezzetlerin belirlenmesi ile tüketici beğenisi bu sürece bağlıdır. Bu nedenle, kavurma işlemi yalnızca bu alanda uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmelidir.

Kahve Dükkanları "coffee shop";

Kahve dükkanları, kahvenin sıcak ve soğuk içecekler şeklinde çeşitli sunumlarıyla dikkat çeken bu zincirin en önemli unsurlarından biri olarak kabul edilebilir. Bu mekanlar, kahvenin en yüksek kalite standartlarına uygun olarak hazırlanması, kahve aromalarının çıkarılması ve bu aromaların farklı sunum yöntemleriyle müşterilere sunulması konusunda özel bir uzmanlığa sahiptir.

Tüketici;

Kahve zincirinin son halkasıdır ve kahve, doğrudan kahve üreten şirketlerden alındığında, çeşitli hazırlama şekilleriyle kafelerde tüketildiğinde veya süpermarketlerden satın alındığında tüketiciye ulaşır.

Sonuç;

Bu çalışma, Yemen kahvesinin nadir bir özelliğe ve tarihsel öneme sahip olduğunu, bu durumun Yemen'in kültürel mirasının bir parçası olmasına katkı sağladığını ve aynı zamanda dünyadaki diğer kahve türlerinden ayrıldığını göstermektedir. Kahve yetiştiriciliği Yemen'de yaklaşık on beşinci yüzyılın ortalarında başlamış ve Mocha Limanı'nın benzersizliği ve stratejik rolü sayesinde dünya ticaretinde merkezi bir nokta olarak devam etmiştir. Yemen kahvesi, yüksek rakımlı dağlık bölgelerde, özel bir iklime sahip alanlarda yetişmesi ve geleneksel tarım yöntemlerinin sürdürülebilirliği ve ürün kalitesini koruyarak devam ettirilmesi nedeniyle eşsiz özellikler taşımaktadır.

Çalışma, Yemen'in kahve ticaretinde yaklaşık 250 yıl boyunca tekel konumunda olduğunu ortaya koymaktadır; ancak bu durum, on sekizinci yüzyılda diğer ülkelerde, özellikle Güney Amerika ve Güney Asya'da kahve yetiştiriciliğinin yayılmasıyla sona ermiştir. Bu üretim değişikliğine rağmen, Yemen kahvesi, kahve tutkunları ve tadım uzmanları tarafından dünya çapındaki müzayedelerde rağbet gören lüks türlerden biri olarak konumunu korumuştur. Yemen'deki kahve çekirdekleri, eşsiz toprak ve iklimin sağladığı zengin ve karmaşık bir tat profiline sahiptir.

Çalışmada ayrıca, yetiştirmeden dağıtıma kadar olan değer zincirinin Yemen kahvesinin yüksek kalitesini korumadaki rolü incelenmiştir. Bu zincir, Yemen kahvesinin doğal özelliklerini öne çıkaran hasat ve geleneksel işleme süreçlerini içermektedir. Bu zincirdeki her bir adım, kahvenin kalitesini ve özgün özelliklerini koruyan temel bir unsur olarak, uluslararası pazarda talebin artmasına ve Yemen kahvesinin arzu edilen bir ürün haline gelmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, kahvenin Yemen için yalnızca ekonomik bir ürün olmadığını, aynı zamanda kültürel mirasın ve sosyal geleneklerin bir parçası olduğunu göstermektedir. Yemen, kahve kabuklarından elde edilen 'küşür' içeceğiyle öne çıkmaktadır. Bu içecek, Yemen kültüründe özel bir yere sahip olup, çeşitli sağlık yararlarına sahip günlük bir içecek olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, tam kahveye kıyasla uygun fiyatlarla sunulması, onu Yemen toplumunda sürdürülebilir ve ekonomik bir kahve kullanım sembolü haline getirmektedir.

Yemen kahvesinin tarihsel gelişimi ve üretim ile işleme konusundaki gelenekleri, sürdürülebilirlik ve kaliteye verilen önemi yansıtmaktadır; bu da onu küresel kahve endüstrisinde önemli bir örnek olarak konumlandırmaktadır. Birçok araştırma, Yemen kahvesinin hâlâ profesyonel tadımcılar arasında yüksek bir takdirle karşılandığını ve dünya çapında tat ve kalite açısından en iyi kahveler arasında yer aldığını belirtmektedir. Bu durum, üretiminin sınırlı olmasına rağmen uluslararası alandaki konumunu güçlendirmektedir.

Teşekkür;

Yemen kahvesinin kalitesi üzerindeki değer zincirlerinin etkisine dair yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yaptığım çevrimiçi araştırmalarda, bu konuya değinen bilimsel makalelere veya çalışmalara ulaşamadım. Bu nedenle, Yemen kahvesi alanında uzman kişilerle iletişime geçme gereği duydum. Yemen kahvesi ticaretiyle uğraşan 'Mocha Story' adlı şirketin sahibi olan Yemenli iş insanı Abdulatif Al-Juradi ile iletişime geçtim; kendisi kahve tarımı ve üretimi alanında da faaliyet göstermektedir. Kendisi tarafından sağlanan bilgiler, bu makalenin temelini oluşturmuştur. Onun katkıları olmasaydı, bu makalenin hazırlanmasının mümkün olmayacağını vurgulayarak kendisine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça;

- A. Al-Juradi, "Değer Zincirlerinin Yemen Kahvesine Etkisi Hakkında Bilgi" (Assma'a Abdullah'a e-posta), 29 Ekim 2024.
- M. Al-Hakimi, "Köklü Temeller: Yemen Kahve Endüstrisine Genel Bakış ve Mevcut Durum," Yeşil Rüya Çevre Çalışmaları ve Danışmanlık Dergisi, 2024.
- İ. Muhammed, "Kahvenin Temelleri: Yemen Kahvesi Hakkında Her Şey, Çeşitler, Özellikler, Tarih, Yetiştiricilik," Kahve Uzmanı Sitesi, 18 Ocak, 2024. Erişim: <https://khabarelqahwa.com>.
- Al-Najjar, Y. Dijkxhoorn, R. Zubiry ve R. Ruben, "Yemen'de Kahve Yetiştiriciliği Uygulamaları ve Beklentilerini Anlamak: Bani Matar'dan Bir Durum Çalışması," Mocha Valley Consultants ve Wageningen Ekonomik Araştırma, Rapor 2023-044.
- C. Montagnon, V. Rossi, C. Guercio ve F. Sheibani, "Yemen'de Yetiştirilen Kahvenin (Coffea arabica) Halk Arasındaki İsimleri ve Genetiği," Agronomy, 2022. Erişim: www.mdpi.com/journal/agronomy.
- A. K. H. Muksher, "14. ve 17. Yüzyıllar Arasında Arap Kahvesinin Ortaya Çıkışı ve Yemen'de Kahve Yetiştiriciliğinin Yayılması," Ebhath Dergisi, Edebiyat Fakültesi, El-Hudeyde Üniversitesi, Yemen, 2016.

Rizobakterilerin Domates Yetiştiriciliğinde Tuzluluk Stresine Etkilerinin Araştırılması

Fodié Diagana¹, Hatice Özaktan²

Özet

Tuzluluk stresi, bitki büyümesini ve tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyen önemli ve giderek büyüyen bir sorundur. Dolayısıyla bu sorunun çözümü tarımda önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı; domates bitkisinde tuz stresini tolere etmede yararlı bakterilerin kullanılma olasılıklarının araştırılmasıdır. Bunun için 6 domates çeşidi kullanılmış ve sonuçta yalnızca en tolerant ve en hassas çeşitler çalışma için seçilmiştir. Laboratuvar stoklarından seçilen 19 bakteri izolatu arasında, *in vitro* koşullarda tuz stresine karşı en başarılı olan 7'si arasından 3'ü seçilerek *in vivo* koşullarda tuz stresine karşı etkileri testlenmiştir. *In vivo* saksı denemeleri iki kez yenilenmiştir. *In vivo* tuz stresi denemesinde, seçilen bakteri izolatları tuzluluğa tolerant ve hassas olarak belirlenen domates çeşitlerine tohum bakterizasyonu ve kök içirme uygulaması biçiminde verilmiştir. Bakteri uygulamalarının gövde ve kök yaş ve kuru ağırlığını işlem görmemiş kontrol bitkilerine oranla artırdığı saptanmıştır. Moleküler tanılama ve sekans analizi sonucunda bu bakterilerin *Pantoea ananatis*, *Acinetobacter calcoaceticus* ve *Pantoea vagans* olduğu değerlendirilmiştir. Tuzlu ortamlarda bitki gelişimini artırma potansiyelleri ile tanınan bu halofitik bakterilerin tuzluluk stresini tolere etme, bitki gelişimi ve verimi artırma konusunda umut verici olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: tuzluluk stresi, rizobakteriler, domates, bitki gelişimi, Tuz konsantrasyonu

Disiplin: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi / Bitki koruma Bölümü / Fitopatoloji ana bilim dalı.

Giriş

Domates (*Solanum lycopersicum*), Solanaceae familyasına ait çok yıllık bir sebzedir. Domates çok yönlü, popüler ve dünyadaki en önemli sebze ürünlerinden biridir. Özel besin değeri ve dünya çapında yaygın üretimi nedeniyle önemli bir gıda olarak bilinmektedir.

Domates, dünyanın birçok ülkesinde açıkta ve örtü altında yetiştirilmesi sayesinde nispeten soğuk bölgeler de dahil olmak üzere çeşitli iklimlerde kültüre alınabilmektedir.

Üretim hacmine göre, karpuz ve lahananın önünde, ancak patates ve tatlı patateslerin arkasında dünyadaki ilk sebzelerden biridir (FAO, 2009). FAO verilerine göre 2020 yılında dünyada 5.051.983 hektar alanda 186.821 milyon ton domates üretilerek ortalama 37,1 ton/hektar (mT/ha) verim elde edilmiştir. Çin, 1.111.480 hektar alanda 64.865.807 mt domates veya hektar başına 58,4 mt domates üretimiyle dünyanın önde gelen üreticisidir. Türkiye ise 181.879 hektar alanda 13.204.015 ton, yani hektar başına 72,6 ton domates üretimiyle Hindistan'ın (20.573.000 mT/812.000 ha) ardından üçüncü sırada yer almaktadır. Moritanya'da sebze (domates dahil) yetiştirilen alan yaklaşık 3.000 hektar olup, yıllık üretim 45.000 tondur. Ortalama verim 15 ton/ha'dır.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi (MA Student) Ege Üniversitesi

² Prof. Dr.

Pek çok ürün gibi domates yetiştiriciliği de çoğu zaman gelişmesini ve üretilmesini engelleyen streslerle karşı karşıyadır. Bu stresler biyotik (Bakteri, virüs, fungus, nematod vb.) veya abiyotik (kuraklık, tuz stresi, su stresi, sıcaklık değişimi, mineral eksiklikleri vb.) olabilir. 21. yüzyılda, küresel ısınma, küresel su kaynaklarının kıtlığı, çevre kirliliği ve tarımsal toprakların ve suyun artan tuzlanması gibi dünya nüfusunu etkileyen birçok sorunla karşılaşmaktadır. Çeşitli çevresel sorunlar; kuvvetli rüzgarlar, aşırı sıcaklıklar, toprak tuzluluğu, kuraklık ve sel gibi, tarım arazilerinin üretimini ve işlenmesini etkilemiştir; bunların arasında toprak tuzluluğu, en yıkıcı çevresel streslerden biridir ve ekili arazi alanında, üretkenlikte ve mahsul kalitesinde önemli azalmalara neden olmuştur (Yamaguchi and Blumwald, 2005; Shahbaz and Achraf, 2013). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, dünyadaki sulanan arazilerin %20'sinin tuzluluk sorunlarından etkilendiğini tahmin etmektedir. Dünya çapında her yıl 10 milyon hektar tarım alanı toprağın tuzlanması nedeniyle yok olmaktadır.

Topraklar iki şekilde tuzlanabilir: doğal veya antropojenik nedenlerle. Doğal nedenler arasında çözünebilir tuzlar içeren kayaların aşınması, volkanik aktivite, deniz tuzlarının rüzgar yoluyla atmosferde birikmesi vb. sayılabilir. Antropojenik nedenler ise, çoğunlukla uygunsuz sulama yöntemleriyle bağlantılıdır ve genellikle kötü drenaj koşullarıyla ilişkilidir. Az yağış, yüksek buharlaşma ve tarımsal uygulamalar gibi diğer faktörler de toprak tuzluluğunun artmasına katkıda bulunur. İklim değişikliği, yeraltı suyunun aşırı kullanımı, düşük kaliteli sulama suyunun kullanımının artması, yarı-kurak ila kurak iklim bölgelerinde yoğun sulama ve toprak süzülmesinin eksikliği bu toprağın tuzlanma olgusunu yoğunlaştırabilir. Bu nedenle, 2050 yılına kadar ekilebilir arazilerin %50'sinden fazlasının tuzlanacağı tahmin edilmektedir (jamil et al., 2011).

Son yıllarda, patojenik olmayan kök bakterileri (KB) ya da bitki gelişimini artıran kök bakterileri (PGPR)'nin bitki hastalıklarıyla biyolojik savaş, bitki gelişimini artırma ve kuraklık / tuzluluk stresine toleransı artırma konularında çalışmaların olduğu dikkati çekmektedir. Bu çalışmanın amacı; domateste tuzluluk stresine karşı kök bakterilerinin (KB) kullanılma olasılığının araştırılmasıdır. Bu nedenle, KB'nin tuzluluk stresine karşı domates bitkisinde etkisini aydınlatmak üzere bitki gelişimi (yaprak sayısı, kök ve gövde, kök ve yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları) araştırılmıştır. Böylece, çözümü güç olan bir abiyotik stres faktörüyle başa çıkma ve bitki gelişimini artırma konusunda ortak bir yaklaşım geliştirilme olasılığı hedeflenmiştir.

Materyal Ve Yöntem

Çalışmada kullanılan bakteri izolatları

Bitki Koruma Bölümü bakteriyoloji laboratuvarı stoklarında bulunan geniş KB koleksiyonundan (epifitik ve endofitik karakterler), daha önceki projelerde bitki büyümesini başarıyla artıranlar arasından ACC deaminaz (aminosiklopropan karboksilaz deaminaz), IAA (indol 3 asetik), fosfor parçalama aktivitesi, siderofor üretimi vb bitki gelişim parametreleri gibi bazı *in vitro* test sonuçları ve tür farklılıkları dikkate alınarak 19 bakteri izolatı seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan Bitkisel materyal

Bu çalışmada test bitkisi olarak, çalışma öncesinde piyasada yaygın olarak üretimi yapılan domates çeşitleri arasından yapılan ön deneme sonucunda, tuzluluğa tolerant ve hassas domates tohumları seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan bakteri izolatlarının tuza toleransının *in vitro* koşullarda belirlenmesi

Çalışmada tuza tolerans düzeyleri açısından testlemeye alınan 19 bakteri izolatının 48 saatlik

kültüründen, farklı konsantrasyonda sodyum klorür (NaCl) içeren (0 mM, 200 mM, 400 mM, 600 mM, 850 mM, 1000 mM, 1500 mM ve 2000 mM) kültür ortamlarına (Nutrient Agar, NA) çizgi ekim yapılmıştır. Petriler 24°C 'de 3-4 gün süreyle inkubasyona bırakılmış ve koloni oluşumu izlenmiştir (Fischer vd., 2007; Ramadoss vd., 2013). Yüksek tuz ortamında gelişen bakteri izolatları %10 NaCl, %30 gliserol içeren NB ortamında -80°C'de bir sonraki kullanıma kadar saklanmıştır. 19 bakteri izolatu arasında tuza en tolerant olanlar arasında seçim yapılmıştır.

Domates çeşitlerinin farklı tuz konsantrasyonlarına dayanımı ve vigorite indeksine (VI) etkisi:

Denemeye alınan 6 farklı domates çeşidi tohumları farklı tuz konsantrasyonları (0 mM, 10 mM, 20 mM, 30 mM, 40 mM, 50 mM, 100 mM, 200 mM, 1000 mM ve 1500 mM) uygulanarak nemlendirilmiş kurutma kağıtlarında ISTA kurallarına uygun olarak çimlenme (%) açısından testlenmiştir. Daha sonra, 0 mM ve 40 mM konsantrasyonları kullanılarak, vigorite indeksi (VI) belirlenmiştir. Yüzey dezenfeksiyonu yapılan (%0.2'lik Na-hipoklorit ile dezenfekte edilmiş) tohumlar, farklı tuz konsantrasyonları içeren çözeltilerde 30' süreyle bekletilmiş, daha sonra aynı tuz konsantrasyonlarıyla nemlendirilmiş çift katlı kurutma kağıtları arasında çimlendirmeye bırakılmıştır (Şekil 1). Steril saf su ile nemlendirilen kurutma kağıtlarına bırakılan tohumlar negatif kontrol olarak değerlendirilmiştir. Deneme her çeşit için 10 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 tohum olacak şekilde planlanmıştır. Yedi gün süreyle, yüksek oransal nem altında (%95) 24°C'de çimlenmeye bırakılan tohumlardaki çimlenme oranı saptanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, çimlenmenin gerçekleştiği doz, tuza hassas ve toleranslı 2 domates çeşitleri seçilmiş ve aşağıdaki formül kullanılarak vigorite indeksi belirlenmiştir :

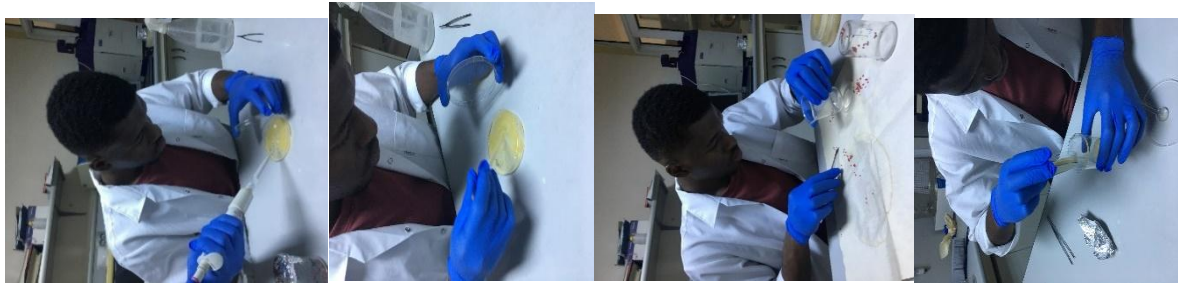
VI : çimlenme oranı (%) X (radicil uzunluğu + hipokotil uzunluğu)



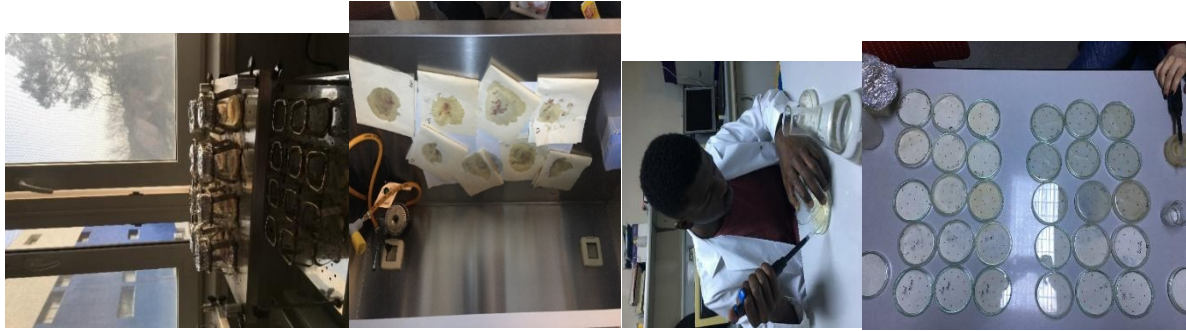
Şekil 1. Farklı tuz konsantrasyonlarında çimlenme ve vigorite testi için domates tohumlarının hazırlanması

Tuza tolerans gösteren bakteri izolatlarının tuza hassas domates çeşidinde Vigorite indeksine (VI) etkisi
Ön denemeler sonucunda, tuzluluğa en hassas bulunan domates çeşidi, *in vitro* testlerde tuzlu ortamda gelişim açısından en tolerant bulunan 7 bakteri izolatının 48 saatlik kültüründen %0.1'lik Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ile süspanse edilerek hazırlanan inokulumlar, önceden yüzeyi %0.2'lik Na-hipoklorit ile dezenfekte edilmiş domates tohumları (5g tohum / 5ml süspanسیون) ile 30 dakika boyunca

121 rpm’de çalkalanarak kaplanmış ve kurutma kağıtları arasında 24°C’de 1 saat kurumaya bırakılmıştır (Şekil 2, Şekil 3) (Sarma ve Saikia, 2014). Daha sonra, bakteri ile kaplanan tohumlar çift katlı steril kurutma kağıdı içeren petri kaplarına (9cmØ) yerleştirilmiştir. Petri kapları 40 mM NaCl içeren steril su ile nemlendirilmiş ve petriler 24°C’de 7 gün süreyle çimlenmeye bırakılmıştır. Deneme her bakteri için 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 tohum olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Herhangi bir bakteri ve tuzlu su uygulaması görmeyen domates tohumları negatif kontrol, sadece 40mM tuzlu su uygulaması yapılanlar ise pozitif kontrol olarak değerlendirilmiştir. Deneme sonunda çimlenme oranı (%) saptanmış, hassas çeşitte en yüksek çimlenme oranını (%) gösteren bakteriler arasından *in vivo* testler için seçim yapılmıştır ve vigorite indeksi belirlenmiştir.



Şekil 2. Tohum bakterizasyonu için bakteri süspansiyonlarının ve tohumların hazırlanması



Şekil 3. Tohum bakterizasyonu sonrası 121 rpm’de kaplama işlemi, tohumların kurutulması, petrilere yerleştirilmesi ve nemlendirme aşaması

Tuza tolerans gösteren bakteri izolatlarının tuza hassas ve tolreant domates çeşitlerinde tuzluluğa etkisinin in vivo testlerle belirlenmesi

Ön denemeler sonucunda tuzluluğa karşı en hassas ve tolerant bulunan 2 domates çeşidi tohumları, tuza tolerans düzeyleri en yüksek olan 3 farklı bakteri izolatı ile *in vivo* denemeler gerçekleştirilmiştir. NA’da 24 – 48 saat süreyle geliştirilen bakteriyel inokulumlar %0.1’lik Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ile süspanse edilmiş, önceden yüzeyi %0.2’lik Na-hipoklorit ile dezenfekte edilmiş domates tohumları (5g tohum / 5ml süspansiyon) bu bakteri süspansiyonu ile 30 dakika boyunca 121 rpm’de çalkalanarak kaplanmış ve kurutma kağıtları arasında 24°C’de 1 saat kurumaya bırakılmıştır (Sarma ve Saikia, 2014). Tohum bakterizasyonu yapılan domates tohumları daha sonra steril torf içeren viyollere ekilmiştir (Şekil 4). Deneme 5 tekerrürlü ve her tekerrürde 1 bitki olacak şekilde olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre bitki büyüme odasında (24C sıcaklık, 16h aydınlık, 8 saat karanlık periyotta) kurulmuştur. 2 yapraklı aşamaya gelen domates fideleri 10 cm Ø saksılara şaşırtılmıştır (Şekil 5). Saksılarda yetiştirme ortamı olarak steril torf kullanılmış ve saksı toprağına 40 mM NaCl (11.6 g

NaCl/100 g torf) eklenerek homojen biçimde karıştırılmıştır (Şekil 5). Şaşırtma sonrası seçilen kökbakterisi izolatları ile can suyu verilmiştir (10⁸ cfu/ml, 50 ml /saksı, Şekil 6). Negatif Kontrol uygulamasında yararlı bakteri ve NaCl olmaksızın, sadece %0.1 CMC ile kaplanan tohumlar yer almış, pozitif kontrol uygulamasında ise yararlı bakteri olmaksızın 40 mM NaCl içeren saksılarda yetiştiricilik yapılmıştır. Bitkiler 6 – 8 hafta süreyle periyodik gözlenmiş, *in vivo* testler sonunda bitki boyu, bileşik yaprak sayısı, çiçeklenme vb fizyolojik parametrelerin yanı sıra, her tekerrürdeki toplam bitki biyomasi yaş ve kuru ağırlık olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7). Pozitif ve negatif kontrol bitkilerinin yaş ve kuru ağırlıkları arasındaki fark (% etki) ABBOTT formülü ile değerlendirilmiştir. *In vivo* denemeler 2 kez yinelenmiştir.



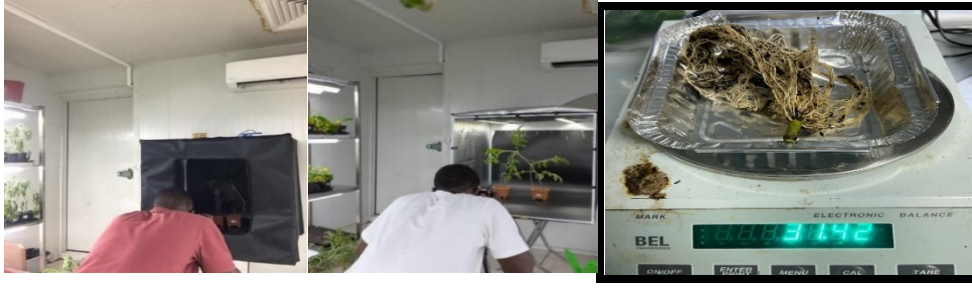
Şekil 4. Viyollere torf doldurulması, bakterizasyon yapılmış tohumların ekimi, sulama ve çimlendirme aşaması



Şekil 5. *In vivo* testler için torfa tuz karıştırılarak saksıların doldurulması, fidelerin viyollerden saksılara şaşırtma aşaması



Şekil 6. Fidelerin şaşırtma sonrası bakteri süspansiyonu ile içirme uygulaması yapılması



Şekil 7. In vivo denemelerin fotoğraflanması

Tuza tolerans gösteren bakteri izolatlarının moleküler tanısının yapılması

In vitro ve *in vivo* denemelere (PGPR aktivite ve tuz stresi) göre seçilen 3 adet bakteri izolatının moleküler tanısında 16s rRNA hedef bölgesine göre dizayn edilmiş, 27F/1492R (Forward: AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG, Reverse: GGT TAC CTT GTT ACG ACT T) universal primer çiftleri kullanılmıştır (Hodkinson ve Lutzoni 2009). Hazırlanan master mix PCR tüplerine 20 µl olarak bölünerek Termal Cycler'de (95oC'de 5', [94 oC'de 1', 55oC 30s, 72oC 1' toplam 35 döngü], 72oC'de 1', 15oC'de ∞) çoğaltılmıştır. Elde edilen PCR ürünleri TAE buffer (Fermentase, 0.5M) ile hazırlanan %1.5'luk Agaroz jelde 80 Voltta 1 saat elektroforezde koşularak sonuçlar UV transilluminator görüntüleme cihazında 1460 bp'de bantların varlığıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen PCR ürünleri sekans analizine gönderilmiş ve sekans sonuçları NCBI veri tabandaki bilgiler ile karşılaştırılarak bakteri izolatları tanımlanmıştır.

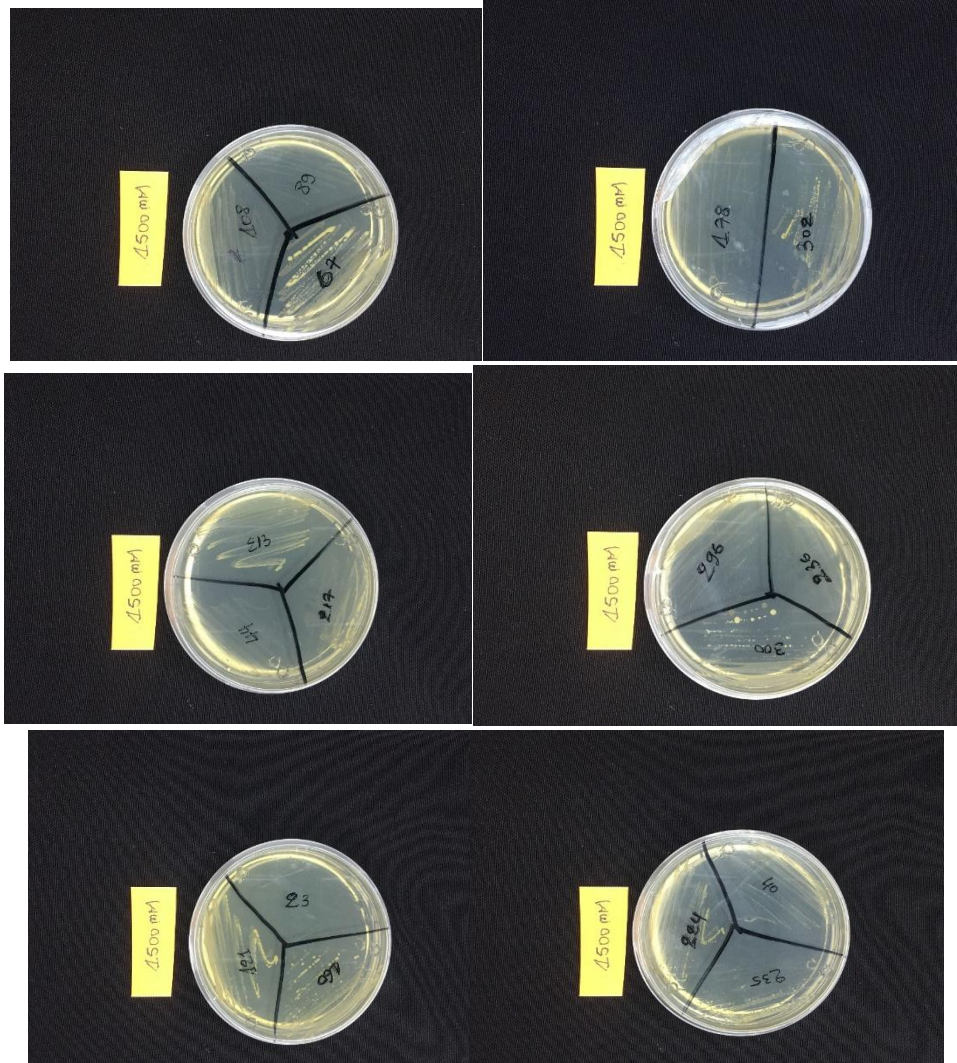
Verilerin analizi

Denemelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi için tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) ve karakterler arası ortalamaların istatistiksel olarak karşılaştırılması için %95 güven ile çoklu aralık testi DUNCAN kullanılmıştır.

Bulgular Ve Tartışma

Çalışmada kullanılan bakteri izolatlarının tuza toleransının in vitro koşullarda belirlenmesinden sonra elde edilen sonuçlar

Çalışmada toplam 19 adet bakteri izolatı 0-1500 mM arasında değişen farklı tuz konsantrasyonunda tuza toleransları açısından NA besiyerinde kültüre alınmış ve 72 saat süreyle 24°C'de inkubasyon sonrasında gelişen koloniler değerlendirilmiştir. Teste alınan 19 bakteri izolatının 13'ü 1000 mM tuz konsantrasyonunda iyi bir gelişme göstermiş (Şekil 4.2); bu izolatların arasında 67, 121, 160, 213, 224, 300 ve 302 nolu bakteri izolatları ise 1500 mM gibi yüksek tuz konsantrasyonu içeren besiyerinde iyi bir gelişme göstermiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Testlenen bakteri izolatlarının 1500 mM tuz konsantrasyonu içeren NA besiyerinde gelişimi

Farklı tuz konsantrasyonlarının Domates çeşitlerinin çimlenme oranına (%) ve vigorite indeksine (VI) etkisi sonuçları

Denemeye alınan 6 farklı domates çeşidi tohumları farklı tuz konsantrasyonlarında çimlenme oranı (%) ve vigorite indeksi (VI) sonuçları, sırasıyla, Tablo 1, ve 2’de görülmektedir.

Tablo 1. Farklı tuz konsantrasyonlarının domates çeşitlerinde çimlenme oranına etkisi (%)

Domates çeşidi	Farklı tuz konsantrasyonlarında ortalama çimlenme oranı (%)*				
	0mM	10mM	20mM	30mM	40mM
Syngenta 33	82,5	100	100	100	80
Sakata 13	95	100	100	100	100
Sakata 24	97,5	100	100	100	100
Sakata 36	80	80	60	80	40
Sakata 10	100	100	100	80	80
SC 21 21	80	80	60	100	60

*Değerler her birinde 10 tohum bulunan 4 tekrarin ortalamasıdır. Her deneme 2 kez tekrarlanmıştır

Tablo 2. 40mM tuz konsantrasyonunda domates çeşitlerinin vigorite indeksi (VI)

Domates çeşidi	Farklı tuz konsantrasyonlarında vigorite indeksi (VI)*	
	0mM	40mM
Syngenta 33	5143,33 bc**	9346,66 a
Sakata 13	4224,66 bc	6223,33 b
Sakata 24	3464,66 bc	5564,33 bc
Sakata 36	3256,33 bcd	2333 d
Sakata 10	5688,6 bc	5456,66 bc
SC 21 21	2473,33 cd	2838 bcd

*Değerler her birinde 10 tohum bulunan 4 tekerrürün ortalamasıdır. Her deneme 2 kez tekrarlanmıştır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.

Farklı tuz konsantrasyonlarında domates çeşitlerinin çimlenme oranı (%) ve VI değerlerine bakıldığında ; en tolerant çeşitlerin Syngenta33, Sakata13, Sakata 24 ve Sakata 10 olduğu, en hassas çeşitlerin ise Sakata36 ve SC2121 olduğu gözlenmektedir (Tablo 1 ve 2). Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda ; daha sonraki denemeler için tuz stresine en tolerant çeşit olarak Syngenta33 ve en hassas olarak SC2121 domates çeşidi seçilmiştir.

Tuza tolerans gösteren bakteri izolatlarının tuza hassas domates çeşidinde Vigorite indeksine (VI) etkisinden elde edilen sonuçlar

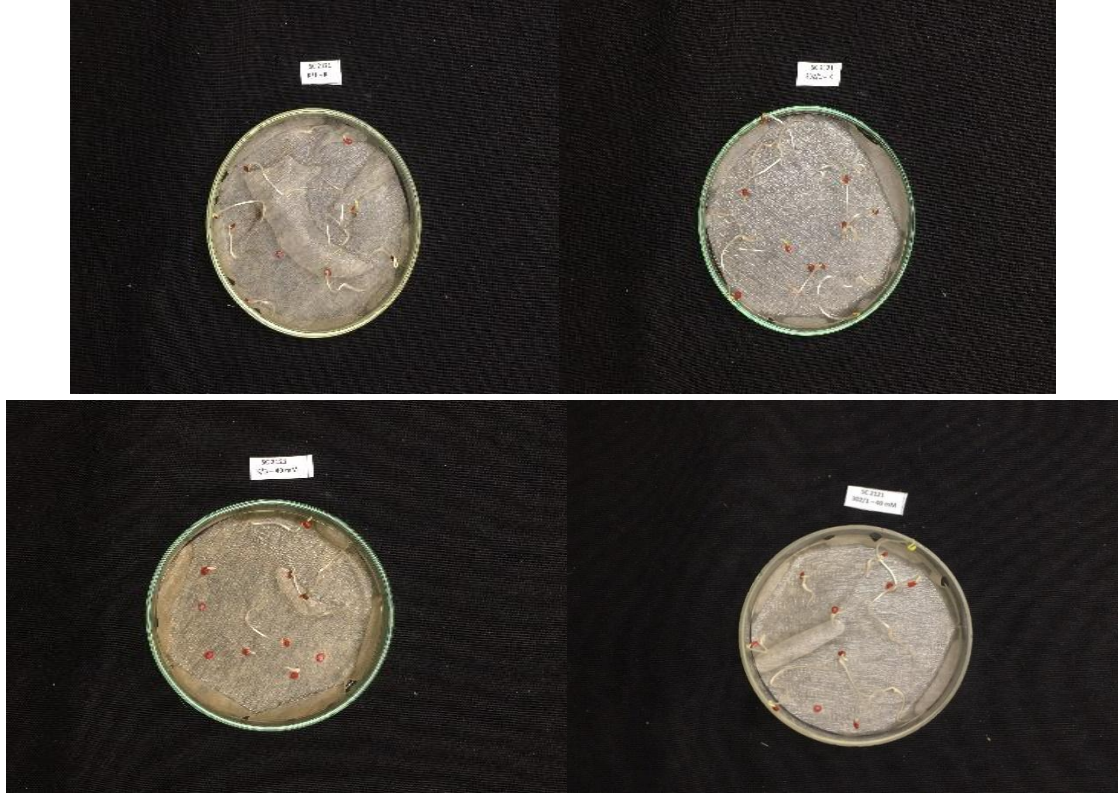
Tuza en hassas çeşit olarak belirlenen cv.SC2121 domates çeşidi ve tuza tolerant olduğu saptanan 67, 121, 160, 213, 224, 300 ve 302 nolu bakteri izolatları ile domates çeşidi tohumları uygulama görmüş ve bu bakterilerin 40mM tuz konsantrasyonunda çimlenme oranı (%) ve VI'e etkisi testlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 3'daki verilerden çimlenme oranı ve VI açısından, uygulama görmemiş pozitif kontrole oranla, tuz stresinden en az etkilenmenin 302 nolu bakteri izolatında olduğu (şekil 9), bunu sırasıyla 67 (Şekil 10) ve 121'in izlediği anlaşılmaktadır. Ayrıca ; tuz stresi yokluğunda testlenen 7 bakteri izolatı uygulama görmemiş negatif kontrole oranla vigorite indeksini artırmayı başarmıştır (Tablo 3). Böylece; tuza toleransı en yüksek bakteri izolatları arasından 67, 121 ve 302 nolu izolatlar vivo testler için seçilmiştir.

Tablo 3. Tuza tolerant bakteri izolatlarının tuza hassas domates çeşidinde çimlenme oranı ve (%) ve vigorite indeksine (VI) etkisi

İzolat no	Farklı tuz konsantrasyonunda ortalama çimlenme oranı (%)*		Farklı tuz konsantrasyonunda ortalama vigorite indeksi (VI)*	
	0mM	40mM	0mM	40mM
K-	66,6 ab**	50 b**	2238,30 abc**	1078,3 bc**
67	70 ab	70 ab	3585,00 abc	2355 abc
121	73,3 ab	63,3 ab	3635,6 abc	2228,3 abc
160	83,3 a	63,3 ab	4883,00 a	2148,3 abc
213	73,3 ab	53,3 ab	3314,00 abc	1445,6 bc
224	73,3 ab	60 ab	3040,00 abc	785,6 c
300	73,3 ab	53,3 ab	3025,00 abc	764,6 c
302	80 ab	83,3 a	3708,30 abc	3801,6 ab

*Değerler her birinde 10 tohum bulunan 4 tekerrürün ortalamasıdır. Her deneme 2 kez tekrarlanmıştır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.



Şekil 9. 302 nolu bakteri izolatının tuz stresi yokluğunda ve varlığında SC2121 domates çeşidinde çimlenmeye etkisi (soldan sağa : Negatif kontrol, tuz stresi yokluğunda 302 nolu izolat, 40mM tuz stresi (Pozitif Kontrol), 40mM tuz stresi+302 nolu izolat)





Şekil 10. 67 nolu bakteri izolatının tuz stresi yokluğunda ve varlığında SC2121 domates çeşidinde çimlenmeye etkisi (soldan sağa : Negatif kontrol, tuz stresi yokluğunda 67 nolu izolat, 40mM tuz stresi (Pozitif Kontrol), 40mM tuz stresi+67 nolu izolat)

In vivo tuza tolerans testlerinden elde edilen sonuçlar

Tuzluluğa en hassas ve en tolerant 2 domates çeşidi ve tuza toleransı en yüksek bakteri izolatları arasından seçilen 67, 121 ve 302 nolu izolatlar ile in vivo testler bitki büyüme odasında gerçekleştirilmiştir. Tohum bakterizasyonu şeklinde uygulama gören domates tohumları viyollerde 2 yapraklı aşamaya gelince, tuz stresi etkisini gözlemek amacıyla saksılara şaşırtılmıştır. Bitkiler iki ay boyunca tuz stresi altında gelişim açısından izlenmiştir. Denemeler iki kez tekrarlanmış ve elde edilen gövde, kök yaş ve kuru ağırlık değerleri, sırasıyla, Tablo 4, 5, 6 ve 7’de belirtilmiştir.

Tablo 4. Bakteri uygulamalarının tuz stresi altındaki domates çeşitlerinde gövde yaş ağırlığına etkisi

Domates çeşidi	İzolat no	Birinci deneme gövde yaş ağırlık (g) sonuçları*		İkinci deneme gövde yaş ağırlık (g) sonuçları*		İki denemenin ortalaması*	
		0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl
Syngenta 33	K-	26,244 abcd**	24,092 abcd	14,748 d	30,608 abc	20,496	27,350
	67	27,342 abcd	23,000 bcd	25,538 bc	32,815 ab	26,440	27,908
	121	28,444 abc	26,952 abcd	27,044 abc	33,784 a	27,744	30,368
	302	21,404 cd	26,712 abcd	26,114 bc	31,360 abc	23,759	29,036
SC 2121	K-	25,248 abcd	20,306 d	28,046 abc	30,282 abc	26,665	25,294
	67	29,146 ab	30,400 ab	25,026 c	32,364 ab	27,086	31,382
	121	27,034 abcd	30,442 a	28,328 abc	32,120 abc	27,681	31,281
	302	26,724 abcd	27,626 abcd	28,082 abc	28,382 abc	27,403	28,004

*Değerler her birinde 1 bitki bulunan 5 tekrerrüt ortalamasıdır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.

Gövde yaş ağırlık değerlerinin iki deneme ortalamasına bakıldığında ; uygulama görmemiş negatif

kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında tüm bakteri uygulamaları, her iki domates çeşidinde de tuz stresi varlığında ve yokluğunda gövde yaş ağırlığını artırmıştır (Tablo 4).

Tablo 5. Bakteri uygulamalarının tuz stresi altındaki domates çeşitlerinde kök yaş ağırlığına etkisi

Domates çeşidi	İzolat no	Birinci deneme kök yaş ağırlık (g) sonuçları*		İkinci deneme kök yaş ağırlık (g) sonuçları*		İki denemenin ortalaması*	
		0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl
Syngenta 33	K-	1,160 ab **	1,536 ab**	1,526 de**	2,800 ab**	1,343	2,168
	67	1,532 ab	0,904 b	1,290 e	1,976 bcde	1,411	1,440
	121	1,252 ab	1,978 a	1,680 de	2,640 abc	1,466	2,309
	302	1,374 ab	2,062 a	3,112 a	3,036 a	2,243	2,549
SC 2121	K-	1,276 ab	0,862 b	1,832 cde	2,210 abcde	1,554	1,536
	67	1,246 ab	1,792 ab	1,936 bcde	1,932 bcde	1,591	1,862
	121	1,358 ab	1,492 ab	1,644 de	1,642 de	1,501	1,567
	302	1,462 ab	0,876 b	2,774 ab	2,314 abcd	2,118	1,595

*Değerler her birinde 1 bitki bulunan 5 tekrür ortalamasıdır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.

Kök yaş ağırlık değerlerinin iki deneme ortalamasına bakıldığında ; uygulama görmemiş negatif kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında tüm bakteri uygulamaları, her iki domates çeşidinde tuz stresi varlığında kök yaş ağırlığını artırmıştır (Tablo 5). Tuzluluk stresi altında, bakteri uygulamaları SC2121 domates çeşidine oranla, Syngenta 33 çeşidinde negatif kontrolden daha iyi kök biyoması oluşturmuş, en başarılı bakteri uygulamasının 302 nolu uygulama olduğu saptanmıştır.

Tablo 6. Bakteri uygulamalarının tuz stresi altındaki domates çeşitlerinde gövde kuru ağırlığına etkisi

Domates çeşidi	İzolat no	Birinci deneme gövde kuru ağırlık (g) sonuçları*		İkinci deneme gövde kuru ağırlık (g) sonuçları*		İki denemenin ortalaması*	
		0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl
Syngenta 33	K-	2,922 abcd**	2,968 abcd**	1,846 d**	3,036 ab**	2,384	3,002
	67	3,402 abc	2,564 cde	2,206 cd	3,028 ab	2,804	2,796
	121	3,586 ab	2,934 abcd	2,556 abc	3,146 a	3,071	3,040
	302	2,426 de	3,730 a	2,590 abc	3,188 a	2,508	3,459
SC 2121	K-	2,746 bcde	2,014 e	2,392 bcd	2,376 bcd	2,569	2,195
	67	3,464 abc	3,404 abc	2,140 cd	2,622 abc	2,802	3,013
	121	3,242 abcd	3,356 abc	2,356 bcd	2,438 bcd	2,799	2,897

	302	3,078 abcd	2,766 bcde	1,992 cd	2,470 bcd	2,535	2,618
--	-----	------------	------------	----------	-----------	-------	-------

*Değerler her birinde 1 bitki bulunan 5 tekrerrüt ortalamasıdır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.

Gövde kuru ağırlık değerlerinin iki deneme ortalamasına bakıldığında ; uygulama görmemiş negatif kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında Syngenta33 domates çeşidinde tuz stresi varlığında 121 ve 302 nolu bakteri uygulamaları gövde kuru ağırlığını artırmıştır (Tablo 6). Genel olarak, en başarılı bakteri uygulamaların 121 ve 302 nolu uygulamalar olduğu dikkati çekmiştir.

Tablo 7. Bakteri uygulamalarının tuz stresi altındaki domates çeşitlerinde kök kuru ağırlığına etkisi

Domates çeşidi	İzolasyon no	Birinci deneme kök kuru ağırlık (g) sonuçları*		İkinci deneme kök kuru ağırlık (g) sonuçları*		İki denemenin ortalaması*	
		0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl	0mM	40mM NaCl
Syngenta 33	K-	0,238 c**	0,250 c**	0,204 bc**	0,330 abc**	0,221	0,290
	67	0,304 c	0,202 c	0,148 c	0,272 abc	0,226	0,237
	121	0,346 bc	0,316 c	0,198 bc	0,328 abc	0,272	0,322
	302	0,224 c	1,060 a	0,376 ab	0,364 ab	0,300	0,712
SC 2121	K-	0,274 c	0,324 c	0,200 bc	0,250 bc	0,237	0,275
	67	0,376 bc	0,372 bc	0,198 bc	0,226 bc	0,287	0,299
	121	0,382 bc	0,366 bc	0,182 bc	0,196 bc	0,282	0,281
	302	0,294 c	0,670 b	0,290 abc	0,470 a	0,292	0,570

*Değerler her birinde 1 bitki bulunan 5 tekrerrüt ortalamasıdır

** Duncan test sonucuna göre aynı harfi taşıyan değerler P=0.05 olasılıkla birbirinden farklıdır.

Kök kuru ağırlık değerlerinin iki deneme ortalamasına bakıldığında ; uygulama görmemiş negatif kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında tüm bakteri uygulamaları, her iki domates çeşidinde de tuz stresi varlığında 302 nolu bakteri uygulaması kök kuru ağırlığını artıran en başarılı uygulama olmuştur (Tablo 7).

Genel olarak bakıldığında ; tuz stresi altındaki domates bitkilerinde bakteri uygulamaları bitki kuru ağırlığını (kök + gövde) artırma konusunda tuza tolerant çeşit olarak seçilen Syngenta33'de hassas domates çeşidi olan SC2121'e oranla daha başarılı bulunmuştur. Bakteri uygulamalarının tuz stresi varlığında ve yokluğunda toplam bitki kuru ağırlığına etkisi değerlendirildiğinde; 302 nolu bakteri uygulamasının 40mM tuz stresi varlığında uygulama görmemiş kontrol bitkilerine oranla bitki kuru ağırlığını artırdığı, bunu 121 ve 67 nolu izolatların izlediği dikkati çekmektedir.

Tuza tolerans gösteren bakteri izolatlarının moleküler tanı sonuçları

In vitro ve in vivo denemelere (PGPR aktivite ve tuz stresi) göre seçilen 3 adet bakteri izolatının moleküler tanısında 16s rRNA hedef bölgesine göre dizayn edilmiş, universal primer çiftleri kullanılmıştır (Hodkinson ve Lutzoni 2009). Elde edilen PCR ürünleri sekans analizine gönderilmiş ve sekans sonuçları NCBI veri tabandaki bilgiler ile karşılaştırılarak bakteri izolatları tanımlanmıştır. Sekans sonucunda, 302 numaralı izolatın bu çalışmada tuz stresine karşı en etkili bakteri izolatı olduğu bulunmuş ve Pantoea vagans olarak tanımlanmıştır. Sekans analizi sonucunda; 121 numaralı izolatın Acinetobacter calcoaceticus ve 67 numaralı izolatın Pantoea ananatis olduğu saptanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Çalışmada tuzluluk stresine karşı başarılı bulunan bakteri izolatlarının sekans analizi sonuçları

Izolat kodu	Türü / izolat no	NCBI erişim numarası
FO67	Pantoea ananatis strain KD20/2	PQ009206
FO121	Acinetobacter calcoaceticus strain KD40/2	PQ009214
FO302	Pantoea vagans strain KD120/1	PQ009608

Endofitler, sağlıklı bitkilerin iç dokularını kolonize eden genellikle zararsız mikroorganizmalardır. Bitki büyümesini teşvik etmelerinin yanında bitkilerdeki biyotik ve abiyotik streslerle başa çıkma ve tolere etme konusunda da başarılı bulunmaktadır (Vaishnav et al., 2019). Bitkilerde biyotik ve abiyotik stresle başa çıkmada bakteriyel endofitlerden yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada, abiyotik stres kaynağı olarak tuzluluk seçilmiş ve laboratuvar stoklarımızda bulunan ve IAA üretme, siderofor salgılama, fosfatı parçalama, ACCD⁻ gibi in vitro bitki gelişimin artırma parametreleri açısından başarılı bulunan bakteri izolatları in vitro ve in vivo testlerle domatest tuzluluk stresine karşı denenmiştir.

Bitki biyokütlesini ve stres toleransını arttırmak için ACC deaminaz üreten bakterilerden yararlanılmaktadır. Bitkilerden tuz stresinin neden olduğu etilen emisyonu, ACC deaminaz (ACCD) aktivitesi olan bakterilerin aşılmasıyla azaltılabilir. Bu bakteriler Tuz stresi altındaki bitki hücresinde etilen emisyon yolunun düzenlenmesi yoluyla tuzun neden olduğu apoptozu (planlı hücre ölümü) kısıtlayarak ve bitkide yaşlanmayı geciktirerek fizyolojik, biyokimyasal ve genetik yoldan stres gidermede işe yaramaktadır (Choudhury et al., 2023). ACCD⁺ çok yönlü bitki büyümesini teşvik eden PGPB'ler pirinç köklerinde hücre canlılığının artırılmasında yaşlanmayla ilişkili protein (SAP) mRNA ekspresyonu, ACCD enzimiyle koordineli biçimde yukarı doğru düzenlenmiştir. Böylece, PGPB tarafından Etilen emisyonu düzenlenerek stresin hafifletilmesi sağlanmakta ve apoptozun kısıtlanması yoluyla bitki biyokütlesinin artırılmasında merkezi rol oynamaktadır. Bu sonuçlar, laboratuvar stoklarımızdan seçilen ve domates bitkisinde yaratılan tuzluluk stresine karşı in vitro ve in vivo testlerde en başarılı bulunan 67 nolu *P. ananatis*, 121 nolu *A. calcoaceticus* ve 302 nolu *P. vagans* bakteri izolatlarının ACCD⁺ özelliklerinin belirgin olması, 400 ppm'in üzerinde IAA salgılaması ve siderofor salgılama özelliklerinin bulunması nedeniyle, tuzluluk stresine karşı bu özelliklerin doğru seçme kriterinin olduğunu kanıtlamıştır.

Sonuç olarak; özellikle, bakteriyel izolatların ACCD⁻, siderofor salgılama, IAA üretme ve kaya fosforunu parçalama gibi in vitro PGPR özellikleri tuzluluk stresine karşı başa çıkma konusunda iyi birer seçme kriteri olmuştur.

Sonuç Ve Öneriler

Tuzluluk, küresel gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit eden en yaygın ve önemli problemlerden biridir ve tahminler 2050 yılına kadar tüm ekilebilir arazilerin %50'sinin tuzluluktan etkileneceğini öngörmektedir. Tuzlanma verimli bir araziye çorak hale getirir; bitki örtüsünü ve tüm canlıları olumsuz olarak etkiler.

Tuzluluk stresine karşı bitki gelişimini artıran bakterilerin (PGPR) kullanımı umut vericidir. Bu bakteriler tuzlu toprağın aynı anda ıslahı ve verimliliğinin artırılması için uygundur. Tuza dayanıklı bakteriler, bitkilerde tuz stresine karşı başa çıkmak için fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmaları kullanırlar. Bu mekanizmalar; iyon dengesini, osmotik basınç dengesini ayarlamayı, serbest radikalleri temizleyen enzimleri üreterek serbest radikallerde korunmayı ve oksidatif stresi içerir.

Bu çalışmada yararlı bakterilerden, özellikle, 302 nolu *P. vagans* izolatı, 121 nolu *A. calcoaceticus* ve

67 nolu *P. ananatis* izolatu 40 mM tuz konsantrasyonunda tuzluluğa hassas ve tolerant domates çeşitlerinde bitki yaş ve kuru ağırlığını, her iki deneme sonucunda, uygulama görmemiş pozitif kontrole (40 mM tuz stresi) oranla başarıyla artırmıştır. Üstelik bu bakteriler tuz stresi altındaki bitkilerde bitki yaş ve kuru ağırlığını tuz stresi olmayan negatif kontrol bitkileri ile kıyaslandığında da artırmayı başarmıştır.

Bu stresle başa çıkmada çeşit dayanıklılığı da önemlidir ve bu çalışmada farklı domates çeşitlerinin tuza reaksiyonu farklı olmuştur ve tuz stresiyle başa çıkmada dayanıklı çeşit seçimi önemli olabilir.

In vitro PGPR testleri tuza tolerant bakterilerin seçiminde anahtar rol oynayabilir. Bunlar arasında ACCD, siderofor ve IAA üretimi testlerinin önemi bu çalışmada da kanıtlanmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada denenen PGPR olarak nitelendirilen ve bitki gelişimini verimini artıran bu bakteriler sadece abiyotik strese karşı değil, bitki patojenleri ile biyolojik mücadelede ve bitki zararlısı böceklerle karşı entomopatojen olarak da başarı göstermektedir. Entegre mücadele yaklaşımıyla bu bakterilerden birden fazla alanda yararlanılabilir.

Sonuç olarak bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin (PGPB) uygulanması, bitkinin abiyotik streslere karşı toleransını iyileştirmek için çevre dostu bir stratejidir. Bu çalışmada tuzluluk stresine karşı başarılı bulunan bakterilerin üretici koşullarında denenmesi ve etkili bulunanların uygun biyoformülasyonlarının elde edilmesi tarımsal üretim açısından çok yararlı olabilir.

Teşekkür

Bu projenin gerçekleşmesinde önemli yer alan Prof. Dr. Hatice ÖZAKTAN, müsaitliği, tavsiyeleri ve değerli yardımları için teşekkür ediyorum.

Elde edilen verilerin analizi ve istatistiklerindeki yardımları için, Dr. Utku ŞANVER'e de teşekkür ediyorum.

Kaynakça

Bai Y., Zhou Y., Yue T., Huang Y., He C., Jiang W., Liu H., Zeng H., Wang J., Plant growth-promoting rhizobacteria *Bacillus velezensis* JB0319 promotes lettuce growth under salt stress by modulating plant physiology and changing the rhizosphere bacterial community.

Environmental and Experimental Botany, 213: 105451, 2023.

Bertrand, H., Nalin, R., Bally, R., Cleyet-Marel, J.C. Isolation and identification of the most efficient plant growth-promoting bacteria associated with canola (*Brassica napus*). *Biol Fertil Soils*, 33, 152-156, 2001.

Bric, M.J., Bostock, R.M., Silverstone, S.E. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. *Applied and Environmental Microbiology*. 555-538, 1991.

Bhat M.A., Kumar V., Mudasir Ahmad, Bhat M. A., Wani I. A., Dar F.L., Farooq I., Bhatti F., Koser R., Rahman S., Jan A. T., Mechanistic insights of the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with plant roots toward enhancing plant productivity by alleviating salinity stress. *Front. Microbiol.* 1, 2020.

Bouchra, (4 janvier 2023). Production mondiale de tomates en 2020. Hortimedia.
Hortimedia- : l'actualité des fruits et légumes pour le Maroc. <https://hortimedia.ma/production-mondiale-de-tomates-en-2020>.

Choudhury A. R, Trivedi P., Madhaiyan M., Choi J., Choi W., Park J., Walitang D. I., Sa T., ACC deaminase producing endophytic bacteria enhances cell viability of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress by regulating ethylene emission pathway.

Environmental and Experimental Botany, 213: 105411, 2023.

Dworking, M.F., Foster, J. Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen. *J.Bacteriol.* 75, 592-601, 1958.

Fischer, G., F.N. Tubiello, H. van Velthuisen, and D.A. Wiberg, Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 74, 1083-1107, 2007.

Hajiabadi, A., Arani M., Etesami, H., Salt-tolerant genotypes and halotolerant rhizobacteria: a potential synergistic alliance to endure high salinity conditions in wheat. *Environ. Exp. Bot.* 202, 105033, 2022.

Hodkinson, B. & Lutzoni, F., A microbiotic survey of lichen-associated bacteria reveals a new lineage from the Rhizobiales. *Symbiosis* 49: 163–180, 2009.

Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçi, E., THE EFFECTS OF DROUGHT ON PLANTS AND TOLERANCE MECHANISMS. *G.U. Journal of Science* 18(4): 723-740, 2005.

King, E. O., Ward, M. K., Raney, D. E., Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein. *J. Lab. Clin. Med.* 44, 301-307, 1954.

La Mauritanie ambitionne de développer sa production nationale en légumes (15 octobre 2021). Les Panafricaines. <https://lespanafricaines.com/Ing/fr/2021/10/15/la-mauritanie-ambitionne-de-developper-sa-production-nationale-en-legumes>.

Lelliot, R.A., Stead, D.E., Methods for Diagnosis of Bacterial Diseases of Plants. *Blackwell Scientific Publications*, 216 p, 1987.

Lim, J., Kim, S., Induction of Drought Stress Resistance by multi-functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in pepper. *Plant Pathology Journal*, 29(2), 201–208, 2013.

Lu L., Chang M., Han X., Wang Q., Wang J., Yang H., Guan Q. and Dai S., Beneficial effects of endophytic *Pantoea ananatis* with ability to promote rice growth under saline stress. *Journal of Applied Microbiology* 131, 1919—1931, 2021.

Mishra, A., & Tanna, B., Halophytes : ressources potentielles pour les gènes et les promoteurs de tolérance au stress salin. *Frontières en sciences végétales*, 8, 2017.

Patel P., Gajjar H., Joshi B., Krishnamurthy R., Amaresan N., Inoculation of Salt-Tolerant *Acinetobacter* sp (RSC9) Improves the Sugarcane (*Saccharum* sp. Hybrids) Growth Under Salinity

Stress Condition. Sugar Tech 24(2):494–501, 2022.

Penrose, D.M., Glick, B.R., Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth promoting rhizobacteria. *Physiol. Plant.* 118:10-15, 2003.

Ramadoss, D., Lakkineni, V.K., Bose, P., Ali S., and Annapurna, K., Mitigation of salt stress in wheat seedlings by halotolerant bacteria isolated from saline habitats. *SpringerPlus* 2-6, 2013.

Sahab, S., Suhani, I., Srivastava, V., Chauhan, P.S., Singh, R.P., Prasad, V., Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: current status and management strategies. *Sci. Total Environ.* 764, 144164, 2021.

Sarma R. K. ve Saikia R., Alleviation of drought stress in mung bean by strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. *Plant Soil* DOI 10.1007/s11104-013-1981-9, 2013.

Schaad, N., Jones, J., Chun, W., Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. 3. Baskı ed., *APS press.* 543p, 2001.

Schwyn, B., Neilands, J.B., Universal chemical assay for detection and determination of siderophores. *Anal. Biochem.* 160, 47-56, 1987.

Shrivastava, P. and Kumar, R Soil Salinity: A Serious Environmental Issue and Plant Growth Promoting Bacteria as One of the Tools for Its Alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22, 123-131, 2015.

Tahmish F., Naveen K. A., Structural, compositional characterization of novel exopolysaccharide from halotolerant strain of *Pseudomonas entomophila* PE3 and their role in growth promotion of sunflower under saline condition. *Environmental and Experimental Botany*, 213:105418, 2023.

Performance Analysis of OTFS-IM: Impact of Doppler Units and Sampling Rate on System Efficiency

Hussam Alsalameh¹, Ibrahim Develi², Busra Karahan³

Abstract

In recent advancements, Orthogonal Time Frequency Space (OTFS) schemes have evolved to include Index Modulation (IM), offering potential improvements in communication systems, particularly for next-generation technologies. This paper explores how OTFS-IM compares to its predecessors, OTFS and OFDM-IM, highlighting the benefits of enhanced spectral and energy efficiency. However, for practical applications, several performance factors must be analyzed. By evaluating these systems under 3GPP-defined tapped delay line fading channels, and varying parameters like the Doppler units' number and sampling rates, this study aims to provide insights into their operational challenges. Specifically, we use a Minimum Mean Squared Error (MMSE) detector for OTFS-IM and assess the Average Bit Error Rate (ABER). Findings indicate that increasing the number of Doppler units leads to a noticeable decline in system performance. Additionally, we examine variations in sampling rate and find that increasing the sampling rate leads to a decline in overall system performance.

Keywords: OTFS-IM, ABER, Doppler units, performance analysis.

Discipline: Electrical-Electronics engineering.

Introduction

Due to the growing need for high-speed wireless mobile communications within limited bandwidth, researchers are actively exploring new and adaptable alternatives to current communication systems [1]. In recent years, Orthogonal Time Frequency Space (OTFS) modulation has gained attention as a promising technique for next-generation communication systems, particularly in high-mobility environments where traditional methods like Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) encounter limitations. The combination of Index Modulation (IM) with OTFS, known as OTFS-IM, further amplifies its potential by enhancing both spectral and energy efficiency. This innovative approach offers considerable advantages over previous techniques, including OTFS and OFDM-IM, especially in scenarios with fast-changing channel conditions. However, to fully capitalize on these benefits, it is crucial to understand the impact of key parameters such as Doppler unit count and system sampling rate on the overall performance of OTFS-IM. A new multi-carrier modulation scheme, known as OFDM-SNM, is presented in [2]. This scheme conveys information through both symbols and the number of active subcarriers in each subblock, rather than using their indices. The study in [3] explores the potential and application of Index Modulation (IM) techniques in MIMO and multi-carrier communication systems, which are anticipated to be among the core technologies for 5G networks. The discussion covers recent advancements in IM technologies and outlines future research directions aimed

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erciyes University, Kayseri, Türkiye

² Department of Electrical and Electronics Engineering, Erciyes University, Kayseri, Türkiye

³ Department of Electrical and Electronics Engineering, Nuh Naci Yazgan University, Kayseri, Türkiye

at achieving spectrum and energy efficiency in 5G wireless networks. In [4] it is examined how the subcarrier activation ratio, subblock size, and QAM modulation order influence energy savings, spectral efficiency, and BER performance in an OFDM-IM system. The findings demonstrate that higher energy savings are obtained with lower values of subcarrier activation ratio (r) and modulation order (M), while in most cases, the opposite holds true for spectral efficiency in IM, with a few exceptions. In study [5], to achieve a more favorable balance between complexity and BER performance, it is introduced a simplified Subcarrier Allocation (SA) algorithm that sorts the subcarriers based on their channel gains. In [6], the study examines the performance of OTFS modulation when antenna selection is applied at the receiver. Specifically, n_s antennas are selected from n_r available receive antennas based on the maximum channel Frobenius norms in the delay-Doppler (DD) domain. Simulation results are provided to confirm the analytically predicted diversity gains. To meet the stringent demands of future communication systems, improved reliability in OTFS systems is essential. In response to this challenge, a technique named Joint Delay-Doppler Index Modulation OTFS (JDDIM-OTFS) is introduced in [7]. This approach involves activating either delay or Doppler resource elements within a subframe, and to enhance spectral efficiency, different constellations are applied to each active resource block. This study seeks to examine the impact of key parameters, such as the Doppler unit count and system sampling rate, on the performance of OTFS and OTFS-IM. The analysis is conducted by observing the system's behavior under realistic fading conditions.

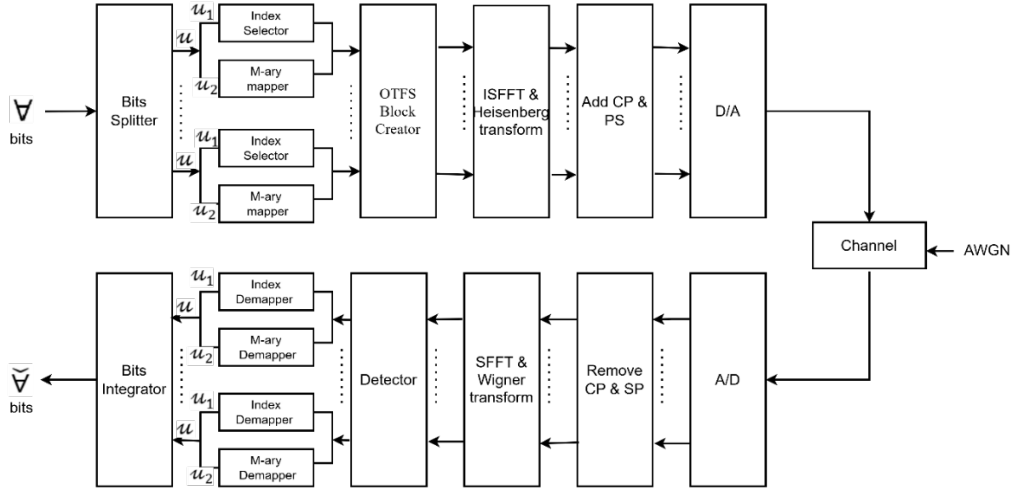
This study is organized as follows: Section II provides an overview of the OTFS-IM system. In Section III, we analyze the OTFS-IM system under different Doppler unit counts and system sampling rates. Finally, Section IV presents our conclusions based on the analysis.

Section II

OTFS-IM Model

The OTFS-IM system in the provided Fig.1 illustrates the overall process of data transmission and reception, showcasing how OTFS-IM enhances spectral efficiency through index modulation techniques. Starting with the transmitter, the information bits V at the transmitter are partitioned into g groups, with each group mapped to a vectorized OTFS subblock. Each subblock comprises t points in the DD domain, where the subblock size is determined by MN/g , defined by the number of delay bins N along the delay dimension and Doppler bins M along the Doppler dimension.

Figure1: Block diagram of the OTFS-IM system.



The transmission process begins with the input data $\forall$ being segmented by a Bit Splitter into smaller portions. These segments are processed by two critical components: Index Selection and M-ary Modulation. The first bit stream, containing u_1 bits, is passed to an Index Selector that activates k indices out of the t available indices for each subblock. The chosen active indices are denoted as:

$$i=\{i,1,,i,k\} \quad (1)$$

where $i,1,,t$ for $= 1,,g$ and $= 1,,k$. The number of index bits for all subblocks can be given by

$$U1=u1g=\lfloor Ct,k \rfloor g. \quad (2)$$

Here, Ct,k denotes the number of combinations to choose k items from a set of t , and $\lfloor \rfloor$ represents the floor function. The complex M -ary symbols map with the second bit stream consisting of u_2 bits. The total amount of bits conveyed through the symbols in the M -ary signal constellation is:

$$U2=u2g=kM \bmod g. \quad (3)$$

The overall number of active positions is $K = kg$, and the OTFS-IM system transmits a total of $u=U1+U2$ bits. Each subblock of the modulated symbols is represented as:

$$t=t1,,tk, \quad (4)$$

where tT , and T represents the complex signal constellation with a size of $M \bmod$ with power $P=Est/k$, where Es is the average transmitter power and t/k denotes the power coefficient.

Following selecting activation bits and modulating information bits, the OTFS creator block generates all subblocks, considering i and t for all T . Subsequently, all the subblocks transmitted in the DD domain within the XDD block can be represented as [3]:

$$XDD=x1,1 \ x1,N \ \vdots \ xM,1 \ xM,N, \quad (5)$$

where $xk,l \in [0,Q]$, $k=0,,N-1$, and $l=0,,M-1$. These symbols are subsequently transformed into the TF domain using the ISFFT transform. The resulting transformed matrix can be represented as:

$$XFT= FM XDD FNH, \quad (6)$$

here, $XFTCMN$, $FM = 1Me-j2PgMMM$, and $FN = 1Ne-j2PgNNN$. The notation $.H$ expresses the conjugate transpose of a matrix, and FN and FM represent matrices produced by discrete Fourier transform (DFT). In the TF domain, sampling is performed on an NM grid with a time

interval T and a frequency interval f . A conventional frequency-time modulator transforms the symbols in the matrix X into 1D transmission signals. The final transmitted symbol, represented by T , can be expressed as:

$$T = FMH XFT. \quad (7)$$

Finally, a cyclic prefix (CP) is added by ACPCM+NCPM and the 1D transmit signal $w_{CM+NCPN1}$ is obtained by:

$$t = \text{vec}\{ACPT\}. \quad (9)$$

Here, the operation vec transforms a matrix into a vector.

At the receiver, the signal t , represented as $o = H t$ where H is the channel matrix and s represented as a matrix $o_{CM+NCPN1}$, is rearranged into a matrix $OCM+NCPN$ to account for the time-varying channel. Subsequently, the CP is removed with the CP removal matrix $OCPCMM+NCP$. This results in the extraction of the OTFS-IM symbols $OCPO$ without CPs. Then, the DFT is applied to each OTFS-IM symbol without CPs, resulting in a 2D block YFT in the time-frequency domain as:

$$YFT = FMOCPO. \quad (10)$$

Next, to get the signal in DD domain the SFFT is applied on YFT , resulting in the following:

$$YDD = FMHYFTFN. \quad (11)$$

The received signal of all the system is expressed as:

$$yDD = H xDD + n \quad (12)$$

where $yDD = \text{vec}\{YDD\}_{CMN1}$, and n_{CMN1} represents the additive white Gaussian noise (AWGN).

Section III

System Performance Analysis

The OTFS-IM system detects indices and symbols separately. These steps can be regarded as distinct from one another. Given the delivered signal W , the pairwise error probability is expressed as:

$$Pr_H = \Pr\{|yDD - PTH|_2 > |yDD - PTH|_2\} \quad (13)$$

Here, $\Pr(\cdot)$ represents the probability of an event. Using equation (11), the Average Bit Error Rate (ABER) can be derived from v

$$ABER_{1tg2vj} = 1gwwPrHeT,T, \quad (14)$$

Where eT,T denotes the number of error bits associated with pairwise error event of j th subblock.

Table 1: The parameters used in the simulation

Parameter	Value
Mobility speed (kmph)	300
Carrier frequency (GHz)	4
V_{max} (Hz)	1850
Channel model	TDL

Channel delay spread (ns)	300
Number of paths	20
Antenna configuration	1T1R
Modulation scheme	BPSK

Simulation Results

This section examines the OTFS-IM system's performance across different sampling rates and Doppler units counts, specifically varying the number of subcarriers from 1 to 3. We explore a scenario in which the ABER is evaluated against the Signal-to-Noise Ratio (SNR) for the OTFS-IM system under an allocated power (P). The transmitted beams maintain a steady SNR using Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation. For detection, the Minimum Mean Squared Error (MMSE) detector is employed. The simulation parameters and their corresponding values can be found in Table 1.

Figure 2: OTFS system with varying sampling rates.

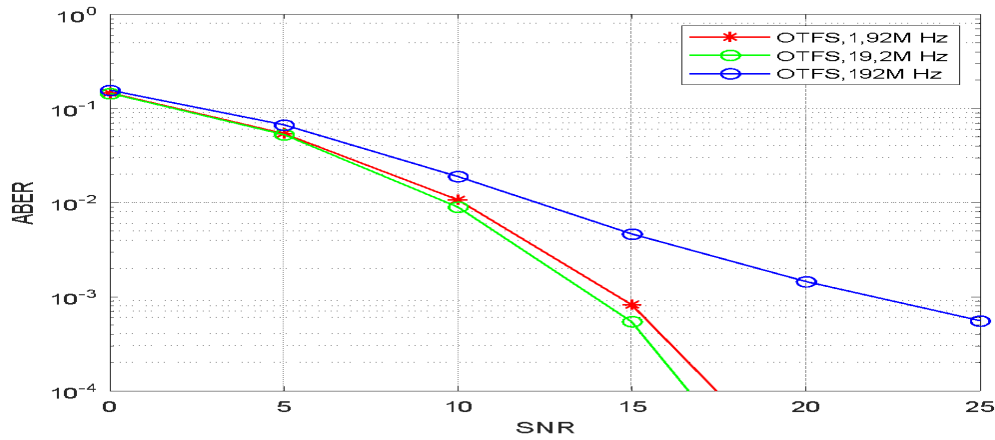


Figure 2 illustrates the performance of the OTFS system under different sampling rates. Notably, the system performs better at lower sampling rates, while higher rates lead to a decline in performance. It is observed that the system's performance is comparable when the sampling rates are 19,2M Hz and 1,92M Hz. In Figure 3, the performance of OTFS-IM is compared with OFDM-IM across varying numbers of Doppler units and subcarriers. The results show that OFDM-IM performance improves significantly as the number of subcarriers (K_s) decreases. On the other hand, OTFS-IM maintains relatively stable performance when the number of Doppler units changes.

Figure 3: OFDM-IM and OTFS-IM systems with varying numbers of subcarriers and Doppler units.

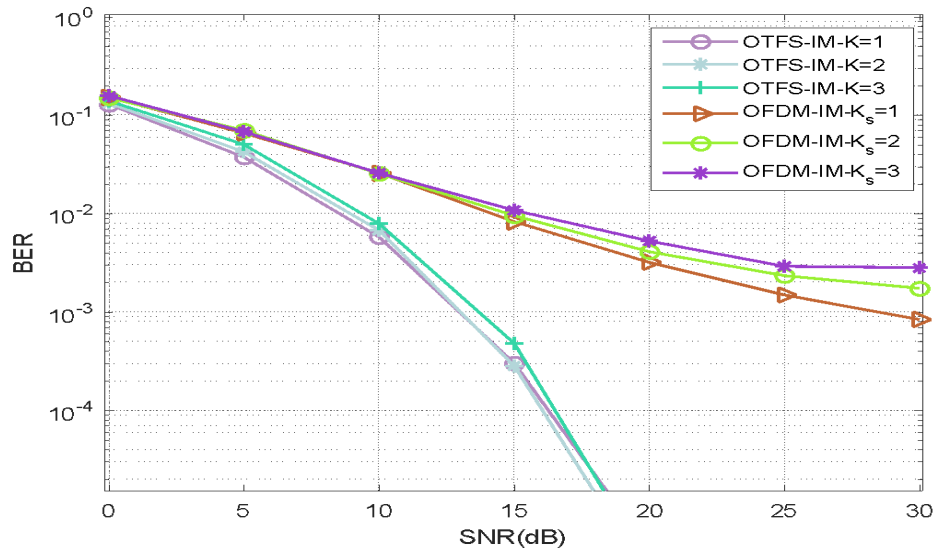
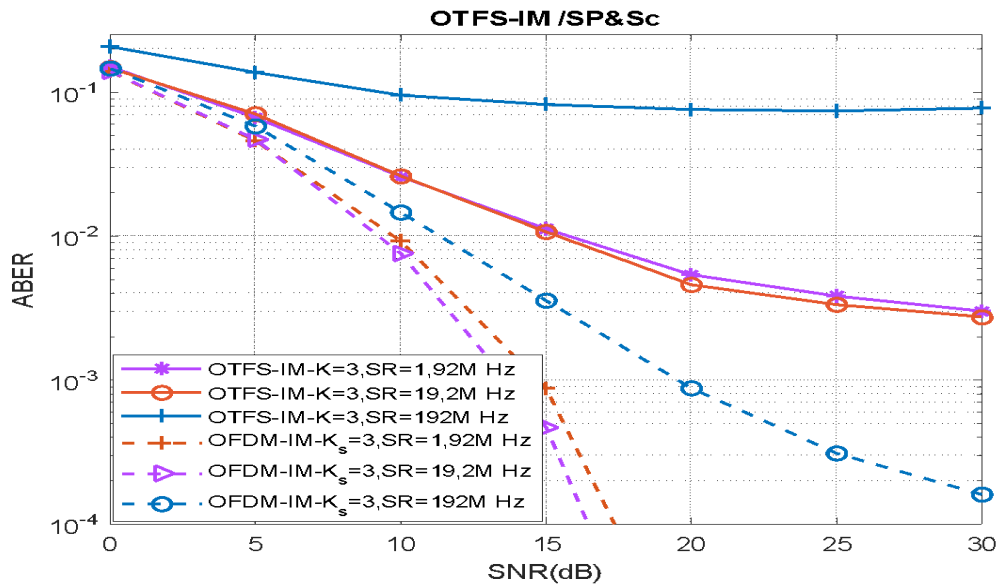


Figure 4 compares the performance of OTFS-IM and OFDM-IM, keeping the number of subcarriers and Doppler units fixed at 3 while varying the sampling rate. Similar to the performance observed in Figure 2 for OTFS, both systems exhibit degraded performance at higher sampling rates and improved performance at lower rates.

Figure 4: A comparison between OFDM-IM and OTFS-IM systems with varying numbers of subcarriers and Doppler units.



Section IV

Conclusion

In conclusion, the analysis demonstrates that both OTFS and OTFS-IM systems perform more efficiently at lower sampling rates, with performance diminishing as the sampling rate increases. OTFS-IM shows stable behavior under varying Doppler units, while OFDM-IM sees improvements as the number of subcarriers decreases. These findings were evaluated using a 3GPP-defined tapped delay line fading channel, offering practical insights into real-world performance. In future research, a deeper exploration of system parameter optimization for varying channel conditions and mobility scenarios could be pursued. Furthermore, investigating hybrid techniques that leverage the advantages of both OTFS-IM and OFDM-IM could unlock new possibilities for improving system performance in environments with high mobility.

References

- [1] Xiaohu You, Cheng-Xiang Wang, Jie Huang, Xiqi Gao, Zaichen Zhang, Mao Wang, Yongming Huang et al., "Towards 6G wireless communication networks: Vision enabling technologies and new paradigm shifts", *Science China Information Sciences*, vol. 64, pp. 1-74, 2021.
- [2] A. M. Jaradat, J. M. Hamamreh and H. Arslan, "OFDM With Subcarrier Number Modulation," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 6, pp. 914-917, Dec. 2018.
- [3] E. Basar, "Index modulation techniques for 5G wireless networks," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 7, pp. 168-175, July 2016.
- [4] A. I. Siddiq, "Effect of Subcarrier Activation Ratio on the Performance of OFDM-IM over Rayleigh Fading Channel," in *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 6, pp. 1293-1296, June 2017.
- [5] Q. Ma, Y. Xiao, L. Dan, P. Yang, L. Peng and S. Li, "Subcarrier Allocation for OFDM With Index Modulation," in *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 7, pp. 1469-1472, July 2016.
- [6] V. S. Bhat, S. G. Dayanand and A. Chockalingam, "Performance Analysis of OTFS Modulation With Receive Antenna Selection," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 70, no. 4, pp. 3382-3395, April 2021.
- [7] Y. I. Tek and E. Basar, "Joint Delay-Doppler Index Modulation for Orthogonal Time Frequency Space Modulation," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 72, no. 7, pp. 3985-3993, July 2024.

Medicinal Plants as Biofactories: Utilizing Natural Defense Compounds for Enhanced Plant Protection

Ibrahim Isse Ali¹, Mohamed Said²

Abstract

Medicinal plants, revered for their therapeutic potential, possess sophisticated natural defense mechanisms critical in mitigating biotic and abiotic stressors. These plants produce a diverse array of secondary metabolites—such as alkaloids, flavonoids, terpenoids, and phenolic compounds—that serve as potent bioactive agents in deterring pathogens, herbivores, and environmental challenges. This study explores the potential of these plants as bio-factories for sustainable plant protection strategies, emphasizing their role in enhancing agricultural resilience while reducing reliance on synthetic agrochemicals. The findings reveal that the bioactive compounds extracted from medicinal plants significantly bolster plant immunity, resulting in a notable decrease in disease incidence and improved stress tolerance across various crops. By critically reviewing current methodologies for extracting and applying these compounds, the study highlights their efficacy in promoting plant health and resistance. Moreover, it discusses integrating these natural defense mechanisms into modern agricultural practices, advocating for innovative, environmentally sustainable approaches. This research advances our understanding of how medicinal plants can be leveraged to develop eco-friendly plant-protection solutions, thereby contributing to a more resilient and sustainable agricultural future and opening new avenues for research and practical application in sustainable agriculture.

Keywords: Medicinal plants, secondary metabolites, plant protection, sustainable agriculture, bioactive compounds.

Introduction

In recent decades, agricultural productivity has faced significant challenges due to environmental stressors, including loss of biodiversity [1, 2], climate change [3, 4], soil degradation and erosion [5], water scarcity [6], desertification [7], and detrimental human activities such as wars [8, 9] and overuse of chemicals, which result in pollution and the destruction of natural resources [10, 11]. Additionally, plant pests, diseases, and pathogens are global concerns hindering food security and agricultural sustainability [12]. According to FAO estimates, pests cause 20–40% of crop yield losses, while plant diseases cost the world economy over US\$220 billion annually [13]. Additionally, Evidence suggests that the control and spread of plant diseases and pests are increasingly influenced by a changing environment [14, 15]. In light of these challenges, traditional pest and disease management methods, which rely heavily on synthetic pesticides, must be reconsidered in favor of eco-friendly alternatives. Medicinal plants offer a promising solution to these issues, producing diverse bioactive compounds with natural defensive properties [16, 17]. The potential of medicinal plants as biofactories is particularly

¹ Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Selçuk University

² Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Field Crops, Erciyes University

significant to integrated pest management (IPM) strategies, which seek to increase plant resilience while reducing chemical inputs. Botanical pesticides and organic solutions that efficiently control pests and diseases without harming the environment can be produced by utilizing the natural defense components found in these plants. This paper investigates medicinal plants that can be utilized as natural defense compounds for enhanced plant protection. Additionally, it discusses the potential benefits and limitations of their broader use in agriculture. By viewing medicinal plants as biofactories, we can unlock new possibilities for crop protection that align with environmental and public health goals, ultimately contributing to resilient agricultural systems.

The Role of Medicinal Plants in Agricultural Sustainability

Medicinal plants are any plants that contain natural substances used to prevent, alleviate, or cure various diseases and health conditions [18]. The use of medicinal plants dates back to prehistoric times [19]. Evidence from fossil records indicates that early humans utilized various herbs for therapeutic purposes. For example, hollyhock (*Alcea rosea* L.) which is a therapeutic herb was used 60,000 years ago in Mesopotamia [20, 21]. In the Modern era, medicinal plants remain integral to healthcare, particularly in traditional and complementary medicine systems around the world [22, 23]. According to the WHO, approximately 80% of the global population relies on herbal medicine for some aspects of their health due to its availability and lower cost compared to modern medications [24]. WHO has also declared that nearly 25% of all modern medications used in the U.S. are derived from plants [25]. In the global market, China is the leading country in medicinal plant production, followed by India, Indonesia, Malaysia, Nepal, Pakistan, and other countries, as shown in **Table 1**.

The annual global trade in herbs exceeds \$100 billion. Approximately 2 to 4 billion US dollars are traded in medicinal plants between China and India annually [18]. Selling these natural medicinal herbs is a common source of income for some rural people.

Table 1. lists the number of plants used globally as medicinal [26]

Country	Plant Species	Medicinal Plant Species	%
China	26,092	4,941	18.9
India	15,000	3,000	20.0
Indonesia	22,500	1000	4.4
Malaysia	15,500	1,200	7.7
Nepal	6,973	700	10.0
Pakistan	4,950	300	6.1
Philippines	8,931	850	9.5
Sri Lanka	3,314	550	16.6
Thailand	11,625	1,800	15.5
USA	21,641	2,564	11.8
Vietnam	10,500	1,800	17.1
Average	13,366	1,700	12.5
World	422,000	52,885	12.53

Most medicinal plants are used in applications for antibacterial and antiviral purposes, anti-inflammatory and pain relief, digestive health, stress and anxiety relief, cardiovascular health, skin health, antioxidant and anti-aging, liver health and detoxification, respiratory health, diabetes and blood sugar control [27-31]. Various parts of plants can be used to make medicine, including leaves, roots, stems, seeds, bark, fruits, and even pollen, as illustrated in

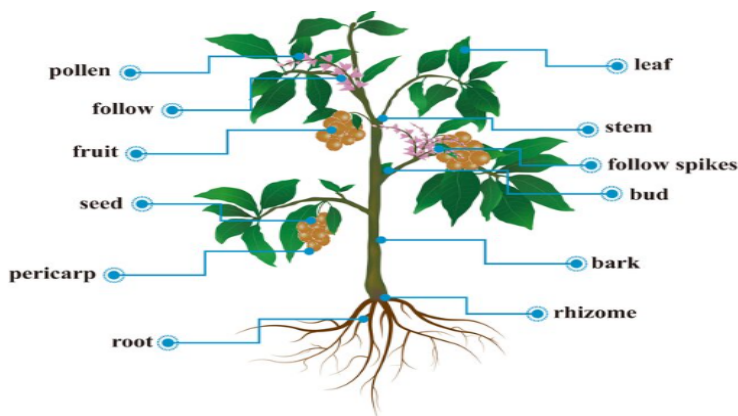
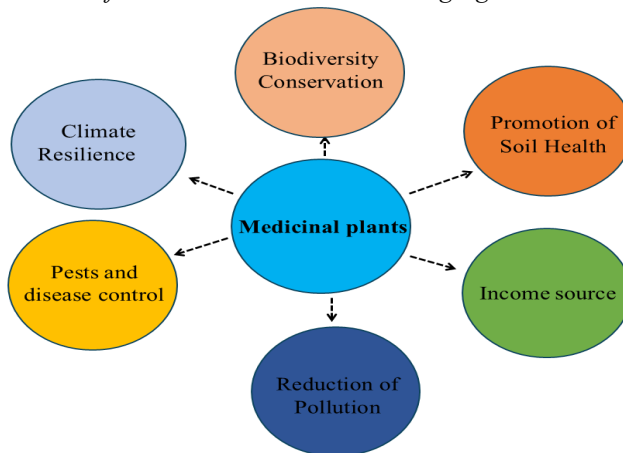


Figure 1. Diagram showing the medicinal components used as precursors in herbal medicine [32].

Cultivating medicinal plants promotes agricultural biodiversity and helps maintain diverse ecosystems [33]. Additionally, these plants contribute to soil health by improving organic matter, preventing erosion, degrading environmental contaminants, and reducing the need for synthetic fertilizers [34]. Furthermore, they provide an alternative income source for farmers living in rural areas [35, 36]. When used as biofertilizers, they can decrease dependency on synthetic chemicals, promoting healthier ecosystems and reducing environmental pollution. Moreover, medicinal plants often attract beneficial insects, such as bees and butterflies, which are essential for pollination [37, 38].

Figure 2. The Role of Medicinal Plants in Promoting Agricultural Sustainability.



As shown in Figure 2, cultivating medicinal plants can enhance climate resilience and serve as a form of biological control due to their hardy and adaptable characteristics. Additionally, these plants provide an alternative approach to chemical pesticides, contributing to sustainable agricultural practices.

The Application of Medicinal Plants in Plant Protection Strategies

Medicinal plants are a valuable source of herbal drugs, yet many species are rapidly disappearing [39]. However, they are becoming increasingly important tools in sustainable agriculture and integrated pest management strategies, which are among the most effective means to eradicate poverty [40-42]. These plants serve as natural "biofactories," producing a range of bioactive molecules that can replace synthetic chemicals, which often have adverse effects on human health and biodiversity in farming practices [43,

44]. Alkaloids, flavonoids, aldehydes, ketones, essential oils, phenolic compounds, saponins, and tannins are some bioactive compounds produced by medicinal and aromatic plants to inhibit plant pathogens and insects [45-47]. Pathogenic agents, including fungi, bacteria, and viruses, are among the most detrimental and harmful factors preventing us from achieving food security and agricultural sustainability. Soil fungal pathogens such as *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Sclerotinia*, and *Verticillium* possess resistant structures, including oospores, microsclerotia, sclerotia, and hyphae, which assist them in surviving in the soil for extended periods [48-52]. *Xanthomonas*, *Pectobacterium*, *Ralstonia*, *Agrobacterium*, and *Pseudomonas* species are among the most common bacterial pathogens, that cause wilt, soft rot, and damping-off in several crops, including beans, tomatoes, bananas, potatoes, apples, pears, strawberries, peanuts, and others [53-55]. Viruses, nematodes, Mycoplasmas, and Phytoplasmas can also induce diseases in plants in different ways. Controlling these pathogen agents without the use of pesticides and chemicals is essential to feeding the global population.

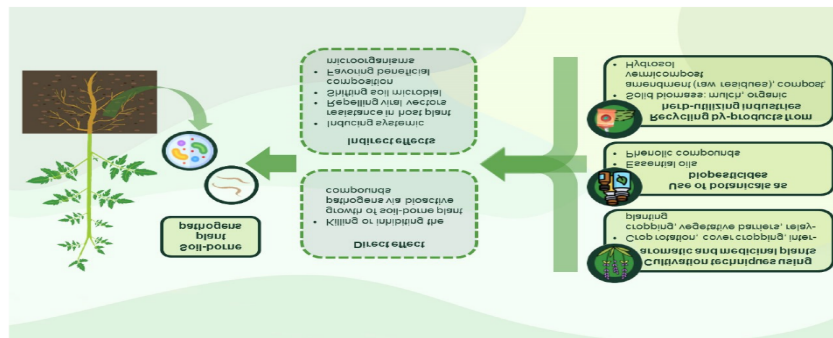


Figure 3. Effects and application strategies of aromatic and medicinal plants as plant protection systems [45].

Several researchers [43-45, 56] have highlighted that the use of medicinal plants can effectively combat soil- and seed-borne pathogens, which cause significant losses in horticultural and cereal crops globally. Thus, the application of medicinal plants offers a promising alternative to sustainable agricultural practices that can help ensure food security. Due to their bioactive compounds, medicinal and aromatic plants can influence plant pests and diseases through direct or indirect mechanisms. These mechanisms include inhibiting pest growth, inducing resistance genes, or secreting phytochemicals that repel pests [57, 58]. A study conducted in 2020 investigated the antibacterial and anti-quorum sensing (QS) properties of 14 extracts from aromatic and medicinal plants against *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap). The findings highlighted that *Syzygium aromaticum* demonstrated the most significant inhibition zone and the strongest antibacterial effects, antibiofilm activity, and anti-QS properties, followed by *Thymus vulgaris* and *Coriandrum sativum*. The researchers noted that these plant extracts could be effective tools for managing prevalent bacterial diseases in organic agriculture [59]. Another study reported that the essential oil from *Cinnamomum zeylanicum* exhibited highly effective antibacterial activity against *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* [60]. Basım et al. [61] evaluated the volatile oil extracted from *Origanum dubium*, an oregano species native to the natural flora of Antalya, against several pathogens, including *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, and *X. a. pv. phaseoli* var. *fuscans*. Pospelov et al. [62] examined extracts from *Achillea millefolium*, *Helichrysum arenarium*, *Hypericum perforatum*, *Calendula officinalis*, and *Hippophae rhamnoides* seeds, analyzing both whole extracts and lectin-free fractions. Their findings showed that both the complete extracts and isolated lectins inhibited the germination of *Ustilago nuda* teliospores. More than

30 volatiles from medicinal plants, including *Cymbopogon nardus* and *Dysphania ambrosioides*, were recently used to combat the root-knot nematode in a study conducted by de Freitas Silva et al. [63].

Table 2. Some Medicinal Plants, Their Bioactive Compounds, and Effectiveness in Plant Protection.

Medicinal plant	Bioactive compound	Diseases / Target Pathogens	Reference
Neem	Azadirachtin, salannin, and other limonoids	Insecticide against Lepidoptera, Hemiptera, Hymenoptera, and Neuroptera	[64, 65]
Clove	Eugenol	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> , <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>pruni</i> , <i>Fusarium</i> , and <i>Aspergillus</i> spp	[59, 66-68]
Garlic	Allicin	<i>Xanthomonas</i> spp., <i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , and <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	[69-71]
Turmeric	curcumin	<i>Ralstonia solanacearum</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora infestans</i> , and others.	[72, 73]
Eucalyptus	Eucalyptol, Terpenes	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Xanthomonas</i> and <i>Pseudomonas species</i>	[68, 74]
Aloe Vera	Aloins, Saponins	<i>Pythium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> , and <i>Xanthomonas campestris</i>	[74]
Lemongrass, Wild Turmeric, Patchouli, Wild Mint, and Ginger Grass	Citral, geraniol, methyl isoeugenol, Curcumin, demethoxycurcumin, pogostone, menthone, and limonene	<i>Ralstonia solanacearum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Magnaporthe oryzae</i> , and <i>Bipolaris oryzae</i>	[75]

So, utilizing medicinal and aromatic plants as biological control can contribute to agricultural sustainability and organic farming without loss of biodiversity and without destroying the environment.

Conclusion

Medicinal plants, revered for their therapeutic potential, possess sophisticated natural defense mechanisms critical in mitigating biotic and abiotic stressors. This review evaluated the role of medicinal plants in promoting agricultural sustainability and achieving food security. Additionally, it highlighted that these plants play a crucial role in enhancing plant protection. By harnessing these bioactive compounds, agricultural practices can shift toward more sustainable and environmentally friendly approaches by reducing reliance on synthetic chemicals and pesticides. Furthermore, the utilization of medicinal plants not only contributes to effective pest and disease management but also to agricultural biodiversity, supporting the overall health of ecosystems. In order to address the impacts of climate change, conflicts, and pest resistance, integrating medicinal plants into crop management strategies is essential, offering a promising pathway for achieving sustainable agriculture. Finally, we recommend that researchers and scientists conduct more studies related to the specific mechanisms of action of these bioactive compounds, optimize their application, and explore their potential in various agricultural contexts. This deeper understanding can enhance plant resilience, improve crop yields, and ensure food security while protecting the environment.

References

- [1] K. Wudu, A. Abegaz, L. Ayele, and M. Ybabe, "The impacts of climate change on biodiversity loss and its remedial measures using nature based conservation approach: a global perspective," *Biodiversity and Conservation*, vol. 32, no. 12, pp. 3681-3701, 2023/10/01 2023, doi: 10.1007/s10531-023-02656-1.
- [2] D. Roe, E. Holland, N. Nisi, T. Mitchell, and T. Tasnim, "Loss and damage finance should apply to biodiversity loss," *Nature Ecology & Evolution*, vol. 7, no. 9, pp. 1336-1338, 2023/09/01 2023, doi: 10.1038/s41559-023-02088-8.
- [3] B. S. Ngcamu, "Climate change effects on vulnerable populations in the Global South: a systematic review," *Natural Hazards*, vol. 118, no. 2, pp. 977-991, 2023/09/01 2023, doi: 10.1007/s11069-023-06070-2.
- [4] F. Bibi and A. Rahman, "An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies," *Agriculture*, vol. 13, no. 8, p. 1508, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/8/1508>.
- [5] M. A. B. Alves *et al.*, "Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment," *Sustainability*, vol. 15, no. 6, p. 4954, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/4954>.
- [6] C. Ingrao, R. Strippoli, G. Lagioia, and D. Huisinigh, "Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks," *Heliyon*, vol. 9, no. 8, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18507.
- [7] K. N. Kulik, A. I. Belyaev, and A. M. Pugacheva, "The Role of Protective Afforestation in Drought and Desertification Control in Agro-Landscapes," *Arid Ecosystems*, vol. 13, no. 1, pp. 1-10, 2023/03/01 2023, doi: 10.1134/S2079096123010079.
- [8] W. Leal Filho *et al.*, "How the War in Ukraine Affects Food Security," *Foods*, vol. 12, no. 21, p. 3996, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/21/3996>.
- [9] A. Hassoun *et al.*, "From acute food insecurity to famine: how the 2023/2024 war on Gaza has dramatically set back sustainable development goal 2 to end hunger," (in English), *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Review vol. 8, 2024-May-17 2024, doi: 10.3389/fsufs.2024.1402150.
- [10] K. Raj and A. P. Das, "Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution," *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, vol. 5, pp. 79-85, 2023/01/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.02.001>.
- [11] S. F. AbuQamar *et al.*, "Ecological impacts and management strategies of pesticide pollution on aquatic life and human beings," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 206, p. 116613, 2024/09/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116613>.
- [12] S. Ezrari, I. Legrifi, M. Taoussi, M. Khadiri, Z. Belabess, and R. Lahlali, "Plant-Pathogen Interactions and Global Food Security," in *Plant Pathogen Interaction*, P. K. Verma, S. Mishra, V. Srivastava, and S. Mehrotra Eds. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 11-52.
- [13] FAO, "New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. FAO <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/> icode/ (2021)." 2021.
- [14] T. I. Ekwomadu and M. Mwanza, "Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects,

- Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research," *Agriculture*, vol. 13, no. 9, p. 1810, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/9/1810>.
- [15] B. K. Singh *et al.*, "Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward," *Nature Reviews Microbiology*, vol. 21, no. 10, pp. 640-656, 2023/10/01 2023, doi: 10.1038/s41579-023-00900-7.
- [16] E. M. Abdallah, B. Y. Alhatlani, R. de Paula Menezes, and C. H. G. Martins, "Back to Nature: Medicinal Plants as Promising Sources for Antibacterial Drugs in the Post-Antibiotic Era," *Plants*, vol. 12, no. 17, p. 3077, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/17/3077>.
- [17] M. Said and M. M. Ibrahim, "Antioxidants and Phytochemical Profiles in Medicinal Plants: Unraveling Molecular Mechanisms," *Sch Int J Biochem*, 7(7): 106-117 2024.
- [18] A. Sofowora, E. Ogunbodede, and A. Onayade, "The role and place of medicinal plants in the strategies for disease prevention," (in eng), *Afr J Tradit Complement Altern Med*, vol. 10, no. 5, pp. 210-29, Aug 12 2013, doi: 10.4314/ajtcam.v10i5.2.
- [19] B. B. Petrovska, "Historical review of medicinal plants' usage," (in eng), *Pharmacogn Rev*, vol. 6, no. 11, pp. 1-5, Jan 2012, doi: 10.4103/0973-7847.95849.
- [20] E. M. Abdallah, "Plants: An alternative source for antimicrobials," *Journal of applied pharmaceutical science*, no. Issue, pp. 16-20, 2011.
- [21] W. A. R. Thomson, "Medicines from the earth: a guide to healing plants," (No Title), 1978.
- [22] S.-L. Chen, H. Yu, H.-M. Luo, Q. Wu, C.-F. Li, and A. Steinmetz, "Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress, and prospects," *Chinese Medicine*, vol. 11, no. 1, p. 37, 2016/07/30 2016, doi: 10.1186/s13020-016-0108-7.
- [23] A. Rasool, K. M. Bhat, A. A. Sheikh, A. Jan, and S. Hassan, "Medicinal plants: Role, distribution and future," *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 9, no. 2, pp. 2111-2114, 2020.
- [24] WHO, "African traditional Medicine day. <https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/ahm-special-issue-14.pdf>," 2010.
- [25] P. M. Barnes, E. Powell-Griner, K. McFann, and R. L. Nahin, "Complementary and alternative medicine use among adults: United States, 2002," (in eng), *Adv Data*, no. 343, pp. 1-19, May 27 2004.
- [26] U. Schippmann, D. J. Leaman, and A. B. Cunningham, "Impact of cultivation and gathering of medicinal plants on biodiversity: global trends and issues," 2003.
- [27] R. Sharma *et al.*, "Potential medicinal plants to combat viral infections: A way forward to environmental biotechnology," *Environmental Research*, vol. 227, p. 115725, 2023/06/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115725>.
- [28] R. Arrigoni, A. Ballini, E. Jirillo, and L. Santacroce, "Current View on Major Natural Compounds Endowed with Antibacterial and Antiviral Effects," *Antibiotics*, vol. 13, no. 7, p. 603, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-6382/13/7/603>.
- [29] I. Iqbal *et al.*, "Plant Polyphenols and Their Potential Benefits on Cardiovascular Health: A Review," *Molecules*, vol. 28, no. 17, p. 6403, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/17/6403>.
- [30] T. Boeing *et al.*, "Gastroprotective effect of Artemisia absinthium L.: A medicinal plant used in the treatment of digestive disorders," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 312, p. 116488, 2023/08/10/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116488>.
- [31] W. Sun and M. H. Shahrajabian, "Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal

- Plants—Natural Health Products for Human Health," *Molecules*, vol. 28, no. 4, p. 1845, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/4/1845>.
- [32] W.-K. Luo *et al.*, "Herbal medicine derived carbon dots: synthesis and applications in therapeutics, bioimaging and sensing," *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 19, no. 1, p. 320, 2021/10/13 2021, doi: 10.1186/s12951-021-01072-3.
- [33] T. Sen and S. K. Samanta, "Medicinal plants, human health and biodiversity: a broad review," (in eng), *Adv Biochem Eng Biotechnol*, vol. 147, pp. 59-110, 2015, doi: 10.1007/10_2014_273.
- [34] A. Pruteanu and A. Muscalu, "Phytoremediation using medicinal plants-a review," *Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, vol. 44, no. 2, pp. 186-193, 2014.
- [35] A. C. Hamilton, "Medicinal plants, conservation and livelihoods," *Biodiversity & Conservation*, vol. 13, no. 8, pp. 1477-1517, 2004/07/01 2004, doi: 10.1023/B:BIOC.0000021333.23413.42.
- [36] H. Sher, A. Aldosari, A. Ali, and H. J. de Boer, "Economic benefits of high value medicinal plants to Pakistani communities: an analysis of current practice and potential," *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 10, no. 1, p. 71, 2014/10/10 2014, doi: 10.1186/1746-4269-10-71.
- [37] E. Kozuharova, "Pollination ecology of medicinal plants—what we must not neglect for their sustainable use," *Genetics and Plant Physiology*, vol. 9, no. 1-2, pp. 22-35, 2019.
- [38] S. E. J. Arnold *et al.*, "Beneficial insects are associated with botanically rich margins with trees on small farms," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, p. 15190, 2021/07/26 2021, doi: 10.1038/s41598-021-94536-3.
- [39] S. L. Chen, H. Yu, H. M. Luo, Q. Wu, C. F. Li, and A. Steinmetz, "Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress, and prospects," (in eng), *Chin Med*, vol. 11, p. 37, 2016, doi: 10.1186/s13020-016-0108-7.
- [40] J. Lenné, "Pests and Poverty: The Continuing Need for Crop Protection Research," *Outlook on Agriculture*, vol. 29, no. 4, pp. 235-250, 2000, doi: 10.5367/0000000000101293301.
- [41] F. B. N. Tonle *et al.*, "A road map for developing novel decision support system (DSS) for disseminating integrated pest management (IPM) technologies," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 217, p. 108526, 2024/02/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108526>.
- [42] T. R. Grasswitz, "Integrated Pest Management (IPM) for Small-Scale Farms in Developed Economies: Challenges and Opportunities," *Insects*, vol. 10, no. 6, p. 179, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-4450/10/6/179>.
- [43] E. A. Ahmed, E. A. Hassan, K. M. K. E. Tobgy, and E. M. Ramadan, "Evaluation of rhizobacteria of some medicinal plants for plant growth promotion and biological control," *Annals of Agricultural Sciences*, vol. 59, no. 2, pp. 273-280, 2014/12/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.016>.
- [44] L. Xiang *et al.*, "Biocontrol potential of endophytic fungi in medicinal plants from Wuhan Botanical Garden in China," *Biological Control*, vol. 94, pp. 47-55, 2016/03/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.002>.
- [45] B. Greff, A. Sáhó, E. Lakatos, and L. Varga, "Biocontrol Activity of Aromatic and Medicinal Plants and Their Bioactive Components against Soil-Borne Pathogens," *Plants*, vol. 12, no. 4, p. 706, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/4/706>.
- [46] A. A. Mohamed and B. M. Alotaibi, "Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review," *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 40-49, 2023/03/01 2023, doi: 10.1007/s43994-022-00018-1.

- [47] U. Aqeel, T. Aftab, M. M. A. Khan, and M. Naeem, "Regulation of essential oil in aromatic plants under changing environment," *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 32, p. 100441, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100441>.
- [48] Z. Nasimi, J. Barriuso, T. Keshavarz, and A. Zheng, "Molecular, physiological, and biochemical properties of sclerotia metamorphosis in *Rhizoctonia solani*," *Fungal Biology Reviews*, vol. 48, p. 100351, 2024/06/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100351>.
- [49] D. A. Nikitin *et al.*, "Diversity, Ecological Characteristics and Identification of Some Problematic Phytopathogenic Fusarium in Soil: A Review," *Diversity*, vol. 15, no. 1, p. 49, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/1/49>.
- [50] P. N. Gaikwad, V. Sharma, J. Singh, G. S. Sidhu, H. Singh, and A. A. Omar, "Biotechnological advancements in Phytophthora disease diagnosis, interaction and management in citrus," *Scientia Horticulturae*, vol. 310, p. 111739, 2023/02/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111739>.
- [51] T. M. M. Sheikh *et al.*, "Applications of Pythium- and Phytophthora-produced volatiles in plant disease control," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 108, no. 1, p. 479, 2024/10/03 2024, doi: 10.1007/s00253-024-13312-1.
- [52] M. M. Hossain, F. Sultana, W. Li, L.-S. P. Tran, and M. G. Mostofa, "Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary: Insights into the Pathogenomic Features of a Global Pathogen," *Cells*, vol. 12, no. 7, p. 1063, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4409/12/7/1063>.
- [53] Y.-M. Feng, Z.-Q. Long, H.-M. Xiang, J.-N. Ran, X. Zhou, and S. Yang, "Research on Diffusible Signal Factor-Mediated Quorum Sensing in *Xanthomonas*: A Mini-Review," *Molecules*, vol. 28, no. 2, p. 876, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/2/876>.
- [54] J. Zhang *et al.*, "Dickeya fangzhongdai was prevalent and caused taro soft rot when coexisting with the Pectobacterium complex, with a preference for Araceae plants," (in English), *Frontiers in Microbiology*, Original Research vol. 15, 2024-June-25 2024, doi: 10.3389/fmicb.2024.1431047.
- [55] K. Rivera-Zuluaga, R. Hiles, P. Barua, D. Caldwell, and A. S. Iyer-Pascuzzi, "Getting to the root of Ralstonia invasion," *Seminars in Cell & Developmental Biology*, vol. 148-149, pp. 3-12, 2023/10/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2022.12.002>.
- [56] M. Asadi, H. Rafiee-Dastjerdi, G. Nouri-Ganbalani, B. Naseri, and M. Hassanpour, "Insecticidal activity of isolated essential oils from three medicinal plants on the biological control agent, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae)," *Acta Biologica Szegediensis*, vol. 63, no. 1, pp. 63-68, 07/25 2019, doi: 10.14232/abs.2019.1.63-68.
- [57] A. Barua, K.-L. McDonald-Howard, R. J. Mc Donnell, R. Rae, and C. D. Williams, "Toxicity of essential oils to slug parasitic and entomopathogenic nematodes," *Journal of Pest Science*, vol. 93, no. 4, pp. 1411-1419, 2020/09/01 2020, doi: 10.1007/s10340-020-01251-5.
- [58] B. Song, G. Tang, X. Sang, J. Zhang, Y. Yao, and N. Wiggins, "Intercropping with aromatic plants hindered the occurrence of *Aphis citricola* in an apple orchard system by shifting predator-prey abundances," *Biocontrol Science and Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 381-395, 2013/04/01 2013, doi: 10.1080/09583157.2013.763904.
- [59] T. Belete, & K. K. Bastas, "Anti-Quorum Sensing Effects of Some Medicinal and Aromatic Plant Extracts on *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*," *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(sp), 2537-2546, 2021, doi: 10.24925/turjaf.v9isp.2537-2546.4923.
- [60] A. Benchouikh, T. Allam, A. Kribii, and O. Khadija, "Morphological and biochemical

characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and Antimicrobial Activity in Vitro of the Essential Oil of *Cinnamomum zeylanicum*, *Nigella sativa* and *Syzygium aromaticum* L," 2016.

- [61] H. Basim, K. Turgut, B. Kaplan, E. Basim, and A. Turgut, "The potential application of *Origanum dubium* Boiss. essential oil as a seed protectant against bean and tomato seed-borne bacterial pathogens," (in Eng), *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, vol. 18, no. 3, pp. 79-86, // 2019.
- [62] S. V. Pospelov, A. D. Pospelova, V. V. Onipko, and M. V. Semenko, "Chapter 8 - Fungistatic Properties of Lectin-Containing Extracts of Medicinal Plants," in *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*, C. Egbuna and B. Sawicka Eds.: Academic Press, 2020, pp. 91-105.
- [63] M. d. F. Silva *et al.*, "Medicinal plant volatiles applied against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*," *Crop Protection*, vol. 130, p. 105057, 2020/04/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105057>.
- [64] E. V. Campos, J. L. de Oliveira, M. Pascoli, R. de Lima, and L. F. Fraceto, "Neem Oil and Crop Protection: From Now to the Future," (in eng), *Front Plant Sci*, vol. 7, p. 1494, 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.01494.
- [65] S. Chaudhary *et al.*, "Progress on *Azadirachta indica* Based Biopesticides in Replacing Synthetic Toxic Pesticides," (in eng), *Front Plant Sci*, vol. 8, p. 610, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.00610.
- [66] Gull-e-laala, G. Irshad, F. Naz, and A. A. Hafiz, "Suppression of *Fusarium sporotrichioides* initiating peach fruit rot with microencapsulated antifungal sachet of clove essential oil tablets," *European Journal of Plant Pathology*, 2023/09/23 2023, doi: 10.1007/s10658-023-02771-3.
- [67] Y.-L. Qin *et al.*, "The effect of volatile compounds of *Syzygium aromaticum* flower buds against *Aspergillus flavus* growth on wheat grain at postharvest stage," *Food Control*, vol. 145, p. 109450, 2023/03/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109450>.
- [68] J. Kolozsváriné Nagy, Á. M. Móricz, A. Böszörményi, Á. Ambrus, and I. Schwarczinger, "Antibacterial effect of essential oils and their components against *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* revealed by microdilution and direct bioautographic assays," (in English), *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, Brief Research Report vol. 13, 2023-June-14 2023, doi: 10.3389/fcimb.2023.1204027.
- [69] G. P. Burton, T. A. K. Prescott, R. Fang, and M. A. Lee, "Regional variation in the antibacterial activity of a wild plant, wild garlic (*Allium ursinum* L.)," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 202, p. 107959, 2023/09/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107959>.
- [70] V. Iobbi *et al.*, "NMR Metabolite Profiling for the Characterization of Vessalico Garlic Ecotype and Bioactivity against *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*," *Plants*, vol. 13, no. 9, p. 1170, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/9/1170>.
- [71] C. Schier, M. C. H. Gruhlke, G. Reucher, A. J. Slusarenko, and L. Rink, "Combating Black Fungus: Using Allicin as a Potent Antifungal Agent against *Mucorales*," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 24, p. 17519, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/24/17519>.
- [72] S. Chintala *et al.*, "Turmeric (*Curcuma longa* L.) rhizome extract mediated silver nanoformulation exhibits enhanced antifungal property against *Rhizoctonia solani* and boosts innate immunity of rice," *Industrial Crops and Products*, vol. 206, p. 117616, 2023/12/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117616>.
- [73] E. O. Odo, J. A. Ikwuegbu, E. I. Obeagu, S. A. Chibueze, and R. E. Ochiaka, "Analysis of the

antibacterial effects of turmeric on particular bacteria," *Medicine*, vol. 102, no. 48, p. e36492, 2023, doi: 10.1097/md.00000000000036492.

[74] K. Singh, N. Deepa, S. Chauhan, S. Tandon, R. S. Verma, and A. Singh, "Antifungal action of 1,8 cineole, a major component of Eucalyptus globulus essential oil against *Alternaria tenuissima* via overproduction of reactive oxygen species and downregulation of virulence and ergosterol biosynthetic genes," *Industrial Crops and Products*, vol. 214, p. 118580, 2024/08/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118580>.

[75] M. Sharma *et al.*, "In vitro and in silico analysis of broad-spectrum bio-activity of essential oils derived from medicinal and aromatic plants against microbial phytopathogens," *European Journal of Plant Pathology*, 2024/06/29 2024, doi: 10.1007/s10658-024-02906-0.

Fotovoltaik Sistemlere Giriş: Güneş Hücrelerinden Enerji Üretimine

Kamilia Khannoussi¹, Ahmet Afşin Kulaksız²

Özet

Güneş hücreleri (PV) tarafından yakalanan güneş enerjisi, dünya genelinde enerji geçişinde kritik bir rol oynayan, hızla büyüyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu çalışma, fotovoltaik sistemler aracılığıyla güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülme sürecine odaklanmakta ve her bir bileşenin sistemin verimliliği ve kararlılığı üzerindeki önemini vurgulamaktadır. Işığı elektriğe dönüştüren güneş hücreleri, temel fiziksel prensiplere dayanmaktadır. Üretilen enerjinin kalitesinin optimize edilmesinin yanı sıra, inverterler, gerilim yükselten (boost) dönüştürücüler ve LCL filtrelerinin enerji yönetimindeki rolleri de göz önünde bulundurulmaktadır.

Enerji yönetim teknikleri, özellikle maksimum güç noktası izleme (MPPT) gibi ileri kontrol stratejileri de incelenmektedir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerin kararlılığını değerlendirmek amacıyla bir simülasyon gerçekleştirilmiştir; bu simülasyon, kontrol ve filtre teknolojilerindeki son gelişmelerin önemini vurgulamaktadır. Bulgular, bu yeniliklerin fotovoltaik sistemlerin performansını ve şebekeye entegrasyonunu önemli ölçüde artırdığını göstererek, gelecekteki enerji ihtiyaçlarına sürdürülebilir bir şekilde yanıt verebilecek umut verici çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, güneş hücreleri, güneş enerjisi, inverter, enerji üretimi, sistem kararlılığı

Disiplin: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Giriş

Küresel enerji talebinin artması ve fosil yakıtların neden olduğu çevresel zorluklar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini her zamankinden daha belirgin hale getirmektedir. Bu enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, hem bol miktarda bulunması hem de çevresel etkilerinin minimum düzeyde olması nedeniyle merkezi bir konuma sahiptir. Güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan fotovoltaik (PV) sistemler, bu enerji dönüşüm sürecinde kilit bir rol oynamaktadır.

Bu makalede, fotovoltaik sistemlerin temel prensipleri incelenmekte olup, güneş hücrelerinin enerji üretim sürecindeki işleyişi ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, sistemin kararlılığını ve enerji üretim kalitesini sağlamak amacıyla kullanılan kritik bileşenler, özellikle inverter, boost dönüştürücü ve LCL filtresi gibi unsurlar, detaylı şekilde açıklanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin, temiz enerji üretimindeki artan önemi ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamadaki potansiyeli de bu çalışmada değerlendirilmektedir.

Güneş Hücresi: Işıktan Elektriğe

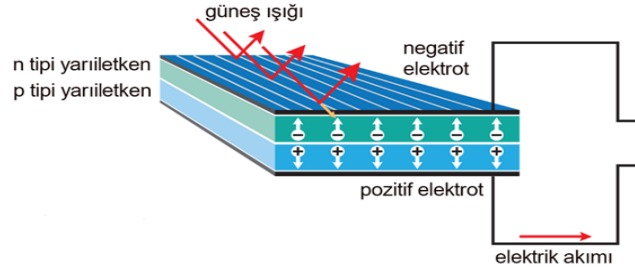
Güneş hücresi, fotovoltaik teknolojinin merkezinde yer almakta olup, ışığı elektriğe dönüştürme yeteneği sayesinde çalışır. Bu dönüşüm, 19. yüzyılın sonunda keşfedilen fotovoltaik etki sayesinde gerçekleşmektedir [1]. Bu fenomen, yarı iletken malzemelerin ışığı emerek elektriksel bir yük oluşturmalarını sağlar. Bir foton, güneş hücresinin yüzeyine çarptığında, enerjisini yarı iletken malzemedeki elektronlara aktarır, bu da elektron akışı oluşturarak elektrik akımını meydana getirir.

¹ Doktora öğrencisi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

² Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

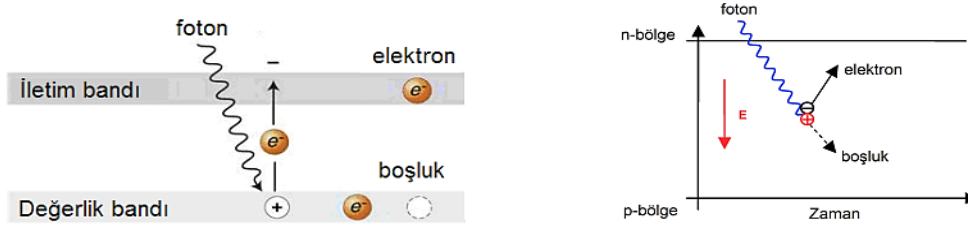
Güneş hücresinin yapısı, p-n ekleminden (pozitif ve negatif katmanlar) oluşur ve bu yapı, elektron akışını yönlendirmede kritik bir rol oynar (Şekil 1) [2].

Şekil 1 : Güneş hücresinin iç yapısı



Güneş hücresinin çalışması, temel fizik prensiplerine dayanır. Fotonların enerjisi, elektronları serbest bırakır ve elektron-delik çiftleri (Şekil 2) oluşturur. Serbest kalan elektronlar n katmanına, delikler ise p katmanına doğru hareket eder ve bu süreçte içsel bir elektrik alanı oluşturarak yüklerin ayrılmasını ve akımın dış devrelere yönlendirilmesini sağlar. Bu süreçte hücrenin iç yapısı önemli bir rol oynar. Bir güneş hücresinin verimliliği, doğrudan tasarımına ve kullanılan malzemelere bağlıdır [3].

Şekil 2 : Elektron-delik çifti oluşması



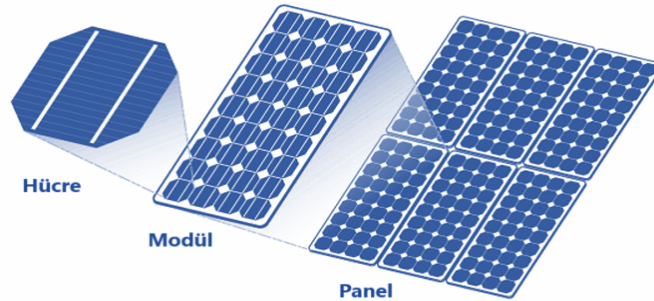
Fotovoltaik süreç birkaç önemli aşamadan oluşur. Önce ışık emilir ve serbest elektronlar üretilir. Ardından içsel elektrik alanı, bu yüklerin dolaşımını sağlar ve ortaya çıkan akım, bir eviriciye yönlendirilir. Bu evirici, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirerek elektriğin şebeke standartlarına uygun hale gelmesini sağlar.

Hücrelerin Panellere Dönüştürülmesi

Fotovoltaik sistemlerde, güneş hücresi elektrik üretiminin temel bileşenidir. Tek bir fotovoltaik hücre genellikle 0,5 ila 0,6 V arasında bir gerilim sağlamaktadır ve bu nedenle nispeten düşük bir enerji üretmektedir [4]. Bu nedenle, birden fazla hücre bir araya getirilerek bir modül oluşturulmaktadır (Şekil

3).

Şekil 3 : Hücreden fotovoltaiik panele



Hücreler, enerji üretimini artırmak amacıyla seri ve paralel olarak bağlanmaktadır. Hücreler seri bağlandığında, toplam gerilim artarken; paralel bağlantılar akımı artırmaktadır. Örneğin, 36 hücreden oluşan bir modül, 18 ila 21 V arasında bir çıkış gerilimi üretebilmektedir. Modüller, dış etkenlere karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla koruyucu katmanlarla kaplanmaktadır.

Bir güneş paneli, genellikle 60 ila 72 modülden oluşmaktadır. Bu modüllerin bir araya gelmesi, enerji üretim kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır [5]. Büyüklüğüne ve tasarımına bağlı olarak, bir güneş paneli yüzlerce watt enerji üretebilir. Örneğin, 300 Wp'lik bir panel, standart koşullarda (1000 W/m² ışınım ve 25°C sıcaklık) bu güce ulaşabilmektedir. Bu paneller, konutlardan büyük elektrik santrallerine kadar geniş bir enerji talebini karşılamak üzere daha büyük fotovoltaiik sistemler oluşturmak için bir araya getirilmektedir.

Tipik modül tasarımları, kullanılan hücre sayısına ve bağlantı türüne göre değişmektedir (Tablo 1). Seri bağlı hücreler, nominal gerilim, açık devre gerilimi (Voc) ve maksimum güç gerilimi (Vmpp) gibi parametrelerle tanımlanır.

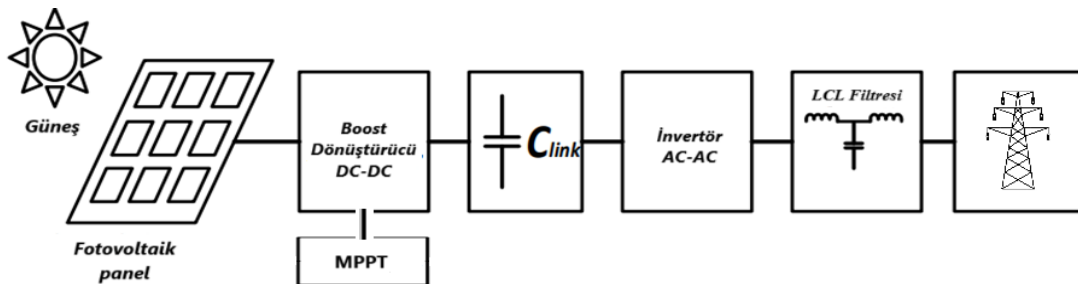
Tablo 1 : Tipik modül tasarımları

Seri halinde hücreler	Nominal Gerilim	Voc	Vmpp
36	12V	22V	18V
60	20V	38V	31V
72	24V	44V	36V

Üç fazlı şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemlerin bileşenleri

Fotovoltaiik (PV) sistemler, güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılabilir elektriğe dönüştürülmesini sağlayan çeşitli temel bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler arasında boost dönüştürücü (DC-DC çevirici) [6], inverter (DC-AC çevirici) [7], [8], MPPT (Maksimum Güç Noktası Takibi) [9] ve LCL filtreleri [10] yer alır. Her bir bileşen, sistemin optimizasyonu ve kararlılığı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Aşağıda bu bileşenlerin (Şekil 4) açıklamaları yer almaktadır:

Şekil 4 : Şebekeye bağlı üç fazlı fotovoltaiik sistemlerin önemli bileşenleri



Boost Dönüştürücü (DC-DC Çevirici)

Boost dönüştürücü, güneş panelleri tarafından üretilen DC gerilimini artırmak için kullanılan bir DC-DC dönüştürücüdür. Güneş panellerinin çıkış gerilimi, güneş ışığı ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, genellikle şebeke veya cihazları beslemek için yeterli olmamaktadır. Boost dönüştürücü, bu gerilimi düzenler ve bir sonraki dönüşüm veya depolama aşamaları için uygun seviyeye yükseltir [11], [12].

Boost Dönüştürücünün ana bileşenleri

İndüktans (L): Anahtar (Switch K) kapalı olduğu durumda enerjiyi depolamakta, anahtar açıldığında ise depolanan enerjiyi geri vermektedir [11].

Diyot (D): PV kaynağına geri akımı engellemekte ve indüktansta depolanan akımı, polarize olduğunda çıkışa yönlendirmektedir [13].

Kondansatör (C1, C2): Çıkış gerilimini filtreleyerek sabit bir DC gerilim sağlamaktadır.

Anahtar (Switch K): PWM sinyali ile kontrol edilmekte olup, devredeki enerji depolama ve geri verme aşamaları arasında geçiş yapılmasını sağlamaktadır [14].

Boost dönüştürücüsünün çalışma prensibi

Boost dönüştürücüsünün çalışma prensibi, anahtarın (Switch K) durumuna bağlı olarak iki faza ayrılabilir [11]:

Faz 1: Anahtar kapalı (Switch K ON)

Anahtar kapalı olduğunda, akım indüktans (L) ve anahtar üzerinden geçmektedir. Fotovoltaik panellerin sağladığı gerilim (V_{PV}) indüktansa uygulanmaktadır.

Bu aşamada, enerji indüktansın manyetik alanında depolanmaktadır. Diyot bloke edilmiştir ve bu nedenle çıkışa herhangi bir akım gitmemektedir [12].

İndüktans akımı, Denklem. 1'de verilen yasa doğrultusunda doğrusal olarak artmaktadır.

$$VL=LdIdt \quad (1)$$

Faz 2: Anahtar açık (Switch K OFF)

Anahtar açıldığında, indüktansta depolanan enerji serbest kalmaktadır. Diyot iletimde olup, indüktansta depolanan akım yükü beslemekte veya C1 ve C2 kondansatörlerine yönelmektedir [11].

Bu enerji, çıkış gerilimini yükseltmek için giriş gerilimine (V_{PV}) eklenmektedir. Kondansatör C1 ve C2 çıkışı filtreleyerek sabit bir DC gerilim elde edilmesini sağlamaktadır [12].

Bu fazda indüktans akımı azalmaktadır, ancak çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksek bir değerde tutulmaktadır [13].

PWM ile Kontrol (Darbe Genişlik Modülasyonu)

Anahtarı kontrol eden PWM sinyalinin görev döngüsü (duty cycle), giriş gerilimi (V_{PV}) ile çıkış gerilimi (V_{DC}) arasındaki oranı belirlemektedir. Görev döngüsü, Denklem. 2'de verilen ifade ile tanımlanır [14]:

$$V_{out}=V_{in}(1-D) \quad (2)$$

Burada D, görev döngüsünü ifade etmekte olup, her anahtarlama döngüsünde anahtarın kapalı (ON) olduğu sürenin toplam süreye oranını göstermektedir.

Daha yüksek bir görev döngüsü (anahtarın daha uzun süre kapalı kalması), daha yüksek bir çıkış gerilimi elde edilmesini sağlamaktadır.

İnverter (DC-AC Çevirici)

İnverter, şebekeye bağlı PV sistemlerde kritik bir bileşendir. Güneş panellerinden gelen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirir; bu da ev aletleri tarafından kullanılabilir veya elektrik şebekesine entegre edilebilir [15]. İnverter, ayrıca şebeke ile uyumlu bir şekilde frekans ve faz senkronizasyonunu sağlar (genellikle 50 veya 60 Hz) [11]. Ek olarak, enerjinin kalitesini optimize ederek bozulmaları en aza indirir.

Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

MPPT, güneş panellerinden elde edilen gücü maksimize etmek için kullanılan bir kontrol tekniğidir. Maksimum güç noktasını (MPP) bulmak amacıyla panelin çıkış gerilimini ayarlayarak güneş ışığını en iyi şekilde değerlendirmeye çalışır [14]. Çevresel koşullar (güneş ışığı ve sıcaklık gibi) değiştiğinde, MPPT sürekli olarak çıkış gerilimini ayarlayarak PV sisteminin her zaman en verimli seviyede çalışmasını sağlar [13]. Bu durum, sistemin verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır [16].

Parametre kontrolü

MPPT, güneş panelleri tarafından sağlanan gerilim (VPV) ve akım (IPV) gibi sistemin ana parametrelerini sürekli olarak izlemeye başlamaktadır. Bu değerlerden, MPPT tarafından güç (Ppv) hesaplanırken Denklem. 3 kullanılmaktadır [16]:

$$PPV=VPVIPV \quad (3)$$

LCL Filtresi

LCL filtresi, şebekeye bağlı PV sistemlerinde enerji kalitesini artırmak ve inverterler tarafından üretilen harmonikleri azaltmak için kullanılmaktadır. İnverterler, doğru akımı alternatif akıma çevirirken genellikle harmonikler üretir. LCL filtresi, indüktörler (L) ve kondansatörlerden (C) oluşur ve bu harmonikleri azaltarak şebekeye aktarılan sinyalin kalitesini iyileştirir [17]. Bu filtre, şebekeye verilen akımın enerji kalitesi standartlarına uygun olmasını ve şebeke ya da bağlı cihazlar üzerinde olumsuz etkiler yaratmamasını sağlar [18].

Enerji üretimi ve şebeke entegrasyonu

Şebekeye bağlı bir PV sisteminin simülasyonu ve modellenmesi

Kurulan üç fazlı fotovoltaik sistem (Şekil 5), güneş enerjisinin verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlamak ve böylece güneş enerjisinin kullanımını maksimize etmektedir. 100 kW nominal kapasiteye sahip bu sistem, maksimum güç noktasının takip edilmesi için iki algoritma kullanılmaktadır: parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve artan iletkenlik (IncCond).

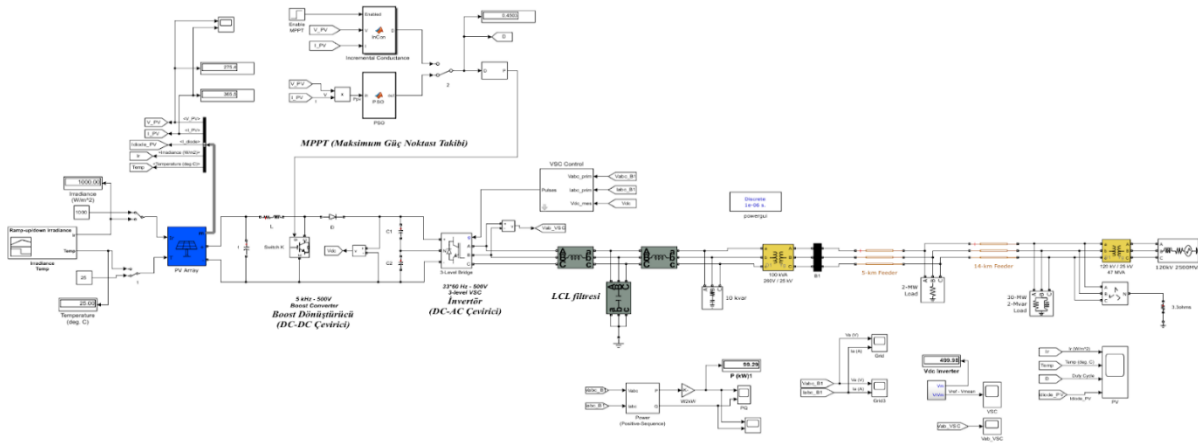
(Şekil 5)'te, üç fazlı şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin genel yapısı gösterilmektedir ve bu sistemin şebeke ile entegrasyonunun nasıl sağlandığı detaylandırılmaktadır. (Şekil 6), arıza olmayan durumda elde edilen aktif güç eğrisini ve (Şekil 7) ise arıza olmayan durumdaki üç fazlı şebekenin gerilim ve akımını göstermektedir.

PSO ve Artan İletkenlik ile MPPT PSO algoritması, ışıyım ve sıcaklık koşullarına dinamik olarak uyum sağlayarak maksimum güç noktasını bulmada özellikle etkilidir. Paralel olarak, artan iletkenlik yöntemi, DC-DC dönüştürücünün görev döngüsünü gerilim ve akım değişikliklerine göre ayarlamaktadır. Bu iki algoritmanın birleşimi, sistemin arıza olmadan 100 kW'a yakın aktif güç elde etmesini sağlamaktadır ve dolayısıyla sistemin verimliliğini optimize etmektedir.

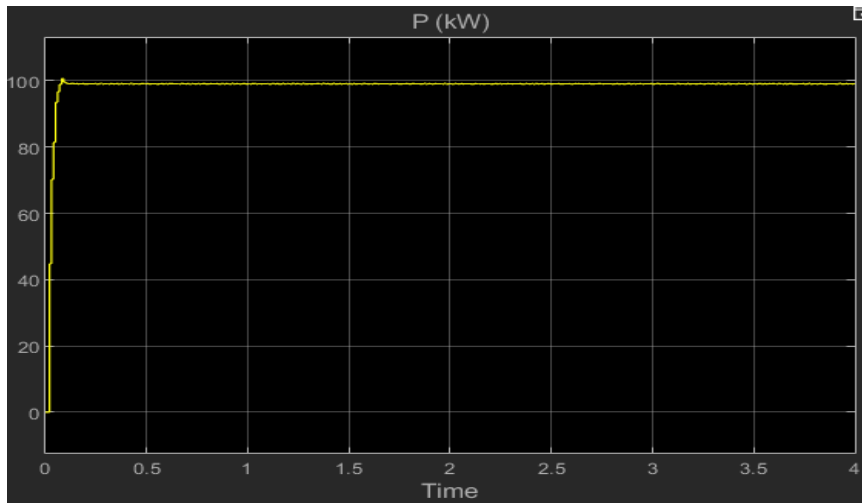
Aktif güç, fotovoltaik sistemlerde kritik bir parametredir. Gerçekten kullanılabilir enerji miktarını temsil eder ve sistemin kârlılığını ve elektrik şebekesiyle entegrasyonunu doğrudan etkilemektedir. Aktif gücün optimal bir seviyede tutulması, sistemin şebeke kararlılığına katkıda bulunmasına ve enerji kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktadır.

Fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji, öncelikle inverter tarafından alternatif akıma (AC) dönüştürülmekte ve ardından dağıtım şebekesine uygun gerilim seviyesine yükseltilmek üzere 100 kVA'lık (280V/25 kV) bir transformatör aracılığıyla şebekeye iletilmektedir [19]. Daha sonra, 120 kV / 25 kV'lık ikinci bir transformatör, enerjinin yüksek gerilimli şebekeye entegrasyonu için gerilimi daha da artırmaktadır [20]. Sisteme 2 MW ve 30 MW gücünde yükler bağlı bulunmaktadır. Bu yükler, güç sisteminde dalgalanmalara neden olmakta ve gerilim regülasyonu ile güç akışı yönetimi açısından sistem üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır [21]. Sistemin kararlılığının sağlanabilmesi için etkili bir kontrol mekanizması gerekmektedir [22].

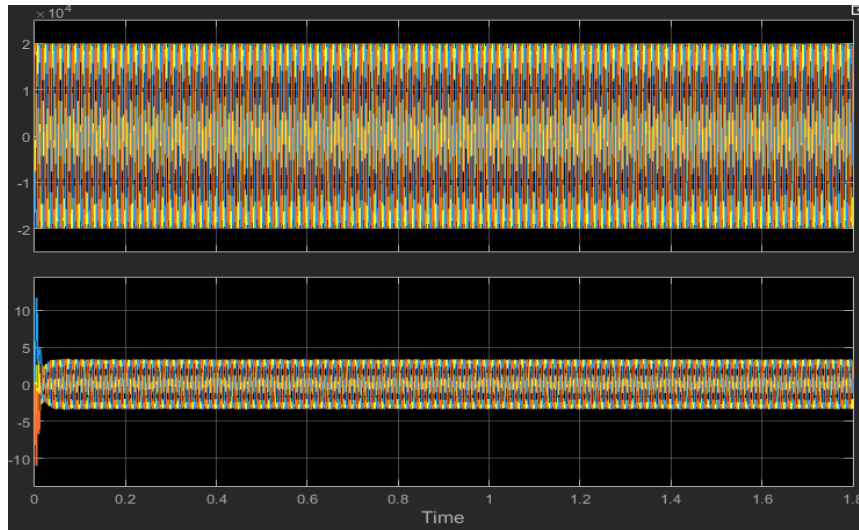
Şekil 5 : Üç fazlı şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem



Şekil 6 : Arıza olmayan durumda aktif güç eğrisi



Şekil 7 : Arıza olmayan durumda üç fazlı şebekenin gerilimi ve akımı



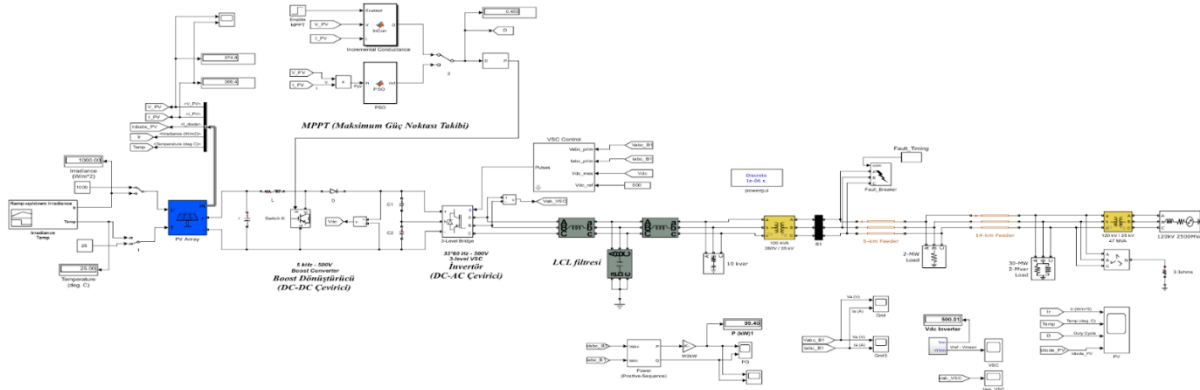
Arıza Simülasyonu ve Sistem Kontrolü

Arıza Zamanlaması: "Arıza Zamanlaması" bloğu, sistemde belirli anlarda meydana gelebilecek arızaları simüle etmektedir [23]. Bu durum, gerçek dünyada karşılaşılabilecek koşulları yansıtmaktadır. Arızalar 0.8 ile 1.2 saniye arasında meydana geldiğinde, genellikle gerilimde bir düşüş ve güçte dalgalanmalar gözlemlenmektedir [24]. Bu tür arıza senaryoları, fotovoltaik sistemin gerçek koşullardaki benzer kesintiler karşısında ne kadar kararlı kalabileceğini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır [25].

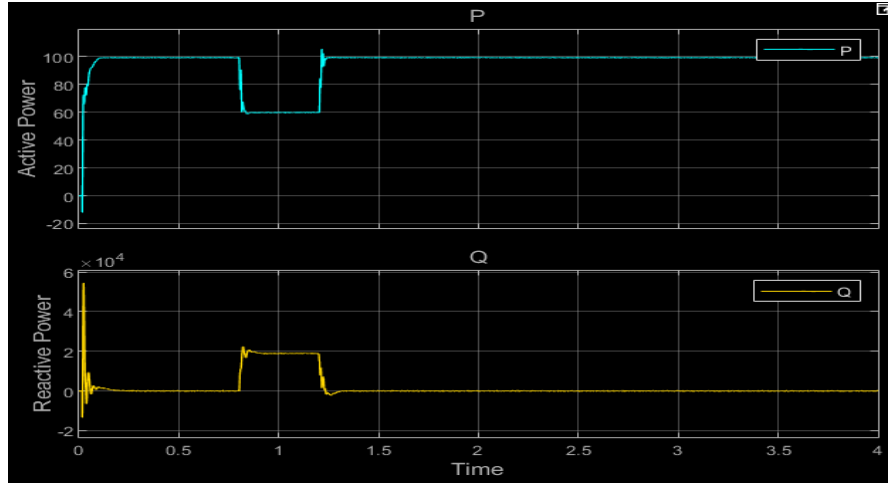
(Şekil 8), arıza ile şebekeye bağlı üç fazlı fotovoltaik sistemi göstermektedir. (Şekil 9), sistemdeki arıza durumunda aktif güç eğrisini ve (Şekil 10) ise arızalarla birlikte üç fazlı şebekedeki gerilim ve akımı temsil etmektedir.

Sistem Kararlılığı: Arızalar veya bozucu etkilere rağmen sistemin kararlılığını korumak için gelişmiş kontrol stratejileri uygulanmaktadır [26]. Özellikle, anti-windup kontrol mekanizmaları sayesinde, sistem arızaların olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla gerilim ve gücü hızla ayarlamaktadır. Bu durum, sistemin stabilitesini yeniden sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, LCL filtreleri ve VSC (Gerilim Kaynaklı Konvertör) kontrolü, osilasyonları sınırlayarak ve büyük bozulmaların olduğu durumlarda bile sistemi etkili bir şekilde dengeleyerek kararlılığı sağlamaktadır [27].

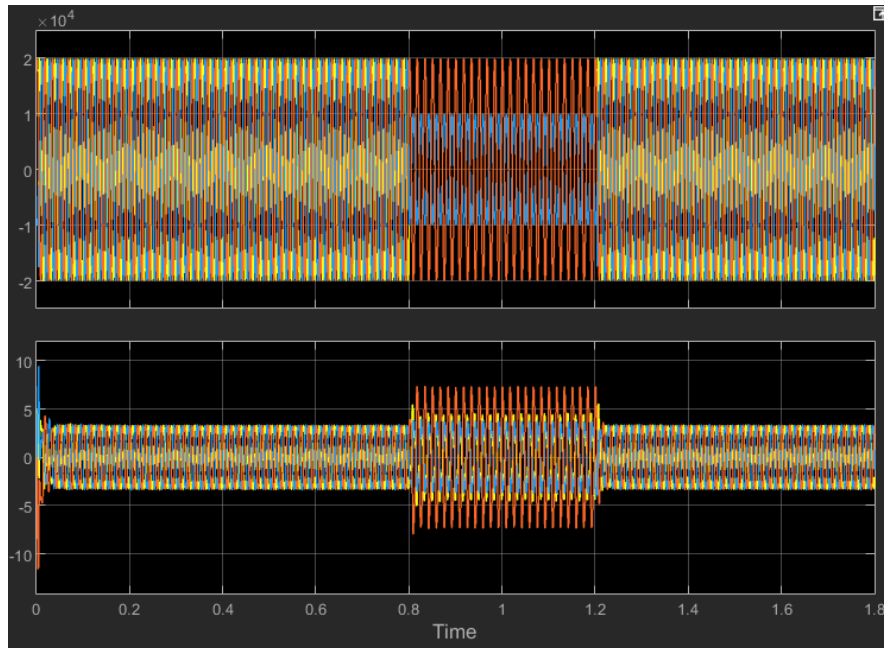
Şekil 8 : Arıza ile şebekeye bağlı üç fazlı fotovoltaik sistem



Şekil 9 : Sistemdeki arıza durumunda aktif güç eğrisi



Şekil 10 : Arızalarla birlikte üç fazlı şebekedeki gerilim ve akım



Sonuç

Bu çalışma, "Fotovoltaik Sistemlere Giriş: Güneş Hücresinden Enerji Üretimine" başlığı altında, güneş hücrelerinden enerji üretiminin temel prensiplerini ve şebekeye bağlı üç fazlı fotovoltaik sistemlerin arıza koşullarındaki performansını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Elde edilen bulgular, arıza zamanlamalarının (0.8 ile 1.2 saniye arasında) aktif güç ve gerilim üzerindeki etkilerini detaylandırmaktadır. Özellikle, anti-windup kontrol mekanizmalarının entegrasyonu, sistemin gerilim

ve güç dalgalanmalarını hızlı bir şekilde dengeleyerek stabiliteyi korumasına önemli katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, LCL filtreleri ve VSC kontrol stratejileri, sistemin kararlılığını artırarak, güneş enerjisinin verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. Bu bulgular, fotovoltaiik sistemlerin arıza koşullarına karşı dayanıklılığını ve güneş enerjisinin potansiyelini artırmak için gereken gelişmeleri vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, güneş enerjisi kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından önemli fırsatlar sunmaktadır ve bu araştırma, gelecekteki fotovoltaiik sistem tasarımlarına ve uygulamalarına yön vermektedir.

Kaynakça

- [1] MediaTrend, URL: <https://mediatrend.mediamarkt.com.tr/gunes-pili-teknolojisi/> (Erişim zamanı; 21, Ekim, 2024)
- [2] J. L. Gray, “The Physics of the Solar Cell”, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, cilt 2, sayfa 82-128, 2011.
- [3] H. H. Öztürk, “Güneş Enerjisinden Fotovoltaiik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler”, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, cilt 1, sayı 1, sayfa 1-10, 2008.
- [4] M. S. Suresh, “Measurement of solar cell parameters using impedance spectroscopy”, Solar Energy Materials and Solar Cells, cilt 43, sayı 1, sayfa 21-28, 1996.
- [5] Libre Solar, URL: https://learn.libre.solar/system/solar_panel.html#panels-and-arrays (Erişim zamanı; 21, Ekim, 2024)
- [6] F. Mumtaz, N. Z. Yahaya, S. T. Meraj, B. Singh, R. Kannan, ve O. Ibrahim, “Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications”, Ain Shams Engineering Journal, cilt 12, sayı 4, sayfa 3747-3763, 2021.
- [7] N. M. Kumar, M. P. Subathra, ve J. E. Moses, “On-grid solar photovoltaic system: components, design considerations, and case study”, 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), cilt 2018, sayfa 616-619, 2018.
- [8] E. Franklin, “Solar photovoltaic (PV) system components”, 2018.
- [9] A. J. Alrubaie, A. Al-Khaykan, R. Q. Malik, S. H. Talib, M. I. Mousa, ve A. M. Kadhim, “Review on MPPT techniques in solar system”, 2022 8th International Engineering Conference on Sustainable Technology and Development (IEC), cilt 2022, sayfa 123-128, 2022.
- [10] R. D. A. Raj, T. Aditya, ve M. R. Shinde, “Power quality enhancement of grid-connected solar photovoltaic system using LCL filter”, 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), cilt 2020, sayfa 334-339, 2020.
- [11] Erickson, R. W., & Maksimovic, D., Fundamentals of Power Electronics, Springer, 2nd Edition, 2001.
- [12] Rashid, M. H., Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, Pearson, 4th Edition, 2013.

- [13] Liu, Y., Wang, X., & He, X., “Overview of Power Management Techniques in Photovoltaic Systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2017.
- [14] Veerachary, M., Senjyu, T., & Uezato, K., “Voltage-Based Maximum Power Point Tracking Control of PV Systems”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2002.
- [15] Dursun, M., & Şahin, Y., Renewable Energy and Photovoltaic Systems, Springer, 2015.
- [16] Hohm, D. P., & Ropp, M. E., “Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms”, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 11, no. 1, pp. 47-62, 2003.
- [17] Timbus, A. V., Liserre, M., Teodorescu, R., & Blaabjerg, F., “Grid Conditioning by Using LCL-Filters Applied to Distributed Power Generation”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 8, pp. 8422-8430, 2020.
- [18] Silva, J. P., Afonso, J. L., & Couto, C., “LCL Filter Design and Stability Analysis for Grid-Connected Inverters in Photovoltaic Systems”, Renewable Energy, vol. 164, pp. 103-113, 2021.
- [19] Zhao, X., Li, J., & Wang, S., “Transformer Design and Optimization for Photovoltaic Grid-Connected Systems”, Renewable Energy, vol. 146, pp. 123-132, 2020.
- [20] Liu, H., Zhang, W., & Zhang, Y., “High-Voltage Transformer Integration in Solar Power Systems”, IEEE Access, vol. 9, pp. 12345-12355, 2021.
- [21] Kumar, A., & Singh, B., “Impact of Load Fluctuations in Photovoltaic-Based Power Systems”, Energy Reports, vol. 7, pp. 1234-1245, 2021.
- [22] Nguyen, D. T., & Le, T. L., “Control Strategies for Stability in Large-Scale Solar Power Plants”, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, vol. 8, no. 2, pp. 456-465, 2020.
- [23] Shahid, A., & Ghafoor, A., Simulation of Fault Scenarios in Photovoltaic Systems, Energy Reports, 2022.
- [24] Alavi, A., & Soltani, M., Impact of Faults on the Performance of Photovoltaic Systems, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2021.
- [25] Pérez, M., & Sánchez, J., Stability Assessment of PV Systems Under Fault Conditions, Renewable Energy, 2020.
- [26] Singh, B., & Kumar, A., Advanced Control Strategies for Photovoltaic Systems, IEEE Transactions on Power Electronics, 2021.
- [27] Lee, H. Y., & Kim, J. H., LCL Filter Design and Control for Grid-Connected Inverters, Renewable Energy, 2023.

Warehouse Optimization: Analysing Opening/Closing Decisions in Distribution Networks-A Case Study

Mohamoud Warsame¹, Zülal Diri Kenger²

Abstract

In an intensely competitive environment, many companies have to optimize their processes. Facility opening and closing decisions have a direct impact on a company's operational efficiency, cost structure, and customer satisfaction. For these reasons, facility (warehouse) opening and closing decisions are vital to a company's overall strategy and success. In this study, warehouse opening and closing decisions for a company operating in the food industry in the olive oil products category are discussed. The case study involves two factories that produce and service six different storage areas. The Capacity Constrained Facility Location Selection Model is proposed for the problem. The model is tested using various optimization software such as LINGO, GAMS, and Excel Solver, and the results are compared. The study aims to increase operational performance and cost efficiency by taking into account factors such as customer demand, geographic location, transportation costs, and market trends.

Keywords : Warehouse optimization , distribution network , facility location.

Discipline: Industrial Engineering

Introduction

The growth of industrialization, the global marketability of goods and services, and the occurrence of disasters and crises have all heightened the importance of logistics and supply chain management.

Globally, the acceleration of logistics processes has led to a significant increase in product flows into cities, especially large metropolitan areas. From this perspective, it is advantageous for production companies to store all products manufactured in their facilities in a smart, consolidated, and planned manner. This approach not only enhances operational efficiency but also ensures that end consumers can access high-quality and economical products more quickly.

Warehouses serve as essential facilities within the supply chain, where products received from suppliers are accepted, inspected, stored, packaged, and processed for value-added operations until they are ready for shipment. These facilities play a crucial role in ensuring efficient storage, handling, and timely distribution of goods to meet market demand effectively. [1] , [2],[3]

,[4] the supply chain function encompasses both production and storage operations. In this case study, the supply network includes two factories: one dedicated to in-house production and storage, with six potential storage sites that can service the main facility. The analysis focuses on evaluating the conditions for maintaining operational warehouses and initiating services from new storage locations.

,[3]we are tasked with making critical decisions regarding the operational configuration of six warehouses. The primary objective is to minimize overall costs while determining which facilities to open and which to close. The challenge lies in evaluating the operational requirements and associated costs of each warehouse to identify the most cost-effective solution. By strategically selecting which

¹ Gaziantep University, Industrial Engineering Department

² Gaziantep University, Industrial Engineering Department

facilities to keep operational, we aim to optimize resource allocation and reduce unnecessary expenditures. This analysis is vital for the company's financial health and operational efficiency. The company's own factory is located within the borders of Ayvalık district of Balıkesir province. The other factory with contract manufacturing is in Balıkesir Edremit. Both in Ayvalık and Edremit, there is storage space within the factory campuses. In addition, it stocks and ships products in four different active warehouses. The warehouses are called Küçükköy, Altınova and Burhaniye warehouses. In addition to these, it also has a warehouse used for different product groups in Altınoluk. Packaged products in warehouses are tins, glass bottles and pet bottles of various sizes and are placed on pallets. is stored. In addition to packaged products in factory warehouses, there are also bulk product warehouses. Although there are, these warehouses are outside the scope of the case. Repackaging in warehouses, Value added services such as labeling, mixed pallet preparation etc. are provided. Products produced in production facilities are stocked in storage areas and exported domestically and internationally. is shipped to the market. The products are sent to dealers established on a provincial basis. Products are sent abroad on pallets in containers from container ports.



Figure 1. Study Area

Factories ■ with sign and also stores ◆ is indicated by the sign.

Data Collection

At this stage, numerical data for two key elements—cost and demand—along with capacity, should be considered. These values are presented in the Table 1, with figures modified for confidentiality purposes and thus may differ across products. All data is expressed in a single unit based on an equivalent product.

Table 1: Costs and Capacities

Warehouses	Total logistics cost (TL/UNIT)		Fixed cost tl/year	warehouse capacity
	Ayvalık	Edremit		
Ayvalık factory warehouses	11	79	6,200,000	7.050.000
Küçükköy	16	46	4.900.000	4.500.000
Altınova	16	29	7.800.000	5.750.000
Edremit factory warehouses	82	14	4.400.000	3.300.000

Burhaniye	38	17	6.100.000	2.250.000
Altınoluk	54	32	4.200.000	3.150.000
Total Product storage Requirement	18,250,000	2,750,000		

At this stage, it is essential to specify the components of cost and capacity elements and define their scope. While production, storage, and shipment of products of varying weights and volumes are addressed, all products are evaluated on an equivalent unit basis. Accordingly, demand, capacity, and cost values—expressed in terms of the equivalent unit product—are provided in the table. Warehouse and factory costs include transportation expenses between these points, encompassing storage-related costs and transportation costs to delivery destinations.

This scope includes transportation costs from the factory to the warehouse, storage costs, and average transportation costs from the warehouse to customers. Transportation costs between the factory and its associated warehouse (such as forklift operations) are considered negligible. Transportation costs from the warehouse to delivery points reflect nationwide averages, including those for export ports in Türkiye. The fixed costs of warehouses encompass rents, insurance, depreciation, security, general expenses, and any additional incidental costs. Total product storage requirements are determined based on annual production plans and represent the consolidated form of unit storage needs projected on a per-unit basis. The capacities of the warehouses are calculated according to physical conditions, representing the volumetric equivalents of available space on a per-unit basis. Upon examining the data, it is evident that the available storage capacity exceeds the actual storage requirements.

Methodology

This paper applies a Capacitated Plant Location Problem (CPLP) approach to evaluate potential sites for warehouse establishment. To achieve this, various optimization software tools were employed, including LINGO, GAMS, and Excel Solver. [4], [6], [7]

LINGO is a high-level modeling system specifically designed for mathematical programming and optimization. It was utilized to find the optimal solution for the CPLP, allowing for a comprehensive analysis of potential warehouse locations based on predefined constraints and objectives.

Excel Solver is a powerful tool that employs mathematical algorithms to solve optimization problems, including the Capacitated Facility Location Problem [6]. This tool enables businesses to manipulate and analyze data effectively, helping them to identify the most optimal solutions tailored to their specific needs. In the context of warehouse decision-making, Excel Solver assists in determining the best locations for warehouses by considering factors such as demand, capacity, and other relevant criteria.

GAMS (General Algebraic Modeling System) is another optimization software that facilitates complex modeling of mathematical programming problems. It provides a flexible platform for formulating and solving large-scale optimization issues, further enhancing the analysis of warehouse site selection in this study.

Through the integration of these tools—LINGO for optimal solution finding, Excel Solver for data analysis and manipulation, and GAMS for complex modeling—this study comprehensively addresses the challenges associated with warehouse establishment.

The Capacitated Plant Location Model

This model is a network optimization model that builds upon a demand allocation framework, incorporating decisions regarding facility openings and closures. Once facilities are opened, the model determines how to allocate resources from these facilities to meet customer demand and source suppliers effectively.

Given a set of supply sources (with specified capacities) and a set of customers (with specified demands), the model identifies which facilities should be operational and determines the optimal allocation of supply from these open facilities to customers to minimize total costs. [2]

Problem Formulation

The capacitated plant location network optimization model requires the following inputs

n = number of potential plant location/capacity (each level of capacity will count as separate location)

m = number of market or demand points

D_j = annual demand from market j

K_i = potential capacity of plant i

f_i = annualized fixed cost of market of keeping plant i open

C_{ij} = cost of producing and shipping one unit from plant i to market j (cost includes production, inventory, transportation and tariff)

decision variables

y_i = 1 if plant i is open 0 otherwise

X_{ij} = quantity shipping from plant i to market j

the problem is then formulated as the following mixed interger program :

MIN

$$\sum_{i=1}^n f_i y_i + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$i=1$
 $j=1$

n

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = D_j \text{ for } j = 1, \dots, m \quad Eq = (1)$$

m

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq K_i y_i \text{ for } i = 1, \dots, n \quad Eq = (2)$$

$$y_i \in \{0,1\} \text{ for } i=1, \dots, n, X_{ij} \geq 0 \quad Eq = (3)$$

The objective function aims to minimize the overall cost associated with establishing and running the network, which includes both fixed and variable costs. Equation 1 ensures that the demand in each regional market is met, meaning that the network must be able to satisfy the required demand in every market. Equation 2 imposes a constraint that prevents any plant from supplying more than its capacity. In the context of this constraint, if a plant is closed, its capacity is considered as zero, while if it is open, its capacity is denoted as K_i . The term $K_i y_i$ represents the product of these factors, effectively capturing the impact of whether a plant is open or closed. Finally, Equation 3 enforces that each plant can only be in one of two states: open ($y_i = 1$) or closed ($y_i = 0$)

Results And Discussion

Lingo

According to the solution obtained by LINGO, the most optimal decision to meet customer demand and optimize warehouse operations is to open all of the facilities. The LINGO solver's results suggested that opening all the facilities

Excel Solver

Excel Solver is a powerful tool that uses mathematical algorithms to solve optimization problems, such as the Capacitated Facility Location problem in your case study. It allows businesses to analyze and manipulate data to find the most optimal solution for their specific needs. In the case of warehouse open and close decision making, Excel Solver can help determine the best locations for warehouses based on demand, capacity, and other factors.

x_{ij} quantity shipped from warehouses i to market j

y_i : open facility in city i ; yes open ;0 no do not open

Table 2 excel solution decision variables

Warehouses	total logistics cost (TL/UNIT)		open facility I YES /NO	sum of production at each location	capacity Y
	Ayvalık	Edremit			
Ayvalık factory warehouses	3800000	0	1	3800000	₺ 7,050,000
Küçükköy	0	2750000	1	2750000	₺ 4,500,000
Altınova	5750000	0	1	5750000	₺ 5,750,000
Edremit factory warehouses	3300000	0	1	3300000	₺ 3,300,000
Burhaniye	2250000	0	1	2250000	₺ 2,250,000
Altınoluk	3150000	0	1	3150000	₺ 3,150,000

total Product storage Requirement	sum shipped to	18,250,000	2,750,000
	Must Equal Demand	18.250.000	2.750.000

OBJECTIVE FUNCTION = FIXED COST +VARIBALE COST

COST 6,200,000

Based on the results obtained from the Excel Solver, it was determined that the most effective decision to meet the demand and optimize warehouse operations is to open all of the facilities. The Solver analysis indicated that opening all the facilities would ensure sufficient capacity to fulfill customer demand while maintaining operational efficiency. This outcome was derived through an evaluation of various factors and constraints using the Excel Solver, providing a rational and data-driven solution for warehouse optimization. [2]

```

S O L V E      S U M M A R Y

MODEL  plant_location      OBJECTIVE  Z
TYPE    MIP                DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER  CPLEX              FROM LINE  41

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      8 Integer Solution
**** OBJECTIVE VALUE    345350.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.086      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT   13         20000000000

IBM ILOG CPLEX   Jul  4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VSS x86/MS Windows
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.
MIP status(102): integer optimal, tolerance
Fixed MIP status(1): optimal
Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:      345350.000000      (7 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      345350.000000      (6 iterations)

Best possible:     341092.222222
Absolute gap:      4257.777778
Relative gap:      0.012329
    
```

Figure 4. Gams Optimal Solution

For my case study, my goal was to determine the most efficient and effective solution for the warehouse open and close decision making problem. After analyzing the results obtained from different software and solvers, it was determined that the most efficient and cost-effective decision for optimizing warehouse operations is to close one facility. Specifically, based on the GAMS solution, it was concluded that the **Altınoluk** facility should be closed [3], [4]

In addition, while other software may suggest opening all facilities, GAMS specifically determined that only 5 facilities need to be opened in order to achieve the most optimal solution for warehouse open and close decision making

Table 3 Summarizing the results from each software, emphasizing the optimal solution and cost minimization

Software	Optimal solution	cost	Decision outcome
Lingo	Open all six facilities	301250,000	Open all facilities
Excel solver	Open all six facilities	6,200,000	Open all facilities
GAMS	Open five facilities close Altınoluk	345350,000	Minimised only five facilities cost opening

Conclusion

In this case study, the objective was to optimize warehouse operations and make informed decisions regarding the opening and closing of warehouses in the olive oil products category. Three different solvers were used to address the capacity location model and obtain varying solutions.

By utilizing these solvers, it was possible to assess factors such as customer demand patterns, transportation costs, and storage capacity in order to determine the most efficient and effective solution. The results obtained from the solvers provided valuable insights into the warehouse open and close decision-making problem. These solutions can help enhance operational efficiency, minimize costs, and maintain high service levels in the supply chain for the company. Among these solvers, GAMS was found to provide the closest and most suitable solution. By leveraging GAMS, the case study successfully addressed the warehouse open and close decision-making problem.

References

- [1]. Zhu, Z., Chu, F., Sun, L. (2010). The capacitated plant location problem with customers and suppliers matching. [Transportation research part E logistics and transportation review], [Volume 46](Issue 3), 469-480
- [2]. Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Network optimization models . In S. Chopra & P. Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (6th ed., pp. 129-130).
- [3]. Ocampo, L., Genimelo, G. J., Lariosa, J., Guinitaran, R., Borromeo, P. J., Aparente, M. E., Capin, T., & Bongo,. Warehouse location selection with TOPSIS group decision making under different expert priority allocations. Engineering Management in Production and Services. R[sciendo Volume 12 • Issue 4 • 2020].
- [4]. Liu, C., Chen, Z., & Gong, Y. (2013). Site selection of emergency material warehouse under fuzzy environment. Journal of Central South University. Retrieved from .Volume 20, pages 1610–1615
- [5]. . Guastaroba, G., & Speranza, M.G. (2013). A heuristic for BILP problems: The Single Source Capacitated Facility Location Problem. [European Journal of Operational Research . vol. 238(2), pages 438-450.
- [6]. Sridharan, R. (1995). The capacitated plant location problem. [European Journal of Operational Research Volume 87, Issue 2, Pages 203-213
- [7]. Zhengyi Li and Jiangtao Hai, 2019 ‘ A Capacitated Location-Inventory Model with Demand Selection’ Volume 2019 11 pages



www.internationalstudentsymposium.com

"Bu proje T.C. İçişleri Bakanlığı Sivil Toplumla İlişkiler Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmektedir."