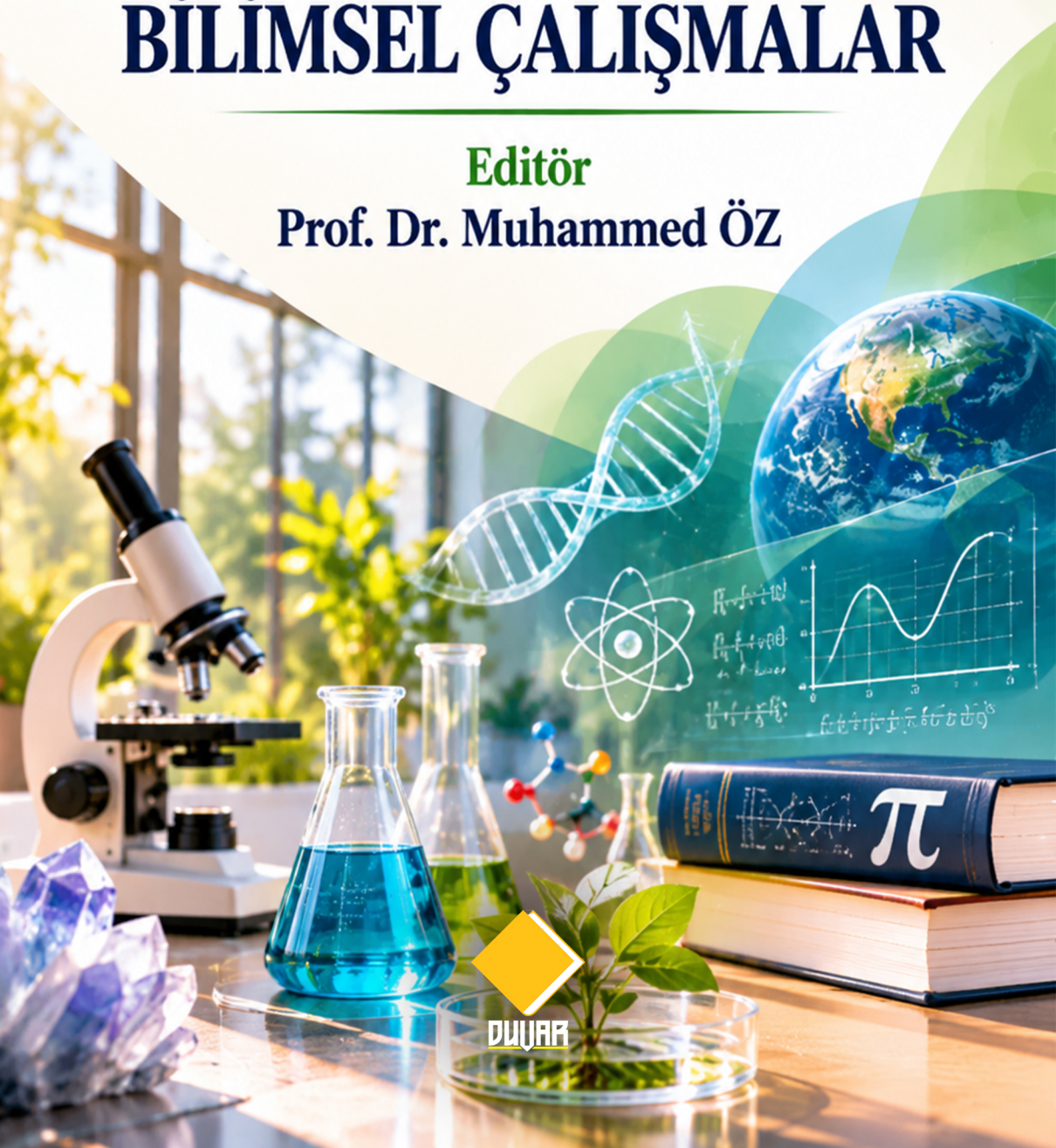
DOĞA BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR VE BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Editör
Prof. Dr. Muhammed ÖZ



DUVAR

DOĞA BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR VE BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Editör

Prof. Dr. Muhammed ÖZ*

* hORCID: 0000-0003-0049-0161

Doğa Bilimleri ve Matematikte Yenilikçi Yaklaşımlar ve Bilimsel Çalışmalar

Editör
Prof. Dr. Muhammed ÖZ

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan BALPETEK
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar DESIGN
Basım Tarihi: Ekim 2026
Yayıncı Sertifika No: 49837
E-ISBN: 978-625-5471-57-4

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

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

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm 1

Yenilebilir Kaplama ve Filmler

Biyopolimer Matrisler Aktif Bileşenler ve Gıdaların Raf Ömründeki Güncel Uygulamaları

Ömer ÖDEMİŞ

2. Bölüm 22

Doğal Derin Ötektik Çözücüler

Hazırlanması, Özellikleri, Ekstraksiyon Uygulamaları ve Sürdürülebilir Kimyadaki Yeri

Ömer ÖDEMİŞ

3. Bölüm 43

X-Işını Kırınımı (XRD) ile Yarıiletken Malzemelerin Yapısal Karakterizasyonu

ESRA BALCI

4. Bölüm 53

Rastgele Blok Tasarımında Friedman ve Doksum Testlerinin Karşılaştırılması: Uygulama ve Monte Carlo Simülasyon Çalışması

Hasan Hüseyin GÜL, Çetin Cemal ÖZEKEN

5. Bölüm 70

Pandemi Döneminin E-Hizmet Kalitesine Etkisi:

Pandemi Öncesi ve Sonrası E-Ticaret Tutumlarının Karşılaştırmalı Analizi*

Gülşah KOÇ, Eylem DENİZ

6. Bölüm 94

Gözlük Camlarının Manuel Kesimi ve Montajı:

Reçeteden Gözlüğe Uygulamalı Bir Rehber

Osman ARMAĞAN, Esra ARMAĞAN

7. Bölüm 117

Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinde Göz Sağlığı

Farkındalığı: Gözlük Kullanım Alışkanlıkları ve Bilgi Düzeyleri

Osman ARMAĞAN, Batuhan NAZLI

1. Bölüm

Yenilebilir Kaplama ve Filmler Biyopolimer Matrisler Aktif Bileşenler ve Gıdaların Raf Ömründeki Güncel Uygulamaları

Ömer ÖDEMİŞ [1]

Özet

Petrol kökenli ambalajların çevreye verdiği zarar, gıda kayıplarının azaltılması ihtiyacı ve tüketicilerin işlenmiş ürünlerden uzaklaşmak istemesi, yenilebilir film ve kaplamalara yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Yenilebilir filmler gıdadan ayrı olarak hazırlanıp ürün yüzeyine yerleştirilen ince tabakalardır. Yenilebilir kaplamalar film oluşturucu çözeltinin doğrudan gıda yüzeyine uygulanmasıyla meydana gelir. Her iki sistem de su buharı, oksijen, karbondioksit, aroma ve yağ geçişine karşı düzenlenebilir; bariyer görevi görebilir ve antioksidan, antimikrobiyal, antiviral ya da probiyotik bileşenler için taşıyıcı görevi görebilir. Bu bölümde polisakkarit, protein, lipit ve kompozit esaslı yenilebilir sistemlerin yapısı; plastikleştirici, çapraz bağlayıcı ve aktif ajanların işlevleri; döküm, daldırma, püskürtme, kısmi kaplama, elektrospinning ve ultrason destekli üretim yaklaşımları değerlendirilmiştir. Film kalınlığı, mekanik davranış, su buharı gaz ve partikül geçirgenliği, optik özellikler, morfoloji, kimyasal etkileşimler, termal kararlılık ve biyolojik aktivite arasındaki ilişkiler açıklanmıştır. Ayrıca meyve ve sebzeler, taze kesilmiş ürünler, mantarlar, et ürünleri, deniz ürünleri ve model gıdalardaki uygulamalar karşılaştırılmıştır. Güncel çalışmalar, uygun matris ve aktif bileşen seçiminin kütle kaybını, solunumu, enzimatik esmerleşmeyi, oksidasyonu ve mikrobiyal gelişmeyi azaltabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte laboratuvar ölçeğinde elde edilen olumlu sonuçların ticari kullanıma aktarılması; güvenlik, duyusal kabul, mevzuat, üretim tekrarlanabilirliği, maliyet ve endüstriyel ölçeklendirme bakımından kapsamlı doğrulama gerektirir. Bölüm, yenilebilir film ve kaplamaların tek başına geleneksel ambalajın tam karşılığı olmadığını, ürün özelliklerine göre tasarlanmış çok engelli koruma sistemlerinin bir bileşeni olarak daha gerçekçi bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: yenilebilir film, yenilebilir kaplama, biyopolimer, aktif ambalaj, antimikrobiyal, antioksidan, raf ömrü, gıda koruma

1 | Bitlis Eren Üniversitesi, oodemis@beu.edu.tr | ORCID Number: https://orcid.org/0000-0001-6892-622X

1 Giriş

Gıdanın üretimden tüketime kadar geçen süreçte fiziksel hasar, nem kaybı, oksidasyon, enzimatik reaksiyonlar ve mikroorganizma gelişimi nedeniyle bozulması hem ekonomik kayıp hem de çevresel yük oluşturur. Özellikle yüksek su aktivitesine ve aktif metabolizmaya sahip meyve, sebze, mantar, et ve deniz ürünlerinde kalite kaybı hasattan ya da üretimden hemen sonra başlar. Soğutma, modifiye atmosfer, kimyasal koruyucular ve sentetik ambalajlar bu değişimleri yavaşlatabilse de her yöntemin enerji tüketimi, atık oluşumu, kalıntı kaygısı veya maliyet gibi sınırlılıkları vardır. Bu nedenle gıda yüzeyinde yenilebilir ve biyobozunur bir koruma tabakası oluşturan film ve kaplamalar, sürdürülebilir ambalaj araştırmalarının önemli bir alanına dönüşmüştür (Azeredo vd., 2022; Gupta vd., 2024; Hassan vd., 2018; L. Kumar vd., 2025).

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıdayla temas etmesi ve gerektiğinde gıdayla birlikte tüketilmesi amaçlanan ince biyopolimer tabakalardır. Bu tabakalar çevre ile gıda arasında seçici bir kütle aktarım direnci oluşturur. Başarılı bir sistem, ürünün tamamen havasız kalmasına yol açmadan oksijen ve karbondioksit geçişini sınırlar; yüzeyden su kaybını azaltır; aroma bileşenlerinin uzaklaşmasını veya istenmeyen dış bileşenlerin ürüne geçişini yavaşlatır. Aynı zamanda yüzey hasarını azaltan mekanik bir destek sağlar. Ancak bu yararlar bütün film ve kaplamalarda aynı düzeyde ortaya çıkmaz. Matrisin kimyasal yapısı, kalınlık, homojenlik, bağıl nem, depolama sıcaklığı, aktif bileşenlerin çözünürlüğü ve hedef gıdanın solunum hızı birlikte belirleyicidir(Azeredo vd., 2022; Chettri vd., 2023; Gupta vd., 2024).

Son yıllardaki eğilim, yalnızca pasif bariyer oluşturan tabakalardan aktif ve işlevsel sistemlere geçiş yönündedir. Bitki özütleri, fenolik bileşikler, uçucu yağlar, organik asitler, peptitler, bakteriyofajlar, probiyotikler ve bazı nanoölçekli yapılar film matrisi içine eklenerek antimikrobiyal, antioksidan, antiviral veya kontrollü salım özellikleri kazandırılmaktadır(García-Anaya vd., 2023; L. Kumar vd., 2025; Leite vd., 2023; Orhotohwo vd., 2024; Yang vd., 2024). Böylece film ya da kaplama, gıda yüzeyindeki bozulma mekanizmasına doğrudan müdahale eden bir taşıyıcı hâline gelir. Aktif ajanı doğrudan gıdaya katmak yerine bir film içinde tutmak; bileşenin yüzeyde yoğunlaşmasını, daha yavaş salınmasını ve daha düşük miktarla işlev göstermesini sağlayabilir. Buna karşılık aktif bileşenin matrise bağlanması biyoyararlanımı azaltabilir, renk ve tat değişimine yol açabilir veya mekanik yapıyı zayıflatabilir.

Bu bölüm; yenilebilir film ve kaplamaların bileşim, yapı, üretim, performans ve gerçek gıda uygulamaları arasındaki ilişkileri güncel derlemeler ve deneysel çalışmalar temelinde değerlendirmektedir. Tarımsal yan ürünler, aktif bitkisel bileşenler, prebiyotik ve probiyotik taşıma, bakteriyofajlar, antiviral sistemler ve ölçeklendirme gereksinimleri aynı çerçevede ele alınmıştır.

Alan yazındaki son gelişmeler, yenilebilir ambalaj tasarımının artık yalnızca uygun bir biyopolimer seçme problemi olarak görülemeyeceğini göstermektedir. Aynı hammaddenin döküm, ekstrüzyon, daldırma, püskürtme veya elektro-eğirme ile işlenmesi; oluşan tabakanın kalınlığını, gözenekliliğini, yapışmasını ve aktif bileşen salımını değiştirmektedir. Benzer biçimde emülsiyon damlacıklarının boyutu, film oluşturucu çözeltinin akış davranışı ve kuruma kinetiği, laboratuvarda ölçülen bileşim kadar belirleyici olabilir. Bu nedenle bölümde malzeme seçimi ile proses seçimi birlikte değerlendirilmiş; ölçek büyütme açısından viskozite, yüzey ıslanması, kurutma süresi ve üretim hızı gibi mühendislik değişkenlerine daha geniş yer verilmiştir.

2 Temel kavramlar ve işlevsel yaklaşım

2.1 Yenilebilir film ve kaplama ayrımı

Yenilebilir film, çoğunlukla film oluşturucu çözeltinin düz bir yüzeye dökülmesi, kurutulması ve oluşan tabakanın yüzeyden ayrılmasıyla hazırlanır. Elde edilen bağımsız tabaka daha sonra gıdaya sarılabilir, gıda bileşenleri arasında ayırıcı olarak kullanılabilir veya ambalajın iç kısmına yerleştirilebilir. Yenilebilir kaplama ise aynı ya da benzer film oluşturucu çözeltinin daldırma, püskürtme, fırçalama veya damlatma yoluyla doğrudan ürün yüzeyine uygulanması ve yüzeyde kurutulmasıyla oluşur. Bu nedenle film özellikleri standart kalıplarda daha kolay ölçülürken kaplama performansı ürün geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, ıslanabilirlik ve kaplama kalınlığındaki yerel değişimlerden daha fazla etkilendiği bildirilmektedir (Azeredo vd., 2022; Chettri vd., 2023).

İki kavram literatürde zaman zaman birbirinin yerine kullanılsa da uygulama bakımından ayrım önemlidir. Bağımsız bir filmin çekme dayanımı ve uzama değeri doğrudan ölçülebilir. Ancak aynı çözeltiden gıda üzerinde oluşan kaplamanın gerçek davranışı yapışma, çatlama, yüzeyden ayrılma ve gözenek oluşumu üzerinden değerlendirilmelidir. Laboratuvarda üstün mekanik özellik gösteren bir film çözeltisi, hidrofobik veya mumsu yüzeye sahip bir meyvede homojen yayılmayabilir. Benzer biçimde yüksek bariyer sağlayan kalın bir kaplama, solunum yapan taze ürünlerde anaerobik metabolizmayı teşvik ederek istenmeyen tat ve koku oluşturabilir. Yenilebilir film ile yenilebilir kaplama arasındaki üretim ve uygulama farkları Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Yenilebilir film ile yenilebilir kaplama arasındaki temel üretim ve uygulama farkları.

2.2 Pasif aktif ve akıllı sistemler

Pasif yenilebilir sistemlerin temel görevi fiziksel ve kimyasal bir bariyer oluşturmaktır. Aktif sistemler ise matrise eklenen ajanlar yoluyla oksidasyonu, mikrobiyal gelişmeyi veya fizyolojik bozulmayı baskılar. Akıllı sistemler çevresel değişime yanıt verme veya ürün durumu hakkında bilgi üretme amacı taşır. pH duyarlı pigmentler, kontrollü salım yapıları ve uyaranlara yanıt veren hidrojeller bu sınıfa girer. Güncel literatür, bu üç işlevin tek bir sistemde birleştirilmeye çalışıldığını göstermektedir. Örneğin bitki polifenolleri gıdaya antioksidan etki sağladığı gibi ışık geçirgenliğini de azaltabilir. Bazı doğal pigmentler ise renk değişimi yoluyla bozulma göstergesi olarak işlev görebilir (Azeredo vd., 2022; L. Kumar vd., 2025).

Yenilebilirlik, bir malzemenin yalnızca doğal kaynaktan elde edilmesi anlamına gelmez. Formülasyondaki her bileşenin gıda ile kullanım için uygunluğu, kullanılan miktar, saflık, olası göç, sindirim koşullarındaki davranış ve hedef tüketici grubu değerlendirilmelidir. Çapraz bağlayıcılar, yüzey aktif maddeler, çözücüler ve nanoölçekli katkılar ana biyopolimer kadar önemlidir. Bu nedenle “biyobozunur”, “biyobazlı” ve “yenilebilir” terimleri eş anlamlı değildir. Biyobozunur bir ambalaj tüketim için uygun olmayabilir. Her nekadar yenilebilir bir film depolama sonunda bütünüyle biyobozunabilir olsa da belirli katkıların güvenlik sınırlarına bağlıdır.

2.3 Koruma mekanizmaları

Yenilebilir tabakaların koruyucu etkisi dört temel mekanizma üzerinden açıklanabilir. Birincisi, su buharı ve gaz geçişinin düzenlenmesidir. Kaplama, ürün ile çevre arasındaki difüzyon yolunu uzatarak nem kaybını ve oksijen girişini azaltır. İkincisi, yüzeyde mekanik bütünlük oluşturarak zedelenme ve doku kaybını sınırlar. Üçüncüsü, aktif ajanların yüzeyde tutulması ve kontrollü biçimde salınmasıdır. Dördüncüsü ise taze ürünlerde solunum, etilen oluşumu ve enzimatik esmerleşme gibi fizyolojik süreçlerin dolaylı olarak yavaşlatılmasıdır (Abedi-Firoozjah vd., 2025; Chettri vd., 2023).

Bu mekanizmalar arasında her zaman doğrusal bir ilişki yoktur. Su buharı geçirgenliğini azaltmak için lipit oranını yükseltmek filmin kırılganlığını artırabilir. Hidrofilik plastikleştirici esnekliği artırırken su tutma ve geçirgenliği yükseltebilir. Antimikrobiyal uçucu yağ yüksek konsantrasyonda etkili olsa da emülsiyon kararlılığını bozabilir ve duyusal kabulü düşürebilir. Tasarımın amacı tek bir özelliği en yüksek düzeye çıkarmak yerine hedef gıdanın bozulma yolları arasında uygun dengeyi kurmaktır. Yenilebilir tabakaların koruyucu işlevleri arasındaki ilişki Şekil 2'de özetlenmektedir.



Şekil 2. Yenilebilir film ve kaplamaların başlıca koruma mekanizmaları.

3 Matris bileşenleri ve kompozit tasarım

3.1 Polisakkarit esaslı matrisler

Polisakkaritler yenilebilir film ve kaplamalarda en yaygın kullanılan matris grubudur. Nişasta, kitosan, aljinat, selüloz türevleri, pektin, gamlar ve aloe vera jeli bu grupta değerlendirilir. Çok sayıdaki hidroksil veya amino grubu zincirler arası hidrojen bağlarını ve sürekli film oluşumunu destekler. Polisakkarit filmler genellikle oksijen ve aroma bileşenlerine karşı iyi bariyer gösterir; buna karşılık hidrofilik yapıları nedeniyle yüksek bağıl nemde su buharı bariyeri zayıflar (Abedi-Firoozjah vd., 2025; Gupta vd., 2024).

Nişasta düşük maliyeti, yaygın bulunabilirliği ve termoplastik davranışı nedeniyle öne çıkar. Bununla birlikte saf nişasta filmleri kırılgan olabilir ve suya duyarlıdır. Jelatin, selüloz nanolifi, sitrik asit, gliserol ve bitkisel özütlerle oluşturulan karışımlar bu sınırlılıkları azaltmak için kullanılmaktadır. Mango çekirdeği, liçi tohumu ve jackfruit tohumu gibi yan ürünlerden elde edilen nişastalar, bir yandan film matrisi sağlarken diğer yandan atıkların katma değerli kullanımı açısından önem taşır (Bodana vd., 2024; N. Kumar vd., 2024; Wardak vd., 2024).

Mango çekirdeği ve liçi tohumu nişastalarının karanfil uçucu yağı ve ultrasonikasyon içeren farklı nişasta bazlı yenilebilir kaplamaların uygulanması Khasi mandalinalarında dokuz günlük ortam depolaması boyunca fizyolojik kayıp ve kalite değişimleri azaltılmıştır (N. Kumar vd., 2024). Nar kabuğu özütü, mekanik, fiziksel, bariyer ve termal özellikler üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, jackfruit çekirdeği nişastası (%5 a/a) bazlı yenilebilir filmlere ve kaplamalara dahil edilmiş, bunun sonucunda toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasiteyi yükseltmiş, beyaz üzümlerde depolama kalitesini desteklemiştir (Bodana vd., 2024).

Kitosan, kitinin deasetilasyonu ile elde edilen katyonik bir polisakkarittir. Film oluşturma, biyouyumluluk ve doğal antimikrobiyal özellikleri nedeniyle özellikle meyve kaplamalarında kullanılır. Pozitif yüklü amino gruplarının mikrobiyal hücre yüzeyiyle etkileşimi geçirgenlik değişimine ve hücresel bileşen kaybına katkıda bulunabilir. Ancak antimikrobiyal etkinlik deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı, pH ve hedef mikroorganizmaya bağlıdır. Kitosan filmlerinin su duyarlılığı ve sınırlı esnekliği, gliserol gibi plastikleştiriciler ve diğer biyopolimerlerle karışım yoluyla düzenlenir (S. Kumar vd., 2025; Lee vd., 2025; Pavinatto vd., 2020; Yan vd., 2024). Çilek üzerinde kitosan esaslı filmler mekanik ve biyolojik koruma sağlarken su kestanesi kabuğu özütüyle zenginleştirilen kitosan sistemleri antioksidan kapasiteyi, UV bariyerini ve ortam koşullarındaki depolama performansını artırmıştır (S. Kumar vd., 2025).

Aljinat, kahverengi alglerden elde edilen ve guluronik ile mannuronik asit birimlerinden oluşan anyonik bir polisakkarittir. İki değerlikli iyonlarla, özellikle kalsiyumla, iyonik olarak çapraz bağlanabilmesi aljinatı kaplama teknolojileri için değerli kılar. Kalsiyum iyonları guluronat blokları arasında köprü oluşturarak ağ yapısını güçlendirir. Aljinat filmler şeffaflık ve gaz bariyeri bakımından avantajlıdır fakat hidrofilik karakter su buharı geçirgenliğini sınırlar. Gliserol oranı esnekliği, sitrik asit ise esterleşme ve ağ yapısı üzerinden dayanımı etkiler (Abedi-Firoozjah vd., 2025; Aggarwal vd., 2025; Duong vd., 2023; Rangel-Marrón vd., 2019; Tavassoli-Kafrani vd., 2016). Papaya püresi esaslı aljinat sistemlerinde aljinat, gliserol ve sitrik asit düzeylerinin birlikte optimize edilmesiyle yüzey katı yoğunluğunu önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Rangel-Marrón vd., 2019). Hekzil asetat ve zenginleştirilmiş kalsiyum klorürle çapraz bağlanmış alijinat taze kesilmiş gül elmasında oksijen ve su buharı geçirgenliğini azaltmış; solunum, esmerleşme ve mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak 4 °C'de 10 günlük koruma sağlamıştır (Duong vd., 2023). Yenilebilir film ve kaplamalarda temel malzeme sınıfları ile kompozit tasarımın fonksiyonelleştirilmesi ile ilgili hedef prormans şekil 3'te gösterilmektedir. Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan temel malzeme sınıfları ile kompozit tasarımın işlevi Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. Yenilebilir film ve kaplamalarda temel malzeme sınıfları ile kompozit tasarımın işlevi.

3.2 Protein esaslı matrisler

Proteinler, düzenli zincir etkileşimleri sayesinde güçlü ve esnek filmler oluşturabilir. Jelatin, soya proteini, yumurta sarısı proteini, peynir altı suyu proteinleri ve ipek fibroin araştırmalarda kullanılan başlıca kaynaklardır. Protein filmleri oksijene karşı genellikle iyi bariyer gösterir; ancak hidrofilik amino asit kalıntıları su buharı direncini azaltır. Isı, pH, enzimatik işlem ve kimyasal çapraz bağlama protein zincirleri arasındaki etkileşimleri değiştirerek mekanik ve bariyer özelliklerini belirler (Aggarwal vd., 2025; Hassan vd., 2018).

Jelatin, kolajenin kontrollü hidroliziyle elde edilir ve termal olarak geri dönüşümlü jel oluşturur. Şeffaflık ve film oluşturma yeteneği yüksektir. Yeşil çay özütü içeren jelatin filmin taze sosis kaplamasında kullanıldığı çalışmada, yüzde 1 özüt içeren film antioksidan aktivitesini 35 gün korumuş ve 48 günlük depolamada kaplanmamış örneklere göre lipid oksidasyonu göstergelerini düşürmüştür(Hamann vd., 2022). Bu sonuç, fenolik bileşenlerin protein matrisi içinde korunabildiğini ve et yüzeyinde işlev gösterebildiğini göstermektedir. Ancak jelatin kaynağına ilişkin kültürel ve alerjenik kaygılar, ürün etiketlemesinde dikkate alınmalıdır.

Protein ve polisakkarit karışımları tek bileşenli sistemlerin eksiklerini dengeleyebilir. Jelatin ve kitosan içeren, Cyclocarya paliurus flavonoidleriyle zenginleştirilmiş kaplamalar soğutulmuş sığır etinde mikrobiyal ve oksidatif kaliteyi korumak amacıyla kullanılmıştır (Yan vd., 2024).

Nişasta ve jelatin karışımları ise saf nişastaya göre daha dengeli mekanik yapı oluşturabilir; Red Crimson üzümlerinde kaplama uygulamasının soğuk depolama kalitesine etkisi bu yaklaşımın erken örneklerindendir (Fakhouri vd., 2015). Karışım oranı kritik önemdedir çünkü protein ve polisakkaritler arasında uyumsuzluk faz ayrılmasına, opaklığa veya kırılganlığa yol açabilir.

3.3 Lipit ve kompozit sistemler

Lipitler düşük polariteleri sayesinde su buharına karşı polisakkarit ve proteinlerden daha güçlü bariyer oluşturabilir. Mumlar, yağ asitleri, monogliseritler ve bitkisel yağlar bu amaçla kullanılır. Saf lipit tabakaları kırılgan, opak veya yüzeye zayıf yapışan yapılar oluşturabildiğinden çoğu formülasyonda hidrofilik biyopolimerlerle kompozit hâlde kullanılır. Emülsiyon tipi kompozit filmlerde lipit damlacıklarının boyutu ve dağılımı bariyer performansını belirler. Faz ayrılması, yüzeyde yağlanma ve kurutma sırasında göç, üretimde kontrol edilmesi gereken sorunlardır (Gupta vd., 2024; Hassan vd., 2018; L. Kumar vd., 2025).

Kompozit sistemler farklı malzeme sınıflarının tamamlayıcı özelliklerinden yararlanır. Polisakkarit sürekli faz mekanik bütünlük ve gaz bariyeri sağlarken lipit faz su buharı geçişini azaltabilir. Protein eklenmesi ağ yoğunluğunu ve yapışmayı iyileştirebilir. Nano boyutlu selüloz, kil veya silika benzeri dolgu maddeleri difüzyon yolunu uzatarak bariyeri güçlendirebilir. Ancak nano dolgu oranı arttıkça topaklanma, kırılganlık ve güvenlik değerlendirmesi gereksinimi de artar.

3.4 Tarımsal yan ürünlerden elde edilen bileşenler

Tarımsal ve gıda endüstrisi yan ürünleri, yenilebilir filmler için hem polimer hem de aktif bileşen kaynağıdır. Meyve kabukları ve çekirdekleri nişasta, pektin, selüloz, protein, fenolik maddeler ve doğal pigmentler içerir. Bu bileşenlerin film üretiminde kullanılması atık yükünü azaltabilir ve hammadde maliyetini düşürebilir. Ancak "atık kaynaklı" olması kendiliğinden sürdürülebilirlik garantisi vermez. Kurutma, öğütme, ekstraksiyon, çözücü geri kazanımı, saflaştırma ve taşıma basamaklarının enerji ve su tüketimi yaşam döngüsü yaklaşımıyla değerlendirilmelidir (Gaspar & Braga, 2023).

Mango yan ürünlerinden üretilen film ve kaplamalar şeftalinin gaz transferini düzenlemek amacıyla kullanılmıştır (Torres-León vd., 2018). Nar kabuğu özütü, jackfruit tohumu nişastası filmine antioksidan işlev kazandırmıştır (Bodana vd., 2024). Su kestanesi kabuğu özütü kitosan matrisi içinde fenolik ve antimikrobiyal bileşen kaynağı olarak değerlendirilmiştir (S. Kumar vd., 2025). Gül ve kadife çiçeği özütleriyle aktive edilmiş biyobozunur filmler guava kaplamasında kullanılmış ve depolama ömrünü uzatmıştır. Bu örnekler, yan ürünlerin hem taşıyıcı matris hem de aktif ajan sağlayabildiğini göstermektedir. Yenilebilir film ve kaplamalarda matris sınıflarının karşılaştırılması tablo 1'de gösterilmiştir. Başlıca matris sınıfları ve bu sınıfların özellikleri Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Yenilebilir film ve kaplamalarda matris sınıflarının karşılaştırılması.

Matris sınıfı	Başlıca örnekler	Güçlü yönler	Temel sınırlılıklar	Uygun iyileştirme yaklaşımı
Polisakkarit	Nişasta, kitosan, aljinat, pektin, selüloz, gam	İyi film oluşumu, oksijen bariyeri, yaygın kaynak	Yüksek nemde suya duyarlılık	Lipit ekleme, çapraz bağlama, nanolif takviyesi
Protein	Jelatin, soya proteini, yumurta proteini, ipek fibroin	Güçlü ağ, iyi gaz bariyeri, aktif ajan bağlama	Su duyarlılığı, alerjen ve kaynak kaygıları	Polisakkarit karışımı, enzimatik veya kimyasal çapraz bağlama
Lipit	Mum, yağ asidi, bitkisel yağ	Düşük su buharı geçirgenliği	Kırılganlık, opaklık, zayıf yapışma	Emülsiyon ve çok katmanlı kompozit oluşturma
Kompozit	Polisakkarit protein, protein lipit, nanokompozit	Özellikleri hedef ürüne göre dengeleme	Faz ayrılması ve üretim karmaşıklığı	Homojenizasyon, ultrason, uyumlaştırıcı ve kontrollü kurutma
Doğal jel	Aloe vera ve benzeri bitkisel jeller	Basit uygulama, doğal aktif bileşenler	Bileşim değişkenliği ve mikrobiyal kararlılık	Standardizasyon, pastörizasyon ve stabilizasyon

4. Formülasyon ve üretim teknolojileri

4.1 Film oluşturucu çözeltinin hazırlanması

Üretim, biyopolimerin uygun çözücüde çözündürülmesi veya dağıtılmasıyla başlar. Su, yenilebilir sistemlerde en yaygın çözücüdür; ancak kitosan için seyreltik organik asit, hidrofobik aktifler için emülsiyon veya kapsülleme gerekebilir. Çözündürme sıcaklığı ve süresi, polimer zincirlerinin hidratasyonu ve olası bozunma açısından kontrol edilmelidir. Proteinlerde aşırı sıcaklık denatürasyonu artırabilir; nişastada jelatinizasyon düzeyi film yapısını belirler; uçucu yağlarda yüksek sıcaklık aktif kaybına yol açabilir.

Homojenizasyon, aktif bileşenlerin ve lipit damlacıklarının eşit dağılması için kullanılır. Yüksek kesmeli karıştırma ve ultrason, damlacık veya parçacık boyutunu azaltabilir. Mango çekirdeği, liçi tohumu ve mısır nişastası esaslı kaplamalarda ultrason uygulaması, özellikle uçucu yağ içeren formülasyonların parçacık boyutu ve zeta potansiyelini etkilemiştir (N. Kumar vd., 2024). Bununla birlikte uzun veya yüksek güçlü ultrason polimer zincirlerini parçalayabilir, sıcaklığı yükseltebilir ve oksidasyona açık bileşenleri bozabilir. Bu nedenle enerji yoğunluğu, işlem süresi ve sıcaklık birlikte raporlanmalıdır. Film oluşturucu çözeltinin hazırlanmasından uygulamaya kadar izlenen işlem basamakları Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yenilebilir film ve kaplama üretiminin temel işlem basamakları ve kritik kontrol değişkenleri.

4.2 Plastikleştiriciler ve çapraz bağlama

Polimer zincirleri arasındaki güçlü etkileşimler, kurutulmuş filmi sert ve kırılgan hâle getirebilir. Gliserol, sorbitol ve polietilen glikol gibi plastikleştiriciler zincirler arasına girerek serbest hacmi ve hareketliliği artırır. Sonuçta kopma uzaması artarken çoğu zaman çekme dayanımı azalır. Hidrofilik plastikleştiriciler su molekülleriyle etkileştiğinden nem içeriğini, çözünürlüğü ve su buharı geçirgenliğini yükseltebilir. Papaya püresi ve aljinat esaslı sistemlerde gliserol düzeyinin diğer bileşenlerle birlikte yanıt yüzey yöntemiyle optimize edilmesi, tek değişkenli yaklaşımın yetersizliğini göstermektedir (Rangel-Marrón vd., 2019).

Plastikleştirici miktarı yalnızca kuru polimer ağırlığına göre değil, polimerin moleküler yapısı ve ortam bağıl nemi dikkate alınarak belirlenmelidir. Aynı gliserol oranı düşük nemde esnek, yüksek nemde yapışkan bir film oluşturabilir. Bu nedenle mekanik test öncesindeki koşullandırma süresi ve bağıl nem sonuçların karşılaştırılması için zorunlu bilgidir.

Çapraz bağlama, polimer zincirleri arasında iyonik, kovalent veya güçlü fiziksel bağlar oluşturarak ağ yoğunluğunu artırır. Aljinatın kalsiyum iyonlarıyla iyonik çapraz bağlanması en bilinen örnektir. Sitrik asit, nişasta ve selülozun hidroksil gruplarıyla esterleşme yoluyla kovalent bağlar oluşturabilir. Proteinlerde genipin, enzimler veya kontrollü ısıl işlem kullanılabilir. Çapraz bağlama genellikle suda çözünürlüğü ve şişmeyi azaltır, mekanik dayanımı artırır; fakat aşırı bağlanma esnekliği ve aktif madde salımını düşürebilir(Aggarwal vd., 2025; Duong vd., 2023).

4.3 Uygulama ve kurutma yöntemleri

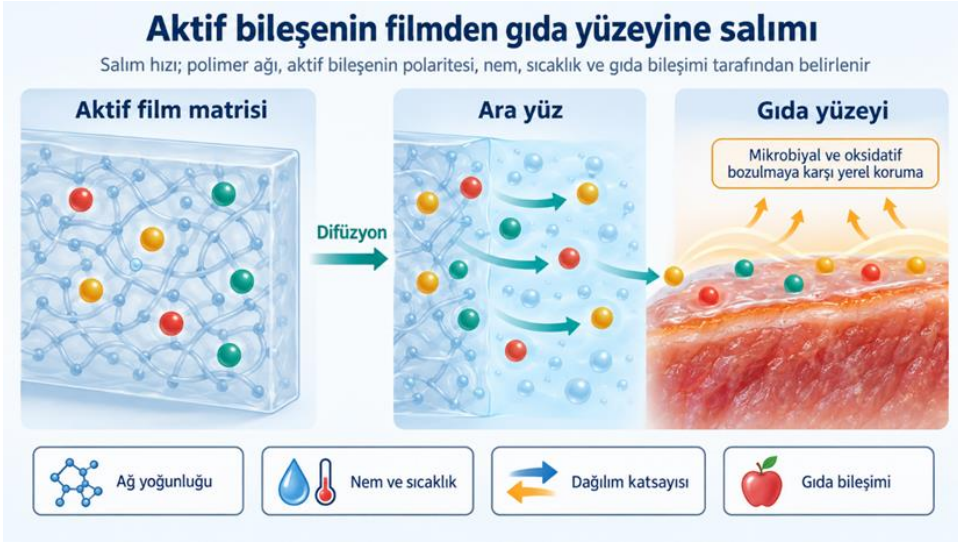
Solvent döküm yöntemi laboratuvar ölçeğinde en yaygın film üretim tekniğidir. Belirli miktardaki film çözeltisi düz bir kalıba dökülür ve kontrollü sıcaklık ile bağıl nemde kurutulur. Yöntem basit ve karşılaştırılabilir numune üretimine uygundur; ancak endüstriyel ölçekte uzun kuruma süresi, enerji tüketimi ve kalınlık farklılıkları sorun oluşturur. Kurutma sıcaklığı yükseldiğinde işlem hızlanır fakat uçucu aktiflerin kaybı, yüzey çatlakları ve polimer faz ayrılması artabilir.

5 Aktif ve işlevsel bileşenler

5.1 Bitki özütleri uçucu yağlar ve doğal antimikrobiyaller

Bitki özütleri yenilebilir film ve kaplamalara antioksidan, antimikrobiyal, renk ve UV bariyeri kazandırmak için kullanılır. Fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve diğer fitokimyasallar serbest radikalleri yakalayabilir, metal iyonlarını şelatlayabilir ve mikrobiyal hücre yapılarıyla etkileşebilir. Ancak özütün toplam fenolik içeriği tek başına film içindeki etkinliği açıklamaz. Ekstraksiyon çözücüsü, bileşen profili, polimerle bağlanma, pH, oksijen ve ışık maruziyeti biyolojik performansı değiştirir.

Fesleğen tohumu gamı ve kekik uçucu yağı içeren aktif filmler bu yaklaşımın bitkisel gam temelli örneğidir (Hashemi & Mousavi Khaneghah, 2017). Mango çekirdeği ve liçi tohumu nişastalarının karanfil yağıyla işlevselleştirilmesi, ultrasonun dağılım kararlılığına katkısını göstermiştir (N. Kumar vd., 2024). Gümüşle modifiye SiO_2 ile tarçın yağının aynı kitosan sisteminde kullanılması, farklı antimikrobiyal mekanizmaların birleştirildiği çok bileşenli bir tasarımdır. Böyle kombinasyonlarda olası sinerji kadar toplam göç ve duyusal yük de değerlendirilmelidir. Aktif bileşenin film matrisinden gıda yüzeyine taşınma aşamaları Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Aktif bileşenin film matrisi içinden gıda yüzeyine salımı ve salımı belirleyen başlıca değişkenler.

Aktif bileşen gruplarının beklenen işlevleri ve tasarımda kontrol edilmesi gereken noktalar Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Aktif bileşen grupları için tasarım dikkate alınacak hususlar.

Aktif grup	Beklenen işlev	Başlıca örnek	Tasarımda kontrol edilmesi gereken konu
Bitki özütü	Antioksidan ve antimikrobiyal etki	Yeşil çay, nar kabuğu, su kestanesi kabuğu	Bileşim standardı, renk, tat ve matrise bağlanma
Fenolik bileşik	Radikal yakalama ve metal şelatlama	Gallik asit, kateşin, gossypetin	Salım, oksidasyon ve protein etkileşimi
Uçucu yağ	Antimikrobiyal ve aroma etkisi	Kekik, karanfil, tarçın	Emülsiyon kararlılığı, uçuculuk ve duyusal eşik
Antimikrobiyal polimer	Hücre zarı etkileşimi	Kitosan, ε-polilizin	pH, molekül ağırlığı ve hedef mikroorganizma

6 Karakterizasyon ve performans değerlendirmesi

Yenilebilir film ve kaplamaların değerlendirilmesi, yalnızca tek bir fiziksel ölçümle sınırlı tutulmamalıdır. Kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük ve şişme; tabakanın suyla etkileşimini ve uygulama sırasında bütünlüğünü gösterir. Çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastikiyet ise filmin taşınma ve uygulama sırasındaki davranışını açıklar. Su buharı, oksijen ve karbondioksit geçirgenliği mutlaka film kalınlığı, test alanı, sıcaklık ve bağıl nem ile birlikte raporlanmalıdır; aksi hâlde farklı çalışmaların sonuçları sağlıklı biçimde karşılaştırılamaz. Optik özellikler, UV bariyeri, temas açısı, reoloji ve yüzeye yapışma kaplamanın uygulanabilirliğini; FTIR, mikroskobik incelemeler ve termal analizler ise bileşenler arası etkileşimleri ve yapısal kararlılığı ortaya koyar. Antioksidan ve antimikrobiyal testler gerçek gıdadaki etkiyi tek başına kanıtlamaz. Bu nedenle raf ömrü çalışmalarında kütle kaybı, renk, doku, pH, mikrobiyal yük, oksidasyon göstergeleri ve duyusal kabul birlikte izlenmelidir. Karakterizasyon yöntemlerinin sağladığı bilgi ile tek başına kanıtlayamadığı durumlar Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Karakterizasyon yöntemlerinin yorumlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar.

Ölçüm	Sağladığı bilgi	Tek başına kanıtlamadığı konu
FTIR	Fonksiyonel gruplar ve olası moleküler etkileşim	Yeni kovalent bağın kesin oluşumu
SEM	Yüzey ve kesit morfolojisi	Nano ölçekte göç veya kimyasal bağ
XRD	Kristalin düzen ve faz değişimi	Tüm katkıların homojen dağılımı
TGA DSC	Bozunma, geçiş ve termal kararlılık	Gerçek gıda depolama ömrü
Çekme testi	Dayanım, uzama ve rijitlik	Gıda yüzeyine yapışma
Geçirgenlik	Belirli koşulda su buharı veya gaz aktarımı	Farklı nem ve sıcaklıktaki davranış
DPPH ABTS	Kimyasal radikal yakalama kapasitesi	Gıdada oksidasyonun kesin önlenmesi
Agar difüzyon	Difüze olabilen antimikrobiyal etkinlik	Gıda yüzeyinde uzun süreli mikrobiyal kontrol
Hücre canlılığı	Seçilen hücre modelindeki kısa süreli uyumluluk	Kronik tüketim ve tüm popülasyonlar için güvenlik

7. Gıda gruplarına göre uygulamalar

7.1 Meyve, sebze, mantar ve deniz ürünleri

Çilek, yüksek solunum hızı, hassas doku ve fungal bozulma nedeniyle kaplama çalışmalarında sık kullanılan bir modeldir. Kitosan esaslı filmler çilekte mekanik ve biyolojik koruma amacıyla uygulanmıştır (Pavinatto vd., 2020). Su kestanesi kabuğu özütüyle zenginleştirilmiş kitosan kaplama, ortam sıcaklığında sekiz güne kadar daha düşük kütle kaybı, daha yüksek tekstür ve antioksidan kapasite sağlamıştır (S. Kumar vd., 2025). Gümüşle modifiye SiO_2 ve tarçın uçucu yağı içeren kitosan kaplama daha güçlü antimikrobiyal tasarımı temsil eder. Bu sistemlerin karşılaştırılmasında yalnızca çürüme yüzdesi değil, nano katkı göçü ve duyusal değişiklik de dikkate alınmalıdır.

Yeni nesil et kaplamaları gıdayı korumanın yanı sıra durumunu izlemeyi ve yanıt vermeyi hedefler. pH'ya duyarlı pigmentler bozulmayı renk değişimiyle gösterirken; enzim, fenolik ve uçucu yağlar antioksidan ve antimikrobiyal etki sunar. Kontrollü salım aktif maddenin erken tükenmesini önlese de renklerin etle karışması, soğuk zincir kırılmaları ve tüketicinin yanlış yorumlama riski bulunur; bu yüzden akıllı işlevler güvenlik ölçümünün yerini tutmaz, karar desteği sağlar (Shu vd., 2026). Nano katkıların gıdaya göçü, özellikle asidik ve yağlı ortamlarda depolama süresince izlenmelidir. Mikroskopta parçacık görülmesi onun hareketsiz olduğunu göstermez; sindirim simülasyonu iyonlaşma veya korona oluşumunu ortaya koyabilir. Deniz ürünlerini sık tüketenler için kronik maruziyet hesabı porsiyon ve sıklık üzerinden yapılmalı, raf ömrü artışı toksikolojik risklerle birlikte değerlendirilmelidir (Koirala vd., 2023).

7.2 Güvenlik duyusal kalite ve mevzuat

Yenilebilir bir sistemin güvenliği, bileşenlerin doğal kökeninden değil, hedef gıdadaki kullanım düzeyinden, saflığından, gıdaya göçünden ve tüketici maruziyetinden hareketle değerlendirilmelidir. Protein, süt, yumurta, soya, kabuklu deniz ürünü veya gluten kaynaklı matrisler alerjen bildirimini gerektirebilir. Bitki özütleri ve uçucu yağlarda ise bileşim değişkenliği, güçlü tat-koku etkisi ve hassas tüketici grupları için olası riskler dikkate alınmalıdır.

Duyusal kabul, teknik performans kadar belirleyicidir; kaplama renk, parlaklık, yüzey yapışkanlığı, aroma ve ağız hissini olumsuz etkilerse raf ömrü kazancı ticari değer yaratmayabilir. Mevzuat değerlendirmesinde her bileşenin gıda ile temas ve doğrudan tüketim açısından uygunluğu, izin verilen kullanım düzeyi, etiketleme gereklilikleri ve hedef pazarın güncel düzenlemeleri doğrulanmalıdır.

7.3 Sürdürülebilirlik ve endüstriyel ölçeklendirme

Döngüsel hammadde kullanımı çevresel fayda için tek başına yeterli değildir. Yan ürünün toplanması, temizlenmesi, kurutulması, ekstraksiyonu ve formülasyona katılması sırasında kullanılan su, enerji ve yardımcı maddeler; atık oluşumu ve geri kazanım olasılığıyla birlikte yaşam döngüsü yaklaşımı içinde değerlendirilmelidir.

Tarımsal yan ürünlerin kullanılması döngüsellik açısından güçlü bir seçenektir. Mango ve jackfruit çekirdeği nişastası, nar ve su kestanesi kabuğu özütleri ile diğer tarımsal kalıntılar hem atık yönetimine hem de aktif ambalaj hammaddesine katkı sunar(Bodana vd., 2024; Gaspar & Braga, 2023; N. Kumar vd., 2024; S. Kumar vd., 2025; Torres-León vd., 2018). Ancak yan ürünlerin mevsimselliği, mikrobiyal yükü ve bileşim değişkenliği endüstriyel standardizasyonu zorlaştırır. Hammadde kabul kriterleri; nem, kül, polimer saflığı, fenolik profil ve kontaminantlar üzerinden tanımlanmalıdır.

8 Araştırma ve uygulama için değerlendirme çerçevesi

Yeni bir yenilebilir film veya kaplama geliştirilirken önce hedef bozulma mekanizması tanımlanmalıdır. Nem kaybı baskınsa su buharı bariyeri, oksidasyon baskınsa oksijen bariyeri ve antioksidan, fungal bozulma baskınsa uygun antimikrobiyal ajan önceliklidir. Aynı formülasyonda gereksiz sayıda aktif kullanmak etkileşimleri ve mevzuat yükünü artırır.

Raf ömrü deneyi en az üç bağımsız üretim partisini ve depolama boyunca yeterli örneklemeyi içermelidir. Sonuçlar ortalama, değişkenlik ve uygun istatistiksel karşılaştırmayla verilmelidir. Sadece depolama başı ve sonu ölçümü değişimin zamanını göstermez. Güvenlik, duyusal kabul ve göç testleri performans testleriyle aynı geliştirme sürecine alınmalıdır. Laboratuvar ölçeğinden endüstriyel uygulamaya geçiş aşamaları Şekil 6'da özetlenmektedir.



Şekil 6. Yenilebilir film ve kaplama teknolojisinin laboratuvardan endüstriyel uygulamaya aktarılmasında izlenen aşamalar.

9 Sonuç

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda yüzeyinde kütle aktarımını düzenleyen ve aktif bileşenleri hedef bölgede taşıyan işlevsel sistemlerdir. Polisakkaritler film oluşturma ve gaz bariyeri, proteinler mekanik ağ ve aktif bağlama, lipitler ise su buharı direnci sağlar. Kompozit tasarım bu özellikleri dengeleyebilir. Bitki özütleri, fenolikler, uçucu yağlar, ε-polilizin, probiyotikler, bakteriyofajlar ve nano taşıyıcılar koruyucu işlevi genişletir; fakat her katkı güvenlik, salım, duyusal etki ve mevzuat bakımından ayrıca değerlendirilmelidir.

İncelenen çalışmalar, uygun biçimde tasarlanan kaplamaların meyve ve sebzelerde kütle kaybı, solunum, esmerleşme ve çürümeyi; et ve deniz ürünlerinde oksidasyon ile mikrobiyal gelişimi azaltabildiğini göstermektedir. En güvenilir sonuçlar, film karakterizasyonunu gerçek gıda üzerindeki zaman serisiyle birleştiren çalışmalardan elde edilmektedir. İn vitro antioksidan veya antimikrobiyal sonuçların doğrudan raf ömrü iddiasına dönüştürülmesi uygun değildir.

Ticari gelecek, kaplamaların geleneksel ambalajı tümüyle değiştirmesinden çok ürün odaklı çok engelli sistemlere entegre edilmesine bağlıdır. Tarımsal yan ürünlerin kullanımı, kontrollü salım, kısmi kaplama, akıllı göstergeler ve veri temelli optimizasyon önemli gelişme alanlarıdır. Buna karşılık ölçeklendirme, standart test yöntemleri, alerjen ve nano malzeme güvenliği, duyusal kabul ve güncel mevzuata uyum çözülmesi gereken temel konulardır.

Kaynaklar

Abedi-Firoozjah, R., Bahramian, B., Tavassoli, M., Majlesi, M., Ghaderi, S., Assadpour, E., Zhang, F., Sadeghi, E., Bangar, S. P., & Jafari, S. M. (2025). Alginate-based edible films/coatings/nanofibers in food packaging: A comprehensive review of recent advances. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *11*, 100955. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100955

Aggarwal, S., Kathuria, D., & Singh, N. (2025). Edible films and coatings, its chemical crosslinking, starch-protein interaction and application in food system: A systematic review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *306*, 141726. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141726

Azeredo, H. M. C., Otoni, C. G., & Mattoso, L. H. C. (2022). Edible films and coatings – Not just packaging materials. *Current Research in Food Science*, *5*, 1590-1595. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.008

Bodana, V., Swer, T. L., Kumar, N., Singh, A., Samtiya, M., Sari, T. P., & Babar, O. A. (2024). Development and characterization of pomegranate peel extract-functionalized jackfruit seed starch-based edible films and coatings for prolonging the shelf life of white grapes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127234. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127234

Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2023). Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*, *154*, 213632. https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2023.213632

Duong, N. T. C., Uthairatanakij, A., Laohakunjit, N., Jitareerat, P., & Kaisangsri, N. (2023). Cross-linked alginate edible coatings incorporated with hexyl acetate: Film characteristics and its application on fresh-cut rose apple. *Food Bioscience*, *52*, 102410. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102410

Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. I. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*, *109*, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015

García-Anaya, M. C., Sepulveda, D. R., Zamudio-Flores, P. B., & Acosta-Muñiz, C. H. (2023). Bacteriophages as additives in edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, *132*, 150-161. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.01.008

Gaspar, M. C., & Braga, M. E. M. (2023). Edible films and coatings based on agrifood residues: A new trend in the food packaging research. *Current*

Opinion in Food Science, *50*, 101006. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101006

Gupta, D., Lall, A., Kumar, S., Patil, T. D., & Gaikwad, K. K. (2024). Plant-based edible films and coatings for food-packaging applications: Recent advances, applications, and trends. *Sustainable Food Technology*, *2*(5), 1428-1455. https://doi.org/10.1039/D4FB00110A

Hamann, D., Puton, B. M. S., Comin, T., Colet, R., Valduga, E., Zeni, J., Steffens, J., Junges, A., Backes, G. T., & Cansian, R. L. (2022). Active edible films based on green tea extract and gelatin for coating of fresh sausage. *Meat Science*, *194*, 108966. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108966

Hashemi, S. M. B., & Mousavi Khaneghah, A. (2017). Characterization of novel basil-seed gum active edible films and coatings containing oregano essential oil. *Progress in Organic Coatings*, *110*, 35-41. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.04.041

Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 1095-1107. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097

Koirala, P., Nirmal, N. P., Woraprayote, W., Visessanguan, W., Bhandari, Y., Karim, N. U., Nor-Khaizura, M. A. R., & Saricaoğlu, F. T. (2023). Nano-engineered edible films and coatings for seafood products. *Food Packaging and Shelf Life*, *38*, 101135. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101135

Kumar, L., Tyagi, P., Lucia, L., & Pal, L. (2025). Innovations in Edible Packaging Films, Coatings, and Antimicrobial Agents for Applications in Food Industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(4), e70217. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70217

Kumar, N., Khan, A. A., Pyngrope, D., Alanazi, A. M., Upadhyay, A., & Shukla, S. (2024). Development and characterization of novel starch (mango kernel and litchi seed) based active edible coatings and films using ultrasonication: Effects on postharvest shelf life of Khasi mandarins. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *39*, 101610. https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101610

Kumar, S., Shukla, P., Das, K., & Katiyar, V. (2025). Chitosan/water caltrop pericarp extract reinforced active edible film and its efficacy as strawberry coating for prolonging shelf life. *International Journal of Biological Macromolecules*, *307*, 142115. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142115

Lee, C. R., Lee, S. J., Kim, T. I., Chathuranga, K., Lee, J. S., Kim, S., Kim, M. H., & Park, W. H. (2025). Chitosan-gallic acid conjugate edible coating film for perishable fruits. *Food Chemistry*, *463*, 141322. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141322

Leite, A. C. C. O., Cerqueira, M. A., Michelin, M., Fuciños, P., & Pastrana, L. (2023). Antiviral edible coatings and films: A strategy to ensure food safety. *Trends in Food Science & Technology*, *138*, 551-563. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.038

Orhotohwo, O. L., Nartea, A., Lucci, P., Jaiswal, A. K., Jaiswal, S., & Pacetti, D. (2024). Application of sea fennel's bioactive compounds in the development of edible films and coatings: A review. *Food Bioscience*, *61*, 104843. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104843

Pavinatto, A., De Almeida Mattos, A. V., Malpass, A. C. G., Okura, M. H., Balogh, D. T., & Sanfelice, R. C. (2020). Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, *151*, 1004-1011. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.076

Rangel-Marrón, M., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *LWT*, *101*, 83-91. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.005

Shu, D., Yuan, Y., Ma, M., & Xu, J. (2026). Next-generation edible coatings and films for intelligent and sustainable meat preservation: Natural actives, smart design, and integrated technologies. *Journal of Future Foods*, S2772566926000248. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2026.01.010

Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, *137*, 360-374. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074

Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O. B., & Aguilar, C. N. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *LWT*, *97*, 624-631. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057

Wardak, M. H., Nkede, F. N., Van, T. T., Meng, F., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). Development of edible films and partial coating, a novel coating technique for tomato fruits, using citric acid-crosslinked starch and cellulose nanofiber. *Progress in Organic Coatings*, *187*, 108127. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.108127

Yan, J., He, S., Chen, L., Chen, H., Ouyang, K., & Wang, W. (2024). Effect of gelatin-chitosan-Cyclocarya paliurus flavonoids edible coating film on the preservation of chilled beef. *LWT*, *199*, 116138. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116138

Yang, J., Punia Bangar, S., Rizwan Khan, M., Hammouda, G. A., Alam, P., & Zhang, W. (2024). Biopolymer-based packaging films/edible coatings functionalized with ε-polylysine: New options for food preservation. *Food Research International*, *187*, 114390. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114390

2. Bölüm

Doğal Derin Ötektik Çözücüler Hazırlanması, Özellikleri, Ekstraksiyon Uygulamaları ve Sürdürülebilir Kimyadaki Yeri

Ömer ÖDEMİŞ [1]

Özet

Doğal derin ötektik çözücüler (NaDES), doğal kökenli bir hidrojen bağı alıcısı ile hidrojen bağı vericisinin belirli mol oranlarında oluşturduğu, bileşenlerine göre çok daha düşük erime noktasına sahip sıvı karışımlardır. Düşük buhar basıncı, bileşimsel ayarlanabilirlik, basit hazırlama, yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilme ve biyoaktif maddeleri çözme kapasitesi NaDES sistemlerini sürdürülebilir kimyanın önemli araçlarından biri hâline getirmiştir. Bu bölüm, sağlanan güncel yayınlar temelinde NaDES sisteminin kimyasal esaslarını, hazırlama ve karakterizasyonunu, ekstraksiyon verimini belirleyen değişkenleri, bitkisel polifenol ve protein geri kazanımını, analitik uygulamaları, farmasötik ve nanotaşıyıcı yaklaşımları, su arıtımı ve metal geri kazanımındaki potansiyelini tartışmaktadır. Bununla birlikte, "doğal" veya "yeşil" nitelemesinin tek başına düşük toksisite ya da düşük çevresel etki anlamına gelmediği; viskozite, su içeriği, ürünün çözücüden ayrılması, çözücü geri kullanımı ve yaşam döngüsü değerlendirmesinin süreç tasarımında birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: NaDES; derin ötektik çözücü; doğa dostu kimya; biyoaktif bileşik; ekstraksiyon; polifenol; protein geri kazanımı; döngüsel biyoyaklaşım.

1 | Bitlis Eren Üniversitesi, oodemis@beu.edu.tr | ORCID Number: https://orcid.org/0000-0001-6892-622X

1. Giriş

Çözücü seçimi, bir kimyasal prosesin verimi, güvenliği ve çevresel profili üzerinde belirleyici role sahiptir. Uçucu organik çözücüler yaygın kullanılmalarına karşın yanıcılık, toksisite, emisyon ve atık yönetimi açısından önemli sınırlılıklar taşır. Derin ötektik çözücüler (DES), iki veya daha fazla bileşenin güçlü hidrojen bağı etkileşimleriyle erime noktası düşürülmüş sıvı sistemleridir. NaDES ise bu sınıfın şekerler, organik asitler, amino asitler, polioller, betain ve kolin türevleri gibi doğal kaynaklı bileşenlerle oluşturulan alt grubudur (Chen vd., 2025; Thamer & Kumaravel, 2026).

NaDES sistemleri, tek bir çözücüden çok tasarlanabilir bir mikroçevre olarak değerlendirilmelidir. Bileşenlerin türü ve oranı; polariteyi, asitliği, viskoziteyi, su aktivitesini ve çözünmüş bileşikle kurulabilen hidrojen bağı, iyonik etkileşim ve hidrofobik etkileşimleri değiştirir. Bu nedenle bir NaDES formülasyonu her hedef molekül için eşdeğer davranmaz. Son yıllardaki çalışmalar, polifenoller, antosiyaninler, karotenoidler, proteinler, ginsenozitler ve farmasötik adaylarda doğru NaDES bileşimi ile klasik etanol-su veya aseton-su sistemlerine göre daha yüksek geri kazanım ve daha iyi stabilite elde edilebildiğini göstermektedir (Barani Pour vd., 2026; Nam vd., 2026; Patil & Patil, 2026; Tessaro vd., 2026; Tripathi & Suthar, 2025; Wang vd., 2026).

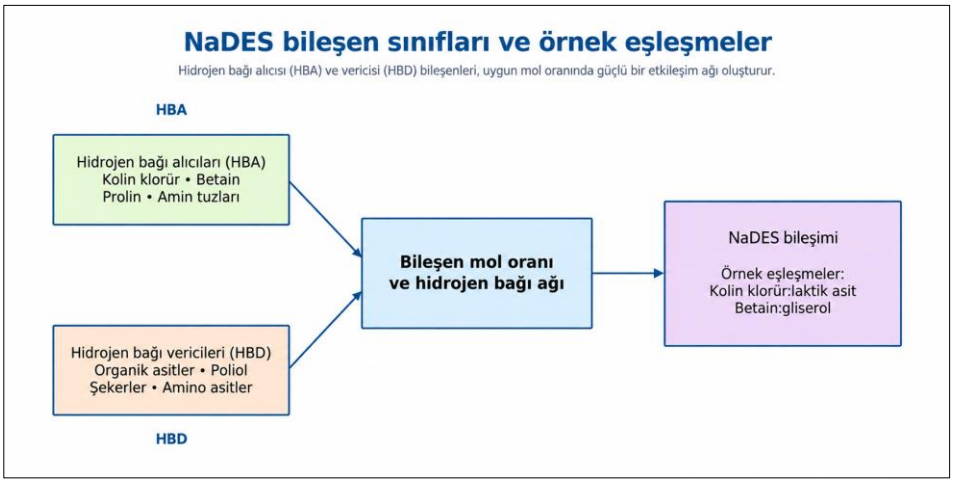
2. NaDES Kavramı ve Kimyasal Temelleri

2.1. Bileşenler ve hidrojen bağı ağı

Bir NaDES'in yapısı genel olarak bir hidrojen bağı alıcısı (HBA) ve bir hidrojen bağı vericisinden (HBD) oluşur. HBA olarak en çok kullanılan bileşenler kolin klorür ve betaindir. Karboksilli asitler (sitrik asit malik asit, laktik asit, oksalik asit, asetik asit ve tartarik asit), polioller ve karbonhitratlar (gliserol, etilen glikol, glukoz, fruktoz, sukroz ve ksilitol / sorbitol), amidler ve aminler (üre, asetamid) ve amino asitler (alanine, prolin, glisin ve glutamik asit) yaygın HBD bileşenleri olarak bilinir. Bileşenler arasındaki güçlü etkileşimler kristal örgüdeki düzeni bozar, böylece karışımın erime noktası hissedilir biçimde düşer ve oda sıcaklığında sıvı bir faz elde edilir (Chen vd., 2025; Masiello vd., 2026). Şekil 1'de NaDES bileşiminde kullanılan bazı HBA ve HBD bileşenleri le oluşan örnek NaDES türlerinin şeması gösterilmektedir.

NaDES sistemindeki doğallık HBA ve HBD maddelerinin kökenine dayanır; her formülasyonun biyobozunurluğu, sitotoksisitesi, ekotoksisitesi ve gıda/farmasötik uygunluğu farklılık arzedebildiği için ayrı ayrı değerlendirilip doğrulanmalıdır. Özellikle kuvvetli organik asit içeren sistemlerde pH, aşındırıcı etki, canlı dokuyu tahrip etme ve hedeflenen molekülün kararlılığı kritik olabilir. Dolayısıyla çevresel iddialar, mümkün olduğunda E-faktörün düşük olması, proses kütle etkinliği, enerji

kullanımı, geri kazanım ve yaşam döngüsü göstergeleriyle desteklenmelidir (Jurić vd., 2025; Thamer & Kumaravel, 2026).



Şekil 1. NaDES bileşen sınıfları, hidrojen bağı ağı ve örnek bileşimler

NaDES oluşumunda, iki bileşenden her zaman sıvı bir sistem elde edileceği anlamına gelmemektedir. A–B ikili faz diyagramında, en düşük erime noktasına karşılık gelen ötektik bileşim, katı ve sıvı faz sınırlarıyla birlikte dikkate alınmalıdır. Bu nedenle HBA/HBD değeri, önemli bir tasarım değişkeni olarak karşımıza çıkar. Bu değer yalnızca deneysel bir ayar olmayıp, sistemin faz davranışını ve sıvılaşma olasılığını da belirler (Choi vd., 2011; Dai vd., 2013).

2.2. Hazırlama yöntemleri

Bir NaDES hazırlarken, bileşenleri belirlenen mol oranında karıştırıp 50-80 °C civarında homojen berrak sıvı oluşuncaya kadar manyetik bir karıştırıcıda karıştırmak en pratik yaklaşım olarak bilinir. Bu yaklaşım hem kolay hem de illave çözücüye ihtiyaç duymaz. Su destekli ısıtma, öğütme, ultrasonik karıştırma ve vakumla su uzaklaştırma gibi yöntemler de bu tür çözücüleri hazırlamak mümkündür. Yöntem seçilirken en önemli hedef oluşacak çözücüdeki su içeriğinin korunmasıdır. Çünkü su NaDES ağını tamamen yok etmeden viskoziteyi azaltabilir, fakat aşırı su ilavesi çözücü davranışını değiştirip klasik sulu çözeltiye yaklaştırabilir (Chen vd., 2025; Thamer & Kumaravel, 2026). Donör ve akseptör olarak kullanılacak bileşenler termal ve kimyasal kararlılıklarına göre seçilerek NaDES hazırlanmalıdır. Örneğin ısıtmalı karıştırma her nekadar pratik olsa da ısıya duyarlı şekerler, organik asitler veya biyoaktif bileşenlerde bozunma ve su kaybı riski oluşabilir. Bu tür sistemlerde uygun olduğu düşünülen alternatifler olarak öğütme,

kontrollü su ilavesi, vakumla uzaklaştırma veya dondurarak kurutmadır. Bütün yöntemlerde son su içeriği ve bileşimin bütünlüğü arasında doğrulama olmalıdır (Chevé-Kools vd., 2025).

2.3. Temel karakterizasyon

NaDES sistemlerinin fiziksel ve kimyasal davranışlarını anlamak, sentezi doğrulamak ve hedeflenen uygulama alanına (örneğin ekstraksiyon, kataliz, malzeme sentezi) uygunluğunu belirlemek için Tablo 1'de gösterilen temel karakterizasyon parametrelerine odaklanılmalıdır. Listelenen bu parametreler, hem çözücünün temel fizikokimyasal doğasını netleştrime hem de süreç tasarımlarında karşılaşılacak teknik eksiklikleri önceden sezmek ve buna göre önlem almak açısından kritik rollere sahiptir.

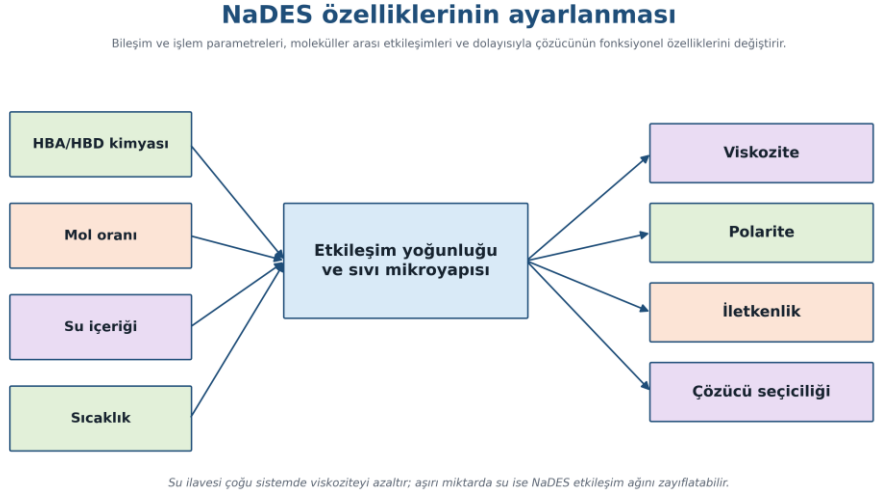
Örneğin NaDES'in yapısına eklenen su eser miktarda bile olsa, moleküller arası kuvvetleri zayıflatarak, vizkozitenin düşmesine neden olur, böylece kütle transferini artırır. Bu oran kritik eşiği aşarsa HBA-HBD arasındaki hidrojen bağlarının kopmasına neden olarak sistemin "ötektik" karakterini yok eder. Böylece sıradan sulu bir çözeltiye döner. Burda uygun olarak kabul edilen yöntem, Karl Fischer titrasyonudur.

Tablo 1. NaDES sistemleri için temel fizikokimyasal karakterizasyon parametreleri.

Parametre	Neden önemlidir?	Uygun yöntem
Su içeriği	Viskoziteyi, polariteyi ve ekstraksiyon seçiciliğini değiştirir.	Karl Fischer titrasyonu veya gravimetrik analiz
Viskozite	Kütle transferini ve işlem enerjisini belirler.	Rotasyonel viskozimetre
Yoğunluk ve iletkenlik	Bileşim kontrolü ve iyonik karakter için yararlıdır.	Piknometre/densitometre, iletkenlik ölçer
pH ve asitlik	Fenolikler, proteinler ve pigmentlerin kararlılığını etkiler.	pH metre; titrasyon
FTIR/Raman	Hidrojen bağı ağındaki değişimleri izler.	FTIR veya Raman spektroskopisi
Termal davranış	İşletme sıcaklığı ve stabilite açısından gereklidir.	DSC ve TGA
NMR / Raman eşlemesi	Bileşenler arası etkileşimi ve olası yapısal değişimi destekler.	1H NMR, 13C NMR veya Raman
Depolama stabilitesi	Zamanla su alma, faz ayrımı ve özellik kaybını gösterir.	Zaman serisinde su içeriği, viskozite ve görünüm takibi

NaDES özelliklerinin ayarlanması mekanizmasını ve girdi parametrelerinin çözücünün nihai fonksiyonel özelliklerine nasıl yansıdığını gösteren bir neden-sonuç akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. NaDES tasarımının reaktant parametrelerinden HBA/HBD kimyası, hidrojen bağı alıcısı ve vericisinin türü, etkileşimlerin gücünü belirlerken, mol oranı bileşenlerin oranı, ötektik davranışı ve hidrojen bağı yoğunluğunu değiştirir. Su içeriği genellikle viskoziteyi azaltır; ama suyun fazlası çözücünün etkileşim ağını zayıflatır. Sıcaklık ise moleküler hareketliliği artırarak viskozite ve kütle transferini etkiler.

Bu parametreler merkezdeki "etkileşim yoğunluğu ve sıvı mikroyapısı" üzerinde birleşir. Yani bileşenler arasında oluşan hidrojen bağı, iyonik ve van der Waals etkileşimlerinin düzenine bağlıdır. Örnek olarak hedef bir fenolik bileşiğin ekstraksiyonu için uygun polarite ve düşük/orta viskozite aranırken; elektrokimyasal bir kullanım için iletkenlik ve elektrokimyasal kararlılık ön plana çıkar.



Şekil 2. Bileşim ve işlem parametrelerinin NaDES fizikokimyasal özelliklerine etkisi.

2.4. Stabilite, su içeriği ve faz davranışı

Su, NaDES sistemini tamamen değiştirebilir. Hidrojen bağı ağını, polariteyi, viskoziteyi ve çözünen–çözücü etkileşimlerini birlikte değiştirebilir. Her sistem kendine özgü davranışı nedeniyle su ilavesinde farklı davranışlar gösterebilir. Bu nedenle başlangıçta eklenen ile ve sonda oluşan su içeriği belirlenmeli; NMR veya titreşim spektroskopisiyle etkileşim değişimi, zaman serisiyle de faz ayrımı ve depolama stabilitesi izlenmelidir (Chevé-Kools vd., 2025; Dai vd., 2013).

3. NaDES ile Ekstraksiyonun Tasarımı

NaDES ile ekstraksiyon, sadece çözücüyü değiştirmekle hedefe ulaşılamayacağından, hedef molekülün kimyasal yapısı ve matriks ile uyumlu bir sıvı faz tasarlamayı da gerektirir. Polar fenolik asitler, flavonoidler ve antosiyaninler için organik asit veya poliol içeren hidrofilik NaDES sistemleri çoğu kez etkilidir. Karotenoidler gibi lipofilik bileşikler için ise mentol, yağ asidi veya terpen temelli hidrofobik NaDES sistemleri daha uygun olabilir (Nam vd., 2026; Tessaro vd., 2026).

Ekstraksiyon performansı HBA/HBD mol oranı, su içeriği, katı/sıvı oranı, sıcaklık, süre, parçacık boyutu, karıştırma hızı ve ultrason/mikrodalga gibi proses destekleri tarafından birlikte belirlenir. Yüksek Viskoziteye sahip bir sistemde kütle transferi yavaşlayabilir. Bu sınırlama, sınırlı ve belirli oranda su eklenmesi, belirli bir sıcaklığa yükseltilmesi veya ultrason yardımıyla azaltılabilir; fakat artan sıcaklık ve asitlik termolabil bileşiklerde bozunma riski doğurur (Henares vd., 2026; Tripathi & Suthar, 2025; Wang vd., 2026).

3.1. Ekstraksiyonda önerilen optimizasyon yaklaşımı

NaDES tabanlı ekstraksiyon süreçlerinin geliştirilmesinde izlenen sistematik yaklaşım beş temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

İlk Tarama: Sürecin başlangıcında belirlenen 4-8 farklı NaDES formülasyonu, standart referans çözücüler olan su ve etanol sistemleri ile aynı deneysel koşullar altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilir.

Ön Seçim: İleriki aşamalara geçecek potansiyel çözücülerin belirlenmesinde; toplam fenolik madde miktarı, hedef bileşik verimi, ekstrakt rengi ve antioksidan kapasite parametreleri bir arada ele alınarak çok kriterli bir eleme gerçekleştirilir.

Optimizasyon: Ön seçim aşamasında öne çıkan 1-2 NaDES sistemi için su içeriği, ekstraksiyon sıcaklığı, işlem süresi ve katı/sıvı oranı gibi kritik süreç parametreleri; faktöriyel tasarım veya Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) kullanılarak sistematik biçimde optimize edilir.

Doğrulama: Belirlenen optimum koşulların güvenilirliği, en az üç bağımsız ekstraksiyon tekrarı, uygun kör numuneler ve referans çözücüler ile yürütülen istatistiksel analizler aracılığıyla doğrulanır.

İşlenebilirlik ve Sürdürülebilirlik: Prosesin ölçeklenebilirliğini değerlendirmek amacıyla elde edilen ürünün stabilitesi, çözücünün geri kazanımı ve tekrar kullanılabilirliği incelenmekte; ayrıca temel yeşil kimya metrikleri uygulanarak sürecin çevresel profili ortaya konmaktadır.

4. Bitkisel Biyoaktiflerin Geri Kazanımı

4.1. Polifenoller ve antosiyaninler

Polifenol ekstraksiyonu NaDES uygulamalarının en yoğun olduğu alandır. Tarımsal ve gıda endüstrisi yan ürünleri, fenolik asitler, flavonoidler ve renk maddeleri için önemli kaynaklardır. Bir çalışmada bira posasında kolin klorür/laktik asit ve betain/gliserol sistemleri, klasik aseton-su ekstraktına göre daha yüksek oranda toplam fenolik madde değerleri sağlamıştır. Aynı çalışmada ferulik asit, p-kumarik asit ve kateşinin geri kazanımında da iyileşme sağlanmıştır (Yin vd., 2026). Bu durum, çözücü bileşiminin sadece toplam verimi değil, moleküler seçiciliği de değiştirdiğini gösterir.

Üzüm posası üzerine yapılan çalışmalar, NaDES sisteminin, ekstraksiyonu iyi yönettiğini aynı zamanda stabilizasyon aracı olabileceğini ortaya koymaktadır. Kolin klorür/1,2-propandiol ve kolin klorür/gliserol sistemleri, malvidin ve pelargonidin türevlerinin geri kazanımını etanolün kullanıldığı ekstraksiyon sistemlerine göre daha yüksek oranda sağladığı bildirilmektedir. Asit/poliol içeren üçlü NaDES sistemleri, fenolik yapıların depolama sürecindeki korunmasına ve antioksidan aktivitenin sürdürülmesine katkı sağladığı da bildirilmektedir (Muhammad vd., 2026). Yürütülen çalışmada ise uygun oksalik asit temelli sistem, etanol bazlı ekstraktlara göre daha yüksek oranda antosiyanin geri kazanımı ve daha güçlü antioksidan/bakterisidal etkiyle beraber pH-duyarlı renk değişiminin gerçekleştiği bildirilmiştir (Ozkan & Karabulut, 2026).

Bu bulgular akıllı ambalajlar, doğal renk vericiler için son derece önemlidir. Bununla birlikte hazırlanan ekstrakt doğrudan gıda sistemiyle kullanılması düşünülüyorsa, çözücü bileşenlerinin mevzuat uygunluğu, duyusal etkisi, su aktivitesi, migrasyon davranışı ve uzun dönem stabilitesine de odaklanılmalıdır.

4.2. Lipofilik bileşikler ve hidrofobik NaDES sistemleri

Hidrofilik NaDES sistemleri polar metabolitler için avantajlı olsa da, karotenoidler ve bazı terpenoidler gibi lipofilik bileşiklerde su ile karışmayan hidrofobik NaDES (HNaDES) sistemleri önem kazanır. Annatto tohumlarında yürütülen çalışma, hidrofobik NaDES sistemleriin lipofilik biyoaktiflerin ekstraksiyon ve stabilizasyonunda geleneksel organik çözücülere alternatif olabileceğini göstermiştir (Tessaro vd., 2026). Mikroalg biyokütlesinden luteinin geri kazanımında bilyalı öğütme ile NaDES ekstraksiyonunun birleştirilmesi, hücre duvarı kırılması ile çözücü tasarımının birlikte ele alınması gerektiğini vurgular (Lee vd., 2026).

4.3. Protein ekstraksiyonu ve çözücü geri kazanımı

Protein geri kazanımı, NaDES teknolojisinin yükselen alanlarından biridir. Protein çözünürlüğü; NaDES pH değeri, iyonik kuvveti, su içeriği, protein yüzey yükü ve hidrofobik etkileşimlere bağlıdır. Soya proteini üzerine yapılan çalışmada kolin klorür:gliserol temelli NaDES ile ekstrakte edilen proteinin çöktürülmesi ve çözücünün tekrar kullanılması incelenmiştir; bu yaklaşım kapalı çevrim proses tasarımının önemini göstermektedir (Santos vd., 2027). Protein izolasyonu konusunda güncel derleme, NaDES sistemleriin fonksiyonel protein özelliklerini koruma potansiyeline karşın yüksek viskozite sorunu, protein geri kazanımındaki zorluklar ve ölçek büyütmedeki zorluklar hâlen çözülmesi gerektiğini bildirmektedir (Hu vd., 2026).

4.4. Tıbbi Bitkiler ve Fonksiyonel Ekstraktlar

Tıbbi bitki ekstraktlarının kimyasal profili, seçilen çözücüye son derece duyarlıdır. *Avena sativa, Rubia tinctorum ve Calluna vulgaris* üzerinde yürütülen karşılaştırmalı bir çalışmada, DES sistemlerinin konvansiyonel çözücülere göre hedef biyoaktiflerin ekstraksiyonuna daha uyumlu bir imkân verebildiğini göstermiştir (Bochko vd., 2025). Bu bulguyla birlikte NaDES sistemlerinde oluşan sıcaklık düşmesinin, değişen sıcaklığa karşı kararsız olan flavonoidler, fenolikler veya glikozitler açısından önemli olabileceğine işaret eder.

Bitkisel ekstrakt çalışmalarında yalnızca toplam fenolik madde veya DPPH sonucu ile yetinilmesi sonuç odaklı olamayabilir. HPLC-DAD ya da LC-MS ile ana bileşenlerin yapısı, UV-Vis ile renk ve absorpsiyon değişimi, FTIR ile fonksiyonel grup farklılıkları ve mümkünse biyolojik aktivite testi karşılaştırmalı bir şekilde birlikte yorumlanmalıdır. Ayrıca NaDES'in kendisinin antioksidan veya mikrobiyal testte sinyal oluşturabileceğinden, kör çözücünün kullanılması önem arz etmektedir (Bochko vd., 2025; Tripathi & Suthar, 2025).

Bitki biyoaktifleri için NaDES tasarımında hedef odaklı başlangıç çerçevesini oluşturan yaklaşım türü eşleştirmesi Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu eşleştirme kesin bir reçete olmamakla birlikte başlangıç için kimyasal gerekçeyi sunar. Sonuçta hedef bileşiğin logP değeri, pKa'sı, hidrojen bağı verme/alma kapasitesi ve matriks içindeki bağlanma biçimi deneysel sonuçtan ayrı düşünülemez. En iyi formülasyonun ortaya çıkarılması için çözücü bileşimi ve proses koşulları beraber optimize edilmelidir.

Tablo 2. Bitki biyoaktifleri için NaDES tasarımında hedef odaklı başlangıç çerçevesi.

Hedef sınıf	Olası uygun NaDES yaklaşımı	Önemli uyarı
Fenolik asitler	Kolin klorür veya betain-organik asit/poliol	Asitlik ve hidroliz riski
Antosiyaninler	Asidik, su ayarlı NaDES	pH ve ışık stabilitesi
Karotenoidler	Hidrofobik NaDES	Oksidasyon ve ışık hassasiyeti
Pektin/polisakkarit	Su içeriği kontrollü, düşük viskoziteli sistem	Molekül ağırlığı ve jel özelliği
Alkaloidler	Polarite ve pH kontrollü sistem	İyonlaşma ve seçicilik
Uçucu yağlar	Terpen bazlı hidrofobik sistem	Uçuculuk ve aroma koruması

Güncel uygulamalar arasında gıda ambalajı, tıbbi bitki ekstraksiyonu, analitik örnek hazırlama ve batarya geri dönüşümü aynı çözücü ailesini kullanıyor görünse de, güvenlik gereksinimleri her bir uygulama için farklıdır. Gıda ambalajında taşınma ve uzun dönem temas, bitkisel ekstraktlarda hedef bileşik saf olup olmadığı, analitik yöntemde matriks doğruluğu, metal geri kazanımında ise atık ve proses emniyeti öncelik arz etmektedir. Bu nedenle NaDES için tek tip bir güvenlik yaklaşımı kullanmaktansa uygulamların kapsamına göre risk değerlendirmesi yapılmalıdır.

5. Analitik, Farmasötik ve Biyomedikal Uygulamalar

Buraya kadar NaDES sistemlerini ekstraksiyon ortamı olarak sunmuştuk. Ancak bunun ötesinde NaDES sistemlerinin hayati fonksiyonlara da işlev kazandırabileceğini unutmamak gerekir. Özellikle analitik örnek hazırlamada ön deriştirme fazı olarak kullanılması, güncel araştırma konuları arasındadır. Örneğin idrarda potansiyel akciğer kanserinin tespitine yönelik geliştirilen homojen fazda mikro-sıvı-sıvı mikroekstraksiyon yaklaşımı, NaDES sisteminin düşük hacimli ve seçici analizlerde kullanılabileceğini bildirmektedir (Patil & Gopinath, 2026). DES kullanılarak oluşturulan özel çözücüyle bitkilerdeki aristoloşik asitleri özütlemek için kullanılmış ve bu yöntemle yüksek hassasiyet (düşük tayin sınırı), kayıpsız verim (yüksek geri kazanım) ve doğru ölçüm kabiliyeti (doğrusal aralık) göstererek kendini kanıtlamıştır (Wong vd., 2026).

Farmasötik uygulamalar için NaDES sistemleri, suda az çözünen etkin maddelerin çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını iyileştirebilen taşıyıcı ortamlar olarak araştırılmaktadır. Moleküler düzey çalışmalar, NaDES bileşenlerinin kurkuminoid türevleriyle kurduğu çözücü-çözünen etkileşimlerinin çözünürlük davranışını açıklamada yararlı olduğunu göstermektedir (Sabata Mas vd., 2026).

Bununla birlikte formülasyonlarda sitotoksisite, osmolalite, pH, irritasyon ve etkin maddenin salım kinetiği, "doğal" oluş iddiasından bağımsız olarak deneysel biçimde belirlenmelidir(Aljurf vd., 2026; Patil & Patil, 2026).

NaDES-temelli nanotaşıyıcılar; biyoaktiflerin çözünürlüğünü artırma, kontrollü salım ve yüzey fonksiyonelleştirme için umut verici bir platformdur. Ancak hücresel güvenlik, depolama stabilitesi, ölçeklenebilir üretim ve düzenleyici kabul konuları bu sistemlerin laboratuvardan ürüne geçişindeki temel sorunlardır (Aljurf vd., 2026).

5.1 Analitik örnek hazırlama ve kontaminant tayini

Gıda güvenliği analizlerinde pestisitler, mikotoksinler, ağır metaller, poliaromatik hidrokarbonlar ve antibiyotik kalıntıları için çözücü hazırlama çoğu zaman uçucu organik çözücülerle olur. Navarro-Villoslada ve arkadaşları, NaDES sistemlerinin bu alanda seçici ekstraksiyon ortamı olarak önemli bir yere sahip olduğunu ancak birçok yöntemde NaDES'in organik çözücüyle birlikte kullanımının sınırlı olduğunu bildirmektedir (Bochko vd., 2025). Bu eleştiri, analitik yöntemin sadece analit geri kazanımı üzerinden değil, tüm iş akışı üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini hatırlatır.

NaDES tabanlı bir analitik yöntem tasarımında analit-matriks iklisinin etkileşimi kritik önemdedir. Hidrofilik bir NaDES, polar mikotoksin veya metal kompleksleri için avantajlıyken; hidrofobik NaDES, poliaromatik hidrokarbonlar veya lipofilik pestisitlerde daha seçici davranabilir. Ancak viskozite değerindeki yükseklik, mikroekstraksiyon fazının ilerlemesini zorlaştırabilir. Bu nedenle miniaturizasyon, vortex/ultrason katkısı, dispersif uygulamalar ve düşük hacimli faz ayırma yaklaşımları dikkate alınmalıdır (Bochko vd., 2025; Wong vd., 2026).

NaDES tabanlı analitik uygulamalar, biyobelirteç analizi ve bitkisel toksin tayini gibi son derece önemli alanlarda da gelişmektedir. Bir çalışmada idrar örneklerinde yapılan mikroekstraksiyon ile düşük hacimli NaDES sistemlerinin ön deriştirme ve seçicilik sağlayabileceği bildirilmiştir (Santos vd., 2027). Aristoloşik asitlerin bitkisel matrikslerden alınması için oluşturulan supramoleküler çözücü yaklaşımı ise yöntem performansının doğrusal aralık, tayin sınırı ve geri kazanım ile kanıtlanması gerektiğini ortaya koymuştur (Hu vd., 2026).

Gıda kirlenmelerinde NaDES kullanımı değerlendirilirken, yöntemin tüm adımları dikkate alınmazsa bu yöntem bertaraf olur (Bochko vd., 2025). Eğer ekstraksiyon sonra yüksek hacimde tehlikeli organik çözücü kullanıldığı tespit edilirse süreç NaDES siteminden oldukça uzaktadır. Bu nedenle analitik performans ölçütlerine reaktif kütlesi, atık hacmi, kullanılan enerji sarfiyatı ve operatör maruziyetini kapsayan önemli analitik metrikler dahil edilmelidir.

5.2. Analitik performansın asgari raporlama çerçevesi

Tablo 3. NaDES tabanlı gıda kontaminant analizlerinde temel yöntem doğrulama ölçütleri.

Parametre	Beklenen kanıt	Neden gereklidir
Kalibrasyon	Doğrusal aralık, regresyon ve matriks uyumu	Kantitatif güvenilirlik
LOD ve LOQ	Sinyal/gürültü veya istatistiksel hesap	Yasal limitlerle karşılaştırma
Geri kazanım	Farklı derişimlerde spike deneyleri	Matriks etkisini gösterme
Kesinlik	Gün içi ve günler arası RSD	Tekrarlanabilirlik
Seçicilik	Girişim yapan bileşenlerin değerlendirilmesi	Yanlış pozitif/negatif riskini azaltma
Yeşillik	Reaktif kütlesi, atık, enerji ve tehlike değerlendirmesi	AGREE veya benzeri metriklerle süreç kıyası

Bu çerçeve, birçok analitik uygulama için geçerlidir. Çerçeve kromatografik dedeksiyon kullanan yöntemler, UV-Vis, floresans, elektrokimyasal sensör ve akıllı telefon tabanlı kolorimetrik analizleri de kapsar. NaDES'in analitik sürece katkısı, düşük toksisite veya düşük buhar basıncı ile sınırlı değildir. Aynı zamanda analiti deriştirme ve matriks girişimlerini azaltma kapasitesiyle de bağlantılı olmalıdır.

5.3. Farmasötik formülasyonlarda kanıt düzeyi

Farmasötik çalışmalarda NaDES'in sadece bir "çözücü taşıyıcı" olduğu durumlar ile etken maddenin kendisinin ötektik yapıyı oluşturduğu DES durumları birbirinden ayrılmalıdır. Ayrıca, "ilacı çok iyi çözdük" verisi tek başına yeterli değildir. Biyolojik uyum, doku tahrişi, pH ve salım gibi klinik/fizyolojik parametrelerin de doğrulanması gerekmektedir (Chevé-Kools vd., 2025).

6. Çevresel ve Endüstriyel Uygulamalar

NaDES araştırmaları, bu sistemin su arıtımı ve kaynak geri kazanımına da genişletilebileceğini göstermektedir. NaDES temelli ekstraksiyonla tuzdan arındırma çalışması, çözücü bileşenleri arasındaki sinerjinin su verimi ve çözünmüş organik madde/salinite üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir (Belesov vd., 2026). Kullanım ömrü biten lityum-iyon bataryalardan Li, Co, Ni ve Mn geri kazanımında kolin klorür-laktik asit-askorbik asit temelli sistemin

hızlı liç ve ardından seçici çöktürme ile metal geri kazanımını desteklediği bildirilmiştir (Vargas-Torrico vd., 2026).

NaDES sistemlerinin gerçekten sürdürülebilir olabilmesi için prosesin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Reaktiflerin tekrar kullanımı, su ve enerji tüketimi, ayrıştırma adımları, nihai atık akımı gibi parametreler de hesaba katılmalıdır. Örneğin geri dönüşüm oranı yüksek ama solvent geri kazanımı düşük bir sistemin çevresel avantaj sunmayabilir.

6.1. Biyorefineri ve Atık Biyokütlenin Çoklu Fraksiyonlanması

NaDES yaklaşımı, tek bir hedef bileşiği çıkarmaktan çok biyokütleyi farklı değerli fraksiyonlara ayıran entegre biyorefineri anlayışıyla birlikte değerlendirildiğinde daha çok önem kazanacağı açıktır. Kahverengi alg *Fucus vesiculosus* üzerinde yapılan bir çalışmada, kolin klorür temelli NaDES ile çözündürme ve ardışık antisolvent uygulamasının katma değeri yüksek aljinat, polisakkarit, polifenol ve yağ asidinin uygun olarak kazanılması için fraksiyonlarına ayırılması seçici erişim sağlayabileceğini göstermiştir(Luque-Uría vd., 2025). Bu tür çalışmalar, biyokütlenin birden fazla değerli ürünü kapsadığını ortaya koyar.

Fraksiyonlama başarısı, yalnızca her fraksiyonun kütlesel verimine odaklanmak oldukça yanoıltıcı olabilir. Her ürün akımının saflığı, yapısal bütünlüğü, kullanım alanına göre değerlendirilmesi ve ayrım işlemlerinin toplam enerji/madde girdisi topyekün raporlanmalıdır. Örneğin aljinat fraksiyonu film veya jel üretiminde, fenolik fraksiyon antioksidan formülasyonda, yağ asidi fraksiyonu ise kozmetik veya enerji uygulamalarında değerlendirilebilir. Bu yönüyle NaDES, atık azaltımı ve katma değer üretimini aynı proses altında geçekleştirme potansiyeline sahiptir (Lai vd., 2026; Luque-Uría vd., 2025).



Şekil 3. NaDES tabanlı döngüsel ekstraksiyon ve değer yaratma zinciri.

Mikroalg ve tıbbi bitki biyokütlesi, Biyorefineri yaklaşımının önemli bir tamamlayıcısıdır. Lutein açısından zengin mikroalglerde NaDES ekstraksiyonunun fiziksel ön işlemlerden bir olan bilyalı öğütme ile birleştirilmesi, hücre duvarı direncinin fiziksel ön işlem ile azaltılabileceğini ve hedef bileşiklerin veriminin artırılabileceğini göstermektedir (Muhammad vd., 2026). Bu yaklaşımda mekanik enerji girdisi, doğal rengin oksidatif kararlılığı ve çözücünün geri kazanımı, prosesteki toplam çevresel yükü belirler. Bu nedenle farklı ön işlemler yalnız verim açısından değil, enerji tüketimi ve ürün kalitesi bakımından da mukayese edilmelidir.

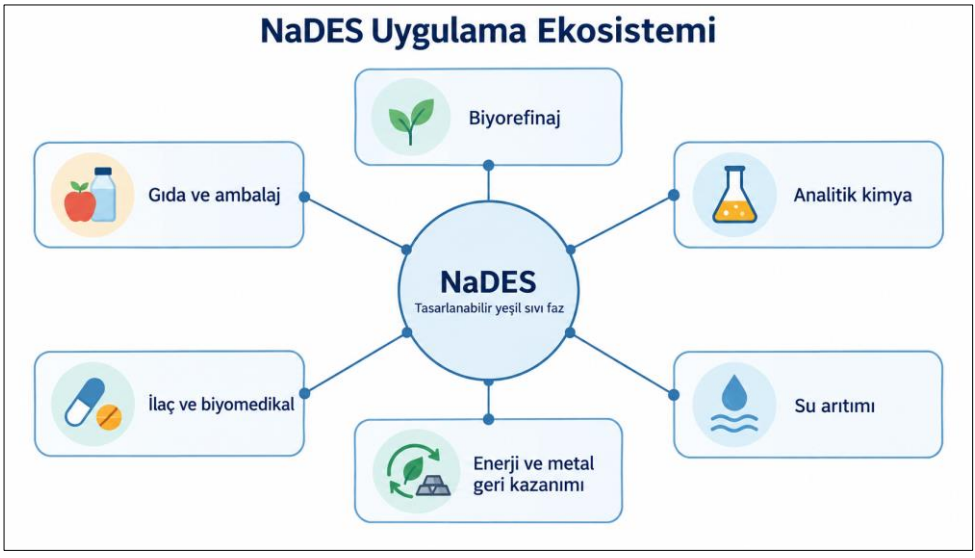
Tıbbi bitki örneklerinde DES/NaDES kullanımı, farklı bileşen türlerinin daha ılımlı sıcaklıklarda geri kazanılmasına imkân verebilir(Bochko vd., 2025). Ancak her bitki matriksi ve hedeflenen bileşikler için aynı sistemin başarılı olması beklenmemelidir. Bu konu spesifik olarak irdelnmelidir. Her bileşiğin farklı iyonlaşma ve çözünürlük davranışını dikkate alınmalı, çözücü bileşimi, su içeriği ve ekstraksiyon sıcaklığı hedef bileşiğe göre ayrı ayrı mevcut imkânlarla en iyi sonucu verecek şekilde düzenlenmelidir.

Narenciye kabuğu, posası ve çekirdekleri fitokimyasallar açısında zengindir. Zambrano-Zaragoza ve arkadaşları, NaDES sistemlerinin, hesperidin ve polimetoksiflavonlar gibi fenolik bileşiklerin yanı sıra pektin ve uçucu fraksiyonların birlikte geri kazanımı için önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmektedir. Bu durum, narenciye kabukları gibi karmaşık bitki artıkları, çok sayıda katma değerli ürün grubuna dönüştürülmesi açısından özellikle önemlidir. NaDES'in bileşimi, polaritesi ve su içeriği ayarlanarak, farklı kimyasal özelliklere sahip bileşiklerin çözünürlüğü artırılabilir. Böylelikle, entegre bir biyorefineri yaklaşımı, büyük miktarda organik çözücü gerektiren ard arda ekstraksiyon proseslerinin yerini alabilir. Ancak, fenolik bileşikler, pektin ve uçucu bileşiklerin yüksek verimle aynı zamanda olarak geri kazanımı her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, çözücü bileşimi, sıcaklık ve ekstraksiyon süresi hedef ürünlere göre optimize edilmelidir (Lai vd., 2026). Ultrason, mikrodalga ve basınç destekli ekstraksiyonla birleştirildiğinde daha düşük süre ve çözücü tüketimi mümkün olabilir. NaDES'in başarısı yalnızca hidroetanolik ekstrakta göre daha yüksek toplam flavonoid vermek olarak değerlendirilmemelidir. Pektinin molekül ağırlığı, esterleşme derecesi ve emülsifiye edici kapasitesi; uçucu yağların aromatik profili; fenolik fraksiyonun hedef bileşen dağılımı ve biyolojik aktivitesi ayrı ayrı incelenmelidir. Ayrıca yüksek viskozite, çözelti difüzyonu ve katı-sıvı ayırma güçlüklerinin ölçek büyütmede yaratacağı etkiler baştan optimizasyona dahil edilmelidir (Lai vd., 2026).

6.2. Enerji Teknolojileri, Metal Geri Kazanımı ve Elektrolit Uygulamaları

DES ve NaDES sistemlerinin enerji malzemelerindeki rolü, son dönemde hızla genişleyen bir araştırma alanıdır. Bu sistemlerin düşük uçuculuk, ayarlanabilir iyonik iletkenlik ve metal kompleksleme yeteneğiyle birlikte, metal elektrodepozisyonu, batarya elektrolitleri, süperkapasitörler ve kritik öneme sahip metallerin geri kazanımında ilgi çekmektedir (Lai vd., 2026). Bununla birlikte her DES/NaDES sistemi yeterli elektrokimyasal kararlılık penceresi veya yüksek iletkenlik sunamayacağından, geliştirilmesi gerekmektedir. Sistemde kullanılacak donör ve akseptörlerin seçimi, uygulamanın gerektirdiği gerilim aralığı, sıcaklık ve güvenlik koşullarına göre yapılmalıdır.

Kullanılmış lityum-iyon bataryalardan metallerin geri kazanımında NaDES, liç ortamı olarak kullanılır. Bu NaDES ortamı kuvvetli mineral asitlere daha yumuşak bir alternatif oluşturabileceği tartışılmaktadır. Sabata ve arkadaşları kolin klorür-laktik asit-askorbik asit sistemleriyle hızlı metal çözündürmeyi ve ardından seçici çöktürme yoluyla metallari tek tek ayrıştırabileceklerini savunmuşlardır (Sabata Mas vd., 2026). Hidrofobik DES/NaDES sistemleri de sulu liç çözeltisinden metal iyonlarının sıvı-sıvı ekstraksiyon yoluyla ayrılması için ayrı bir strateji sunmaktadır (Zakhodyaeva vd., 2025). Şekil 4'te NaDES uygulama ekosistemini gösteren özgün şema gösterilmiştir.



Şekil 4. NaDES uygulama ekosistemini gösteren özgün şema.

Burada oluşturulan metal geri kazanım sisteminde suyu uzaklaştıran derin ötektik çözücüler, sulu liç çözeltisinden metal türlerinin seçici olarak alınmasında alternatif bir sıvı-sıvı ekstraksiyon fazı oluşturabilir (Zakhodyaeva vd., 2025). Bu yaklaşım özellikle batarya atıklarında farklı metal iyonlarının çöktürülmesi için önemlidir. Bu yaklaşımda endüstriyel üstünlük sonucundan bahsetmek için metal kompleksinin türü, faz ayrım hızı, çözücü viskozitesi ve metalin geri sıyırma basamağı gibi kritik proseslerin birlikte optimize edilmesi gerekmektedir.

DES ve NaDES sistemlerinin enerji malzemeleri bağlamında (elektrodepozisyon, pil ve süperkapasitörler) etkin bir performans gösterebilmesi; yüksek iyonik iletkenlik, geniş elektrokimyasal kararlılık penceresi, güçlü termal dayanım ve bileşenlerle sağlanan malzeme uyumluluğunun topyekün optimize edilmesini gerektirir (Lai vd., 2026). Bir çözücü her nekadar metal oksitleri çözebilme kapasitesine sahipse de bu çözücücün iyi bir elektrolit olduğu anlamı oluşmaz. Uygulama gereksinimi esas alınarak bileşim ve performans özellikleri ayrı ayrı doğrulanmalıdır.

6.3. Sürdürülebilirlik iddiasının sınanması

Metal geri kazanımında çözücünün düşük toksisiteli oluşu, prosesin bütünüyle çevre dostu olduğu anlamına gelmez. Katot tozunun ön işlemi, alüminyum/folyo ayrımı, sıcaklık, antisolvent kullanımı, çöktürme reaktifi ve son ürünün yıkanması toplam kaynak tüketimini belirler. Bu süreçler enerji harcanarak gerçekleştirilir. Bu nedenle metal geri kazanım oranına ek olarak kütle dengesi, reaktif tüketimi, çözücünün tekrar kullanımı ve atık akımı da raporlanarak birarada değerlendirilmelidir.

Hidrofobik çözücüler, sulu faz ile net bir arayüz oluşturarak hedef metalin seçici ekstraksiyonunu sağlar. Buna karşılık viskozite ve faz ayrımı kinetiği, endüstriyel karıştırma ve dekantasyon gereksinimlerini etkiler. Metale özgü kompleks oluşturucuların rolü ile NaDES bileşenlerinin rolü birbirinden ayrıştırılarak incelenmelidir.

Enerji uygulamalarında, veri odaklı çözücü tasarımı güçlü bir gelecek trendi olarak öne çıkmaktadır. İletkenlik, viskozite, yoğunluk, termal kararlılık ve elektrokimyasal pencere gibi özellikleri bileşimle ilişkilendiren QSPR veya makine öğrenimi modelleri, deney sayısını azaltabilir ve uygulamaya özel formülasyonların daha rasyonel bir şekilde seçilmesini sağlayabilir.

7. Sınırlılıklar, Ölçek Büyütme ve Gelecek Perspektifi

7.1. Teknik sınırlılıklar ve çözücü geri kazanımı

Yüksek viskozite NaDES sistemlerini teknik olarak sınırlandırmaktadır. Bu durum pompalama enerjisini artırabilir, karıştırmayı zorlaştırabilir ve

ekstraksiyon hızını düşürebilmektedir. Su ekleme, ultrason, mikrodalga, sıcaklık artışı veya düşük viskoziteli bileşen seçimi her ne kadar çözüm olarak görülse de seçicilik ve hedef maddenin kararlılığına etkisi deneysel olarak doğrulanmalıdır (Tripathi & Suthar, 2025; Wang vd., 2026).

Bir başka sorun da ürünün NaDES fazından ayrılmasıdır. Bazı uygulamalarda ekstraktın çözücü ile birlikte kullanılması avantajlı olabilir, ancak saf bileşik izolasyonu gerekiyorsa antisolvent çöktürme, reçine adsorpsiyonu, membran ayırma, sıvı-sıvı ekstraksiyon veya preparatif kromatografi gibi ikincil aşamalar gerektirir. Bu aşamalar prosesin doğal profilini zayıflatabileceğinden, geri kazanım ve tekrar kullanım çalışması en önemli bileşenlerinden biri olmalıdır (Ozkan & Karabulut, 2026; Santos vd., 2027).

Gelecekte COSMO-RS gibi hesaplamalı araçlarla NaDES taraması, yüksek verimli deney tasarımı, gerçek matrikslerde seçicilik, toksikolojik değerlendirme ve sürekli prosesler daha önemli hâle gelecektir. Hedef odaklı tasarımın temel ilkesi şudur: en yüksek toplam ekstraksiyon verimi her zaman en iyi çözücü anlamına gelmez; seçicilik, stabilite, ürün güvenliği, geri kullanılabilirlik ve toplam proses etkisi birlikte optimize edilmelidir.

Güvenlik değerlendirmesinde bileşenlerin tek tek güvenli oluşu yeterli kanıt değildir. Karışımın pH değeri, bileşen oranı, konsantrasyonu, viskozitesi ve maruziyet yolu; sitotoksisite ile ekotoksisiteyi değiştirebilir. Bu nedenle hedef uygulamaya uygun biyolojik testler ve mümkünse çözücü geri kazanımı sonrasındaki yeniden kullanım çevrimleri birlikte raporlanmalıdır (Chevé-Kools vd., 2025).

7.2. Güvenlik, düzenleyici çerçeve ve ölçek büyütme

NaDES'in laboratuvar ölçekte başarılı olması, endüstriyel kullanım için yeterli kanıt değildir. Ölçek büyütmede viskozite nedeniyle pompalama ve karıştırma enerjisi artabilir; ısı transferi, katı-sıvı ayırma ve çözücü geri kazanımı daha karmaşık hâle gelir. Bu nedenle proses geliştirmesinde erken aşamada kütle ve enerji dengesi kurulmalı, en az üç ardışık çözücü kullanım çevriminde performans izlenmelidir(Lai vd., 2026; Santos vd., 2027).

Gıda, kozmetik ve farmasötik uygulamalarda bileşimsel güvenlik, her bir bileşenin tek tek güvenli olmasından daha kapsamlı bir konudur. Karışımın sitotoksisitesi, irritasyon potansiyeli, gıda migrasyonu, kalıntı düzeyi, biyobozunma davranışı ve depolama süresince oluşabilecek bozunma ürünleri değerlendirilmelidir. Özellikle organik asit, terpen veya tuz içeren sistemlerde pH ve osmolalite biyolojik uygulamalar için kritik olabilir (Aljurf vd., 2026; Patil & Patil, 2026; Tafreshi-Hosseini vd., 2025).

Yeşil kimya değerlendirmesinde solventin düşük buhar basıncı önemli bir avantajdır; ancak yüksek sentez enerjisi, düşük geri kullanım oranı veya organik antisolvent ihtiyacı bu avantajı azaltabilir. Bu nedenle E-faktör, proses kütle etkinliği, enerji kullanımı, çözücü geri dönüş oranı ve karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi raporlaması güçlendirilmelidir. "Yeşil" sıfatı, ölçülebilir performans göstergeleriyle desteklenmelidir.

Düzenleyici kabul açısından hedef uygulama belirleyicidir. Analitik örnek hazırlamada yöntemin geri kazanım ve matris güvenilirliği ön plandayken, gıda ambalajında migrasyon ve toksikoloji; ilaç uygulamasında saflık, etkin madde salımı ve biyouyumluluk; metal geri kazanımında ise proses emniyeti ve atık yönetimi daha kritik hâle gelir. Bu nedenle tek bir genel NaDES güvenlik etiketi yerine uygulama odaklı risk değerlendirmesi yapılmalıdır.

Prosesin sürdürülebilirliği, yalnızca çözücünün düşük uçuculuğu veya biyokökenli bileşenleriyle tanımlanmamalıdır. Kütle dengesi, proses kütle yoğunluğu, enerji ihtiyacı, antisolvent ve yıkama adımları, ürün izolasyonu ve çözücünün geri kullanım sayısı aynı sistem sınırı içinde karşılaştırılmalıdır. Bu yaklaşım, NaDES temelli bir işlemin konvansiyonel çözücüye göre gerçek avantajını daha güvenilir biçimde göstermeyi sağlar (Chevé-Kools vd., 2025).

8. Sonuç ve Öneriler

Güncel literaür NaDES sistemlerinin, yenilenebilir bileşenlere dayalı tasarlanabilir çözücü sistemleri olarak sürdürülebilir kimya için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. NaDES'lerin ekstraksiyon çözücüsünden çok daha fazlası olduğu da ortaya çıkmıştır. Özellikle polifenol, antosiyanin, lipofilik pigment ve protein geri kazanımında, doğru bileşim ve proses koşulları seçildiğinde konvansiyonel çözücülere göre daha yüksek verim, daha iyi stabilite veya ek özellikler kazanılabildiğini ortaya koymaktadır. Bu sistemler biyoaktif maddelerin geri kazanımı, biyokütle fraksiyonlama, ambalaj, enzim stabilizasyonu, analitik örnek hazırlama, enerji teknolojileri ve metal geri kazanımı gibi farklı alanlarda tasarlanabilir sıvı ortamlar olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte sürdürülebilirlik, yalnızca solventin adıyla değil; güvenlik, ürün ayrılması, solventin yeniden kullanımı ve tüm prosesin kaynak tüketimi ile belirlenir.

Gelecekteki çalışmalar için en uygun yol; hedef bileşiğe uygun NaDES'i hesaplamalı ön tarama ve küçük ölçekli deneysel tasarımla seçmek, su içeriği ve viskoziteyi kontrol etmek, analitik doğrulamayı güçlendirmek ve çözücü geri kullanımını göstermektir.

Kaynakça

Aljurf, B., Çabuk, D. S., Güven, Ö., Doğdu, S., Baş, Z. C., & Kahyaoglu, L. N. (2026). Natural Deep Eutectic Solvents as Green Processing and Functional Media in Food Packaging. *Food Engineering Reviews*, *18*(2), 17. https://doi.org/10.1007/s12393-026-09447-8

Barani Pour, S., Dabbagh Hosseini Pour, M., Jahanbin Sardroodi, J., Avestan, S., & Bagheri, L. (2026). Solvation mechanisms of bioactive curcuminoid drug candidates in natural deep eutectic solvents: A molecular-level study. *Results in Chemistry*, *30*, 103838. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103838

Belesov, A. V., Lvova, D. A., Pikovskoi, I. I., Popov, M. S., Falev, D. I., Faleva, A. V., & Kosyakov, D. S. (2026). Fractionation of arctic brown algae (Fucus vesiculosus) biomass using choline chloride-based natural deep eutectic solvents. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *16*(1), 23. https://doi.org/10.1007/s13399-025-07024-3

Bochko, T. N., Ogrenich, N. A., Malyshko, M. A., & Shishov, A. Yu. (2025). Phytochemical Analysis of Extracts from Some Russian Plants Using Deep Eutectic Solvents. *Journal of Analytical Chemistry*, *80*(11), 1854-1863. https://doi.org/10.1134/S1061934825700996

Chen, E., Zhang, Y., Wang, Y., Song, R., & Liu, Y. (2025). Research status and future trends of deep eutectic solvents in the field of natural medicinal chemistry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *150*(22), 17973-17987. https://doi.org/10.1007/s10973-025-14871-9

Chevé-Kools, E., Choi, Y. H., Roullier, C., Ruprich-Robert, G., Grougnet, R., Chapeland-Leclerc, F., & Hollmann, F. (2025). Natural deep eutectic solvents (NaDES): Green solvents for pharmaceutical applications and beyond. *Green Chemistry*, *27*(28), 8360-8385. https://doi.org/10.1039/D4GC06386D

Choi, Y. H., Van Spronsen, J., Dai, Y., Verberne, M., Hollmann, F., Arends, I. W. C. E., Witkamp, G.-J., & Verpoorte, R. (2011). Are Natural Deep Eutectic Solvents the Missing Link in Understanding Cellular Metabolism and Physiology? *Plant Physiology*, *156*(4), 1701-1705. https://doi.org/10.1104/pp.111.178426

Dai, Y., Van Spronsen, J., Witkamp, G.-J., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2013). Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology. *Analytica Chimica Acta*, *766*, 61-68. https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.12.019

Henares, M., Lucena, A., Rincón, E., Kachrimanidou, V., González-Tobalo, M., Rodríguez, A., & Espinosa, E. (2026). Optimization of Grape Pomace-

Derived Anthocyanin Extracts via Reusable Natural Deep Eutectic Solvents: Bioactive and Functional Properties. *Food and Bioprocess Technology*, *19*(7), 349. https://doi.org/10.1007/s11947-026-04435-6

Hu, W., Ge, D., Fu, F., Yuan, L., Yang, C., Weng, Z., & Huang, Y. (2026). Supramolecular solvents based on deep eutectic solvents and hexafluorobutanol for the extraction of aristolochic acids from natural plants. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *418*(8), 2321-2335. https://doi.org/10.1007/s00216-026-06357-w

Jurić, T., Hourani, S., Petković, M., Vukosavljević, J., Ždero Pavlović, R., Pavlić, B., & Popović, B. M. (2025). Exploring Natural Deep Eutectic Solvents for Extraction and Stabilization of Grape Pomace Phytochemicals. *Food and Bioprocess Technology*, *18*(12), 10968-10985. https://doi.org/10.1007/s11947-025-04066-3

Lai, Z., Zhao, W., Liu, P., Cao, Y., & Chen, Z. (2026). Deep eutectic solvents: A new ally in advancing the green development of power batteries. *Npj Energy Materials*, *1*(1), 10. https://doi.org/10.1038/s44456-026-00010-8

Lee, C.-C., Le, T.-D., Pham, B. P., Tomas, M., Capanoglu, E., & Ashaolu, T. J. (2026). Nature's Solvent Solution: Harnessing Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) For Clean, Efficient Protein Isolation. *Food Analytical Methods*, *19*(1), 2. https://doi.org/10.1007/s12161-025-02919-3

Luque-Uría, Á., Pradanas González, F., Navarro-Villoslada, F., & Benito-Peña, E. (2025). Natural Deep Eutectic Solvents as a Green Alternative for Extracting Contaminants from Food Samples: A Review. *Journal of Analysis and Testing*, *9*(4), 548-574. https://doi.org/10.1007/s41664-025-00383-w

Masiello, L., Adiletta, G., Di Renzo, M., Tarola, A. M., & Russo, P. (2026). Natural deep eutectic solvents for polyphenol extraction from brewer's spent grain: Comparative evaluation with conventional solvents. *European Food Research and Technology*, *252*(3), 136. https://doi.org/10.1007/s00217-026-05066-z

Muhammad, G., Yuan, X., Li, Z., Zhang, X., & Zhang, Z. (2026). Efficient ball milling assisted approach to recover lutein from microalgae biomass with natural deep eutectic solvents. *Results in Chemistry*, *30*, 103861. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103861

Nam, Y. H., Seo, G. J., Kang, J. Y., Murughanantham, N., Kim, N. W., Shin, S. W., Park, M. J., Pandian, S., Ahn, S. M., Hong, B. N., & Kang, T. H. (2026). Optimization of compound K extraction using natural deep eutectic solvents and evaluation of mitochondrial protective activity. *Journal of Ginseng Research*, 101147. https://doi.org/10.1016/j.jgr.2026.101147

Ozkan, G., & Karabulut, G. (2026). Precipitation and recovery of soy protein extracted in natural deep eutectic solvents: Emphasizing solvent reusability for sustainable processing. *Food Chemistry: X*, *38*, 104289. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2026.104289

Patil, N. B., & Gopinath, S. C. B. (2026). Engineering green nanocarriers using natural deep eutectic solvents: A sustainable platform for modern drug delivery. *Journal of Nanoparticle Research*, *28*(9), 233. https://doi.org/10.1007/s11051-026-06749-0

Patil, N. B., & Patil, K. R. (2026). Recent trends in solubility and bioavailability enhancement using natural deep eutectic solvents: Current challenges and future perspectives. *Chemical Papers*. https://doi.org/10.1007/s11696-026-05105-9

Sabata Mas, J., Martínez-Torrents, A., Meca, S., Reig, M., & Valderrama, C. (2026). Sustainable lithium-ion cathode recycling enabled by natural deep eutectic solvents. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, *9*, 100229. https://doi.org/10.1016/j.scca.2026.100229

Santos, A. V., Will, C., Turazzi, F. C., Morés, L., & Carasek, E. (2027). HF-MMLLE using natural deep eutectic solvents for determination of potential lung cancer biomarkers in urine. *Analytical Biochemistry*, *720*, 116253. https://doi.org/10.1016/j.ab.2026.116253

Tafreshi-Hosseini, A., Giahi, M., Dabirmanesh, B., Azizpour, Y., & Khajeh, K. (2025). Enhancing transglutaminase activity and thermal stability using natural deep eutectic solvents. *Journal of the Iranian Chemical Society*, *22*(10-12), 2163-2168. https://doi.org/10.1007/s13738-025-03284-y

Tessaro, L., Astolfo, M. E. D. A., Matheus, J. R. V., De Alencar, S. M., Fai, A. E. C., & Maniglia, B. C. (2026). Green extraction and stabilization of bioactive compounds from annatto (Bixa orellana L.) seeds using hydrophobic natural deep eutectic solvents. *Separation and Purification Technology*, *411*, 139525. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.139525

Thamer, I., & Kumaravel, V. (2026). Natural deep eutectic solvents for bio-based industrial applications: Properties and sustainable extraction with biomedical features. *Industrial Crops and Products*, *244*, 123159. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.123159

Tripathi, A. K., & Suthar, K. J. (2025). Advances in the extraction of polyphenols using natural deep eutectic solvents: A comprehensive review. *Chemical Papers*, *79*(6), 3563-3585. https://doi.org/10.1007/s11696-025-04039-y

Vargas-Torrico, M. F., Von Borries-Medrano, E., García-Betanzos, C. I., Quintanar-Guerrero, D., & Zambrano-Zaragoza, M. L. (2026). Natural deep eutectic solvents (Na)DES as green tools for the valorization of citrus

byproducts: Advances, challenges and perspectives. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *16*(13), 261. https://doi.org/10.1007/s13399-026-07195-7

Wang, L., Peng, W., Cheng, J., Shi, Y., Li, J., & Pan, S. (2026). Green extraction of natural antioxidant polyphenols from Celastrus orbiculatus using ultrasound-assisted deep eutectic solvents: Computational screening, process optimization, and mechanistic insights. *Industrial Crops and Products*, *251*, 124130. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.124130

Wong, P. K., Ng, L. W., Han, W., & Lui, M. Y. (2026). Green extractive desalination with natural deep eutectic solvents. *Desalination*, *639*, 120625. https://doi.org/10.1016/j.desal.2026.120625

Yin, S., Peng, W., Wang, Y., Lu, H., Liu, P., Zhu, X., Yang, H., Li, J., & Li, L. (2026). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from Moutan Cortex using natural deep eutectic solvent: Optimization, molecular mechanisms, and lipid-lowering activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, *133*, 108052. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.108052

Zakhodyaeva, Yu. A., Milevsky, N. A., Zinov'eva, I. V., & Voshkin, A. A. (2025). Hydrophobic Deep Eutectic Solvents in Lithium-Ion Battery Recycling Processes. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, *59*(2), 356-365. https://doi.org/10.1134/S0040579525700575

3. Bölüm

X-Işını Kırınımı (XRD) ile Yarıiletken Malzemelerin Yapısal Karakterizasyonu

ESRA BALCI[1]

GİRİŞ

Yarıiletkenler; bilgisayar teknolojileri, sağlık, ulaşım, optik ve kamera teknolojileri ve daha birçok kritik sektörde kullanılan modern elektronik cihazların en temel ve vazgeçilmez bileşenleridir. Bu malzemeler, genellikle 1-2 eV arasında değişen karakteristik bir bant aralığına sahiptir. İletim özellikleri dış uyarıcılarla hassas bir şekilde kontrol edilebilen bu benzersiz yapıları sayesinde; bipolar jonksiyon transistörler, alan etkili transistörler (FET), güneş hücreleri, ışık yayan diyotlar (LED) ve fotodedektörler gibi geniş bir yelpazedeki mikroelektronik ve optoelektronik aygıtların fiziksel temelini oluştururlar. Küresel ölçekte sürekli büyüyen ve yüksek hızla gelişen yarıiletken endüstrisi, daha yüksek enerji verimliliğine sahip, daha güvenilir ve daha ekonomik cihazlar üretmeyi hedeflemektedir (Rahman, 2014).

Modern elektronik ve optoelektronik sistemlerin gelişiminde, özellikle yarıiletken ince filmler kritik bir öneme sahiptir. İleri teknoloji ürünü yarıiletken cihazlar; her biri çip performansında kritik bir role sahip olan, farklı malzeme katmanlarından oluşan karmaşık üç boyutlu (3D) mimarilere dayanmaktadır. Teknolojinin nanometre seviyelerine ve Angstrom ölçekli düğümlere doğru ilerlemesiyle birlikte; iki boyutlu (2D) van der Waals heteroyapılar, geniş bant aralıklı (WBG) yarıiletkenler ve üç boyutlu kapılı (GAA) transistör mimarileri gibi gelişmiş sistemlerin entegrasyonu ince filmler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu ince filmlerin kalitesi, katmanlar arası uyumu ve arayüzey keskinliği, aygıtın çalışma kararlılığını ve nihai sistem performansını doğrudan belirler.

Yarıiletken filmlerin üretiminde kullanılan çeşitli fiziksel ve kimyasal büyütme teknikleri her ne kadar gelişmiş ve gelişmekte olsa da elde edilen filmin gerçek kalitesini ve aygıt performansını belirleyen asıl unsur karakterizasyon süreçleridir. İnce filmlerin yapısal ve kristalografik özellikleri; kullanılan sentez yöntemlerinden, alttaş (substrate) seçiminden ve ısıl işlemlerden doğrudan etkilenir.

[1] Araştırma Görevlisi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Fizik Bölümü, Orcid: 0000-0003-0217-9481

Kristal kafesteki en ufak bir sapma, atomik düzeydeki arayüzey kusurları veya dislokasyonlar rekombinasyon merkezleri oluşturarak taşıyıcı ömrünü kısaltır ve cihazın elektriksel performansını ciddi şekilde düşürür. Bu nedenle, karakterizasyon sadece üretim sonrası analiz aşaması değil malzemenin nano boyuttaki hata ve pürüzlülükleri tespit etmek, teorik hesaplamalardan sapmalara neden olan durumları ortaya çıkarmak hatta üretim kalibrasyonunu gerçekleştirebilmek için kritik bir öneme sahiptir.

Bu bölümün temel amacı; yarıiletken ince filmlerin ve heteroyapıların analizinde en köklü ve tahribatsız (non-destructive) teknik olan X-Işını Difraksiyonu (XRD) yönteminin kuramsal temellerini, tarihsel gelişimini ve uygulama alanlarını incelemektir.

Bundan yola çıkarak, X-ışınlarının kristal kafesle etkileşimini yöneten Bragg Yasası, XRD tekniğinin keşfinden modern cihazlara uzanan tarihsel seyri, farklı ölçüm geometrileri (Sallantı Eğrileri, Ters Örgü Haritalama) ve kırınım verilerinden (kristal kalitesi, örgü gerilmesi, tane boyutu, faz kimliği) elde edilen yapısal parametreler ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Yapısal Karakterizasyon

Yarıiletken ince filmler ve heteroyapılarda yapısal karakterizasyon; kristal kalitesinin, örgü gerilmesinin, kimyasal kompozisyonun, olası faz dönüşümlerinin, arayüzey pürüzlülüğünün, parçacık boyutunun, kristal yöneliminin ve dislokasyon yoğunluğunun belirlenmesini amaçlar. Kristal kafeste meydana gelen en ufak bir sapma, atomik yerleşim bozukluğu veya kusur, nihai aygıtın elektriksel mobilite ve optik özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Malzemelerin makroskobik özellikleri, aslında atomik ölçekte meydana gelen yapısal bozulmalar ile yerel kimyasal dağılım arasındaki karmaşık ilişkilerden doğar. Bu nedenle, makro-düzeydeki aygıt performansını optimize etmek için öncelikle atomik yapı ile malzeme özellikleri arasındaki bu köprüyü kurmak fiziksel olarak zorunludur (Cabral vd., 2023).

X-Işını Difraksiyonu (XRD)

X-ışını kristalografisinin asırlık geçmişi; kristal simetrisinin matematiksel teorilerinden, elektromanyetik radyasyonun dalga doğasının keşfine ve nihayetinde karmaşık biyolojik makromoleküllerin atomik haritalarının çıkarılmasına uzanan, bilim tarihindeki en büyük kırılma noktalarından biridir.

Tarihler 1895 yılını gösterdiğinde, Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen indüksiyon bobinine bağlı bir Crookes tüpünden yüksek gerilimli akım geçirirken, düzeneğin uzağında duran Baryum platinsiyanür kristallerinde yeşil pırıltılar fark etmiş ve bu gizemli radyasyona X-ışınları adını vermiştir. Röntgen,

bu keşfiyle ilk tıbbi radyografiyi (eşinin elinin görüntüsü) çekerek 1901 yılında ilk Nobel Fizik Ödülü'nün sahibi olmuştur. Ancak, X-ışınlarının elektromanyetik bir dalga mı yoksa tanecik (foton) mi olduğu sorusu fizik dünyasında uzun süre tartışma konusu olmuştur. Bu belirsizlik, Paul Peter Ewald'un görünür bölgedeki ışığın dalga boyunun gerekenden büyük olmasından yakınması ve Max Von Laue'nun ise X-ışınlarının dalga boyunun yaklaşık bir 1Å olması sebebiyle birim hücre boyutlarıyla uyumlu olmasını savunmasıyla aşılmış oldu. Von Laue'nin yönlendirmesiyle Walter Friedrich ve Paul Knipping, bir bakır sülfat ($CuSO_4$) kristalinden dar bir X-ışını demeti geçirmiş ve arkasına yerleştirdikleri fotoğraf plağında düzenli leke desenleri (Laue Lekeleri) elde etmişlerdir. Bu tarihi deney; hem X-ışınlarının elektromanyetik bir dalga olduğunu hem de kristallerin periyodik uzay kafesi yapısını eş zamanlı olarak kanıtlamıştır. Max von Laue, bu devrimsel keşfiyle 1914 Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür. Laue'nin deneysel başarısı, İngiliz fizikçiler William Henry Bragg ve oğlu William Lawrence Bragg tarafından büyük bir ilgiyle karşılanmıştır. Genç Lawrence Bragg, Laue'nin karmaşık kırınım denklemlerini fiziksel ve geometrik olarak basitleştirmiştir. Kristal içindeki atom düzlemlerini yarı yansıtıcı aynalar gibi ele alan Bragg, ardışık düzlemlerden yansıyan X-ışını dalgalarının yapıcı girişim (constructive interference) yapabilmesi için aralarındaki yol farkının dalga boyunun tam katı olması gerektiğini göstermiş ve kendi adıyla anılacak olan Bragg Yasası'nı formüle etmiştir (Bragg, 1915).

Yarıiletken ince filmlerin ve heteroyapıların analizinde, kristal kafesteki pürüzler, örgü parametresi kaymaları, kristal eğilmeleri ve gerilme dağılımları gibi kritik değişkenler doğrudan geometrik nesneler olarak gözlemlenemez. Bu fiziksel özellikler, malzemenin periyodik atomik düzeninden dolayı ters örgü uzayında kırınım sinyallerinin konumu, genişliği, asimetrisi ve şiddeti olarak kodlanır.

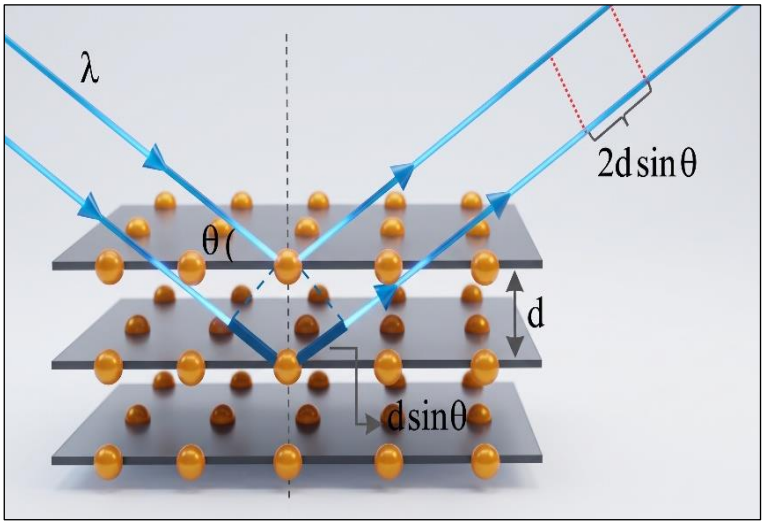
X-Işını Kırınımı (XRD) tekniği, bu ters uzay kodlamasını çözerek numuneye zarar vermeden derinlemesine yapısal bilgi sağlayan en köklü karakterizasyon yöntemidir. Tekniğin fiziksel temeli, X-ışını fotonlarının kristal düzlemleri tarafından saçılmasıyla oluşan girişim olayını açıklayan Bragg Yasası'na dayanır (Bragg ve Bragg, 1915);

$$2dsin\theta = n\lambda \tag{1.1}$$

Burada:

- d: Kristal düzlemleri arasındaki mesafeyi,
- θ: Gelen X-ışınının kristal düzlemiyle yaptığı kırınım (Bragg) açısını,

- λ: Gelen X-ışınının dalga boyunu ifade eder ve genellikle ~8 keV enerjiye sahip, dalga boyu 0.15406 nm olan Cu $K\alpha_1$ kaynağı kullanılır,
- *n*: Kırınım derecesini (tam sayı) ifade eder.



Şekil 1. Kristal düzlemde X-ışını kırınım diyagramı

Bragg Yasası'nın fiziksel mekanizmasını gösteren diyagramda, monokromatik X-ışınlarının kristal kafes düzlemleriyle etkileşimi ve yapıcı girişim koşulu görülmektedir. Diyagramdaki fiziksel süreçler ve geometrik bileşenler şu esasa dayanmaktadır:

Paralel Atomik Düzlemler (*d*): Kristali oluşturan atomlar, birbirine paralel ve aralarında d (düzlemler arası mesafe / *interplanar spacing*) kadar uzaklık bulunan (*hkl*) kristalografik düzlemlerini oluşturur.

Gelen X-Işını Demeti ve Bragg Açısı (θ): Dalga boyu λ olan monokromatik ve paralel iki X-ışını (Işın 1 ve Işın 2), atomik düzlemlerle θ (Bragg açısı) yapacak şekilde numuneye ulaşır.

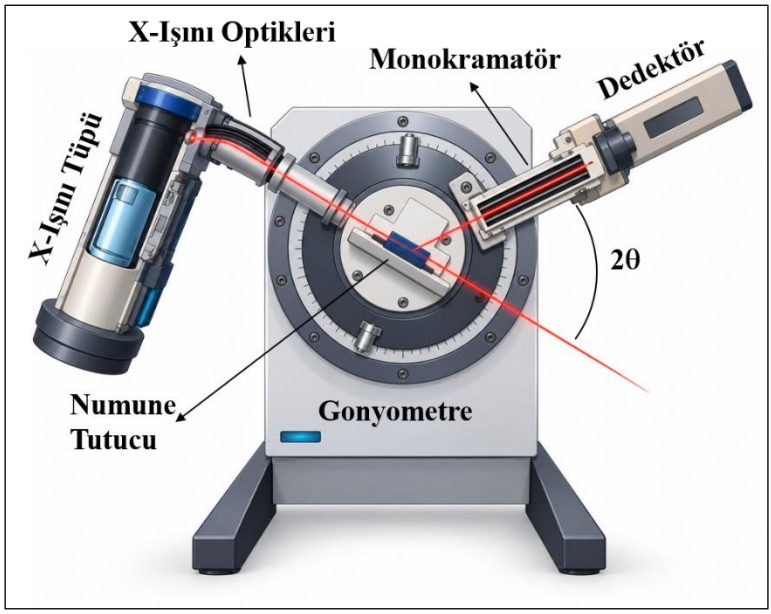
Coherent (Aynı Fazlı) Saçılma: Üst düzlemdeki (1. Düzlem) atomlara çarpan Işın 1, doğrudan θ açısıyla saçılırken; 2. Düzleme ulaşan Işın 2, kristal içerisine nüfuz ederek alt katmandaki bir atomdan yine θ açısıyla saçılmaya uğrar.

Yol Farkının Geometrik Türetilişi (2dsinθ): Işın 2, 1. Işın ile karşılaştırıldığında numuneye girerken ve numuneden çıkarken fazladan bir yol kateder. Üst ışın yolundan alt ışın yoluna indirilen dikmeler yardımıyla dik üçgen geometrisi uygulandığında (Pisagor bağıntısı), alt ışının katettiği bu fazladan yolun uzunluğu $d\sin\theta + d\sin\theta = 2d\sin\theta$ olarak hesaplanır.

Yapıcı Girişim ve Kırınım Şartı ($n\lambda$): Saçılan 1 ve 2 ışınlarının birbiriyle aynı fazda kalarak birbirini güçlendirmesi (yapıcı girişim) ve dedektörde net bir kırınım piki oluşturabilmesi için, aralarındaki yol farkının kullanılan X-ışınının dalga boyunun tam katlarına ($n\lambda$) eşit olması zorunludur. Bu fiziksel zorunluluk Bragg Yasası'nı verir: $2dsin\theta = n\lambda$ Eğer yol farkı λ 'nın tam katı değilse, saçılan dalgalar zıt fazlarda çakışarak birbirini sönümler (yıkıcı girişim / *destructive interference*) ve kırınım sinyali oluşmaz.

Ölçülen Kırınım Açısı (2θ): Kırınım cihazlarında (difraktometre) dedektörün ölçtüğü açı, numuneden doğrudan geçen (iletilen) ışın doğrultusu ile kırınan ışın doğrultusu arasındaki 2θ kırınım açısıdır.

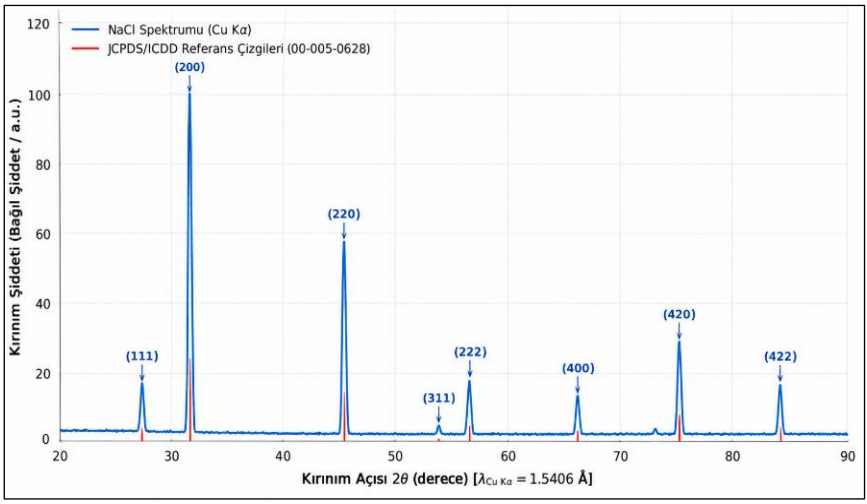
Kristali oluşturan atomlar, gelen X-ışını fotonları ile etkileşime girdiğinde inelastik enerji kaybı olmaksızın uyumlu (coherent) saçılma gerçekleştirirler. Saçılan dalgalar arasındaki yol farkı, kullanılan X-ışını dalga boyunun tam katlarına ($n\lambda$) eşit olduğunda yapıcı girişim (constructive interference) meydana gelir ve dedektör tarafından keskin kırınım pikleri (Bragg peaks) olarak kaydedilir. Bu piklerin konumları ve şekilleri, malzemenin kristal yapısı ve kafes bozulmaları hakkında tüm fiziksel bilgiyi barındırır (Jiang vd., 2026).



Şekil 2. X-ışını kırınım cihazının çalışma prensibi şematik diyagramı

X-ışını Difraktometresinin (XRD) çalışma prensibi; yüksek gerilim altında hızlandırılan elektronların anot hedefe çarptırılmasıyla üretilen monokromatik X-ışınlarının, optik yarıklar vasıtasıyla gonyometre merkezindeki numuneye

odaklanmasına dayanır. Numunenin periyodik atomik düzlemlerinden esnek biçimde saçılan X-ışınları, gelen ışının düzlemle yaptığı açı (θ) ile düzlemler arası mesafe (d) arasındaki yol farkının dalga boyunun tam katına ulaştığı özel açılarda Bragg Yasası'na ($2dsin\theta = n\lambda$) göre yapıcı girişim oluşturarak keskin kırınım sinyalleri meydana getirir. Bragg–Brentano odaklama geometrisinde yüksek hassasiyetli gonyometre kullanılır; numune tablası ω açısıyla ($\omega=\theta$) dönerken dedektör kolu eşzamanlı olarak 2θ açısıyla hareket ederek odaklama şartını korur (Cullity ve Stock, 2014). Bu sırada kırınıma uğrayan fotonların şiddeti elektronik dedektörler tarafından kaydedilerek kırınım açısına (2θ) karşılık foton sayım şiddeti (difraktogram) elde edilir. Bu elde edilen veriler sonucunda şiddet vs. 2θ grafiği Şekil 3'te verildiği gibi elde edilir.



Şekil 3. NaCl (Sodyum Klorür) xrd spektrumu (AlGharram vd., 2026)

Bir X-Işını Kırınımı (XRD) ölçümü tamamlandığında, cihazın dedektöründen elde edilen ham veri matrisi ve bu verinin matematiksel/fiziksel analizleri sonucunda üç temel grupta parametreler elde edilir.

Ham Veriden Doğrudan Ölçülen Birincil Değerler

Diffraktometreden alınan ham kırınım deseni temelde iki sütunlu bir sayısal veridir:

- *Kırınım Açısı (2θ):* Gelen ve kırınan X-ışınları arasındaki açısal pozisyondur. Pikin konumunu belirler.
- *Kırınım Şiddeti (I / Intensity):* Dedektörün saniye başına saydığı foton sayısıdır (CPS / Counts). Pikin yüksekliğini veya pik alanını ifade eder.

- *Pik Yarı Genişliği (FWHM - Full Width at Half Maximum, β):* Kırınım pikin azami şiddetinin yarısındaki açısal genişliğidir. Kırınım çizgisinin keskinliğini veya genişlemesini ölçer (Cullity ve Stock, 2014).

Doğrudan Türetilen Temel Kristalografik Parametreler

Ham kırınım verileri fiziksel eşitliklerle işlendiğinde şu temel kristalografik değerler hesaplanır:

- *Düzlemler Arası Mesafe (d-spacing):* Ölçülen 2θ açıları, kullanılan X-ışını dalga boyu (λ) ile Bragg Yasası kullanılarak doğrudan her bir atomik düzlemin arasındaki *d* mesafesine dönüştürülür.
- *Miller İndisleri (hkl):* Kırınım piklerinin hangi kristalografik düzlem ailesinden kaynaklandığını belirleme işlemine *"indeksleme"* denir. Her pik (111), (200), (220) gibi *hkl* indisleriyle etiketlenir.
- *Birim Hücre / Kafes Parametreleri: (a, b, c, α, β, γ):* İndekslenen *hkl* düzlemleri ve bunlara karşılık gelen *d* mesafeleri kullanılarak kristalin birim hücre kenar uzunlukları ve açıları hassas bir şekilde hesaplanır (Ali vd., 2022).

İleri İnceleme ve Modellere Dayalı Yapısal Parametreler

Elde edilen 2θ, şiddet ve FWHM değerleri ileri yazılımlar (örneğin Rietveld (1969) arıtımı) ve matematiksel modellerle analiz edildiğinde malzemenin mikroyapısına dair şu değerler elde edilir;

- *Faz Tespiti ve Kimyasal Kimlik:* Kırınım piki konumları (*d*) ve bağıl şiddetleri (*I/Imax*), ICDD/JCPDS veya COD veri tabanlarındaki standart referans kartlarıyla eşleştirilerek numunede hangi kristal fazların var olduğu belirlenir. Rietveld arıtımı veya RIR metoduyla bu fazların ağırlıkça/hacimce yüzdeleri (nicel/kantitatif analiz) elde edilir (Rietveld, 1969).
- *Kristalit (Tane) Boyutu (D):* Pikin genişliği (FWHM), nanokristalin malzemelerde tane boyutunun küçülmesiyle artar. Aşağıda verilen Debye-Scherrer denklemi kullanılarak ortalama tane boyutu nanometre ölçeğinde hesaplanır (Debye ve Scherrer, 1917);

$$D = \frac{k\lambda}{\beta cos\theta} \tag{1.2}$$

k, kristalit şekil faktörü olarak adlandırılır, kübik sistemler için değeri yaklaşık 0,94 olan sabit bir sayıdır. β, (FWHM) pik yarı genişliğini ve θ ise Bragg kırınım açısını ifade etmektedir.

- *Mikro ve Makro Gerilme (Micro/Macro Strain):* Pikin teorik konumundan kayması makro-gerilmeyi (elastik gerilme/stres); pikin asimetrik genişlemesi ise kristal içindeki mikro-gerilimi (dislokasyonlar veya homojen olmayan gerilmeler) gösterir. Williamson-Hall grafikleri ile tane boyutu genişlemesi ve gerilme genişlemesi birbirinden ayrıştırılır (Sarıarslan vd., 2025).
- *Dislokasyon Yoğunluğu (δ):* Kristal kafesteki kusurların ve kayma çizgilerinin yoğunluğu, pik genişlemesi ve kristal örgü sabiti (lattice sabiti) değerleri üzerinden belirlenir (Devamani ve Alagar, 2013).

$$\delta = \frac{1}{D^2} \tag{1.3}$$

D kristalit tane boyutudur.

- *Kristalinite Derecesi (%):* Amorf ve kristal fazları birlikte içeren numunelerde (örneğin polimerler veya cam-seramikler), kristal pik alanlarının toplam kırınım alanına oranıyla % kristalinite değeri hesaplanır.
- *Kristal Kalitesi ve Yönelim (Rocking Curve FWHM):* Tek kristal veya epitaksiyel filmlerde sallantı eğrisi (Rocking Curve) FWHM değeri ne kadar dar ise mozaik blok dağılımı o kadar az ve kristal kalitesi o kadar yüksektir.
- *İnce Filmlerde Gerilme-Gevşeme (Strain & Relaxation):* Ters Örgü Haritalama (RSM) ölçümleriyle, epitaksiyel filmin altlığa uyumu, düzlem içi ve düzlem dışı gerilme oranları ile ince filmin gevşeme yüzdesi (%) belirlenir (Suryanarayana ve Norton, 1998).

Kaynakça

AlGharram, M., AlZoubi, T., Mouhtady, O. ve Makhadmeh, G. N. (2026). Critical crystallographic interpretation of NaCl powder XRD: From FCC indexing to coherence-length uncertainty. *Compounds*, *6*(3), Article 48. https://doi.org/10.3390/compounds6030048

Ali, A., Chiang, Y. W. ve Santos, R. M. (2022). X-ray diffraction techniques for mineral characterization: A review for engineers of the fundamentals, applications, and research directions. *Minerals*, *12*(2), Article 205. https://doi.org/10.3390/min12020205

Bragg, W. H. (1915). Bakerian lecture: X-rays and crystal structure. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, *215*, 253–274.

Bragg, W. H., ve Bragg, W. L. (1915). *X-rays and crystal structure*. G. Bell and Sons.

Cabral, M. J., Chen, Z., ve Liao, X. (2023). Scanning transmission electron microscopy for advanced characterization of ferroic materials. *Microstructures*, *3*(4), Article 2023040. https://doi.org/10.20517/microstructures.2023.39

Cullity, B. D., ve Stock, S. R. (2014). *Elements of X-ray diffraction* (3. bs.). Pearson.

Debye, P. ve Scherrer, P. (1917). Interference on inordinate orientated particles in X-ray light. III. *Physikalische Zeitschrift*, *18*, 291–301.

Devamani, R. H. P. ve Alagar, M. (2013). Synthesis and characterisation of copper II hydroxide nano particles. *Nano Biomedicine and Engineering*, *5*(3), 116–120. https://doi.org/10.5101/nbe.v5i3.p116-120

Jiang, Y., Zhang, Z., An, Z., Pan, X., Shi, X., Wang, R., Li, J., Chen, C., Cao, Z., Xu, Y., Wei, J., Zhang, X., ve Peng, Y. (2026). X-ray characterization of semiconductor materials and advanced packaging: A perspective on multidimensional structural analysis. *Crystals*, 16(4), 265. https://doi.org/10.3390/cryst16040265

Rahman, M. A. (2014). A review on semiconductors including applications and temperature effects in semiconductors. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, *7*(1), 50–70. https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/693

Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, *2*(2), 65–71. https://doi.org/10.1107/S0021889869006558

Sarıarslan, O., Bayal, Ö., Bilgili, A., Çatıkkaş, B., Öztürk, M. ve Özbay, E. (2025). Comparative structural analysis of graded and standart AlΔxGa1-ΔxN HEMT devices by Williamson-Hall method. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, *12*(4), 1013–1027. https://doi.org/10.54287/gujsa.1779021

Suryanarayana, C. ve Norton, M. G. (1998). *X-ray diffraction: A practical approach*. Springer.

4. Bölüm

Rastgele Blok Tasarımında Friedman ve Doksum Testlerinin Karşılaştırılması: Uygulama ve Monte Carlo Simülasyon Çalışması

Hasan Hüseyin GÜL[1]*, Çetin Cemal ÖZEKEN[2]

1.GİRİŞ

İstatistiksel deney tasarımı, bir sürecin çıktılarındaki farklılıkları anlamak ve bu çıktılara etki eden faktörlerin rolünü değerlendirmek amacıyla kullanılan güçlü bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle bir süreç üzerinde yapılacak değişikliklerin etkilerini sistematik bir şekilde incelemeyi amaçlar. Deney tasarımının temeli, faktörlerin kontrol edilmesi, rastgelelik ve bloklama gibi unsurlara dayanır. Bu üç yöntemin temel amacı deneysel hatayı azalmaktır. İlk kez 1920'lerde, ünlü İstatistikçi Ronald A. Fisher tarafından tarım alanında yapılan araştırmalarla geliştirilen deney tasarımları yöntemi, günümüzde pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fisher'ın geliştirdiği rastgele blok tasarımı (RBT), özellikle deneylerin doğruluğunu artırmak ve hataları minimize etmek için oldukça temel ve önemli bir tasarımdır.

RBT hedef değişkendeki farklılıkların blok içindeki varyasyonlardan kaynaklandığı durumlarda oldukça etkilidir. Bu tür tasarımlar, deney birimlerinin homojen olduğu durumlarda kullanılmakta ve her işlem, her bloğa rastgele yerleştirilir. Böylece, belirli faktörlerin etkileri net bir şekilde izole edilebilmektedir. İstatistiksel deney tasarımında, genellikle parametrik testler kullanılarak hipotez testleri yapılır. Fakat, parametrik testlerin kullanımı için bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir. En yaygın varsayımlar arasında, verilerin normal dağılıma uygun olması yer alır. Bu varsayımın sağlanamadığı durumlarda, parametrik olmayan testler kullanılır (Hemer, 2012).

Deney tasarımında yapılan hipotez testlerinin çoğunda, işlem sayısının arttığı durumlarda, araştırmacılar genellikle alternatif hipotez ile yokluk hipotezi arasında seçim yaparlar. Alternatif hipotez, genellikle en az bir işlemin diğerlerinden farklı olduğu şeklindedir. Ayrıca, bazı durumlarda işlemler arasındaki ilişki sıralı olabilir; yani bir faktörün artmasına bağlı olarak diğer

[1] Doç. Dr. Hasan Hüseyin GÜL, Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü, ORCİD: 0000-0001-9905-8605
[2] Dr. Öğr. Üyesi Çetin Cemal ÖZEKEN, Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, ORCİD: 0000-0002-5916-0688

faktörlerin etkisi de sırasıyla artabilir. Örneğin, tarımsal üretimde ekilen tohum miktarının artışıyla birlikte, hasat edilen ürün miktarının artması beklenmektedir. Bu tür sıralı etki durumları da RBT ile incelenebilir (Duran,1995). Bazı durumlarda ise RBT' larda Umbrella (Şemsiye biçimli) Hipotez test yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, birden fazla hipotez arasındaki ilişkiyi test etmek için kullanılır ve genellikle çoklu karşılaştırmalar ile ilgilidir. Şemsiye biçimli alternatifin temel amacı, çoklu hipotez testlerinde, her bir alt hipotezi tek başına test etmek yerine, tüm alt hipotezleri kapsayan genel bir hipotez test etmektir. Böylelikle, daha geniş bir genel test yapılmış olur ve I. Tip Hatanın azalmasına yardımcı olur (Westfall ve Young, 1993).

Literatürde deney tasarımında kullanılan hipotez testleri ile çok sayıda çalışma yapılmıştır. Skillings ve Wolfe (1978), dengeli veya dengesiz blok tasarımlarında sıralı alternatiflerin test edilmesine yönelik bir test istatistikleri sınıfını ele almışlardır. Bu yaklaşımda, her blok için ayrı bir istatistik hesaplanmakta ve bu istatistiklerin ağırlıklı toplamı alınarak genel test istatistiği elde edilmektedir. Cruch ve Wike (1979), parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testlerinin iki yönlü deney tasarımlarındaki etkinliğini Monte Carlo simülasyonlarıyla incelemişlerdir. Simülasyon sonuçları, Doksum testinin güç değerlerinin Friedman testine kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, incelenen deney koşullarında Friedman testinin Doksum testinden daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Berenson (1982), RBT'de sıralı alternatiflerin test edilmesi amacıyla, blok içi hizalama sonrasında sıralama işlemine dayanan bir test geliştirmiştir. Bu test, Skillings ve Wolfe (1978) tarafından geliştirilen genelleştirilmiş Puri testinin basitleştirilmiş bir biçimidir. Belli koşullarda geliştirilen testin önceki testlere kıyasla daha yüksek güç ve etkinlik sergilediği belirlenmiştir.

Mann ve Pirie (1982), $\lambda(F)$ ve $\mu(F)$ parametreleri için daha sıkı alt sınırlar elde etmiş ve bu parametrelerin tahminine yönelik basitleştirilmiş algoritmalar geliştirmişlerdir. Çalışmada, Doksum, Hollander ve Lehmann tarafından incelenen doğrusal sıra istatistiklerinin varyans tahminlerindeki hesaplama karmaşıklığının azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen alt sınırların ve geliştirilen algoritmaların, hesaplama yükünü azaltarak istatistiksel analizlerde pratik kolaylıklar sağladığı sonucuna varılmıştır. Magel ve Fu (2014), karma iki örneklem tasarımı için sıra temelli yeni bir parametrik olmayan test önermişlerdir. Gruplar arasındaki farklılıkların incelenmesine yönelik bu testin, ele alınan koşullarda geleneksel parametrik testlere alternatif oluşturabileceğini ve güç bakımından avantaj sağlayabileceğini göstermişlerdir. Gökpınar ve Gökpınar (2016), şemsiye biçimli alternatiflerin sınanması amacıyla Mack–Wolfe testine bazı değişiklikler önermişlerdir. Önerilen test istatistiklerinin

yokluk hipotezi altındaki ortalama ve varyanslarını türetmiş ve bu testleri I. tip hata oranı ve güç bakımından mevcut bazı testlerle karşılaştırmışlardır. Elde edilen bulgular, değiştirilen testlerin incelenen koşullarda güç bakımından avantaj sağladığını göstermiştir. Akdur ve ark. (2016), sıralı alternatiflerin test edilmesi amacıyla Jonckheere testinin değiştirilmiş bir biçimini önermişlerdir. Önerilen testin performansını, özellikle tekrarlı ölçümler içeren tasarımlarda incelemişlerdir. Bulgular, geliştirilen testin ele alınan koşullarda sıralı alternatiflerin belirlenmesinde daha yüksek güç değerleri sergilediğini göstermiştir.

Akdur ve ark. (2019), sıralı alternatiflerin test edilmesinde kullanılan sıra temelli testlerin rastgele tamamlanmış blok tasarımlarındaki (RTBT) etkinliğini inceleyerek bu testlerin avantajlarını ve sınırlılıklarını değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulgular, Jonckheere–Terpstra ve Hollander testlerinin incelenen koşullarda güçlü alternatifler sunduğunu göstermiştir. Akdur (2020), TRT'de sıralı alternatiflerin test edilmesi amacıyla Jonckheere testine alternatif bir test geliştirmiştir. Önerilen test istatistiğinin performansını Monte Carlo simülasyonlarıyla değerlendirmiş ve incelenen koşullarda mevcut bazı parametrik olmayan testlerden daha yüksek güç sergilediğini göstermiştir. Alnssyan (2020), RBT ve TRBT'nin birleşiminden oluşan karma tasarımlarda azalmayan alternatiflerin sınanması amacıyla Jonckheere–Terpstra testine dayalı bir yöntem önermiştir. Yöntemin performansını Monte Carlo simülasyonlarıyla değerlendirmiş ve güç bakımından Magel ve ark. (2009) tarafından önerilen testlerle karşılaştırmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin I. tip hata oranlarını koruduğunu ve incelenen koşullarda karşılaştırılan testlerden daha yüksek güç değerleri sergilediğini göstermiştir. Gül ve Bayrak (2022), Doksum, uyarlanmış Page ve Friedman testlerinin performanslarını farklı konum parametreleri ve örneklem büyüklükleri altında değerlendirmişlerdir. Dört ve beş işlem içeren senaryolar için yürütülen simülasyon çalışmasında, testleri I. tip hata oranı ve güç bakımından karşılaştırmışlardır. Ayrıca, ele alınan testleri gerçek bir veri setine uygulayarak uygulamadaki kullanımlarını örneklendirmişlerdir.

Deneysel araştırmalarda doğru test seçimi, elde edilen sonuçların güvenirliğini ve geçerliliğini doğrudan etkiler. RBT, deneysel birimleri benzer özelliklere sahip gruplara ayırarak farklı uygulamaların etkilerini daha doğru şekilde değerlendirmeyi sağlar. Fakat, verilerin her zaman normal dağılıma uyması mümkün değildir. Bu durum parametrik olmayan testlerin kullanımını daha önemli bir hale getirmiştir. Bu çalışmada, RBT da tercih edilen testlerden, Friedman ve Doksum testlerinin performansları karşılaştırılarak, her iki testin farklı koşullar altında nasıl performans gösterdikleri incelenmiştir.

2. Kullanılan Parametrik Olmayan Testler

2.1 Friedman Test İstatistiği

RBT tasarımlarında kullanılan alternatif testlerden biri olan Friedman Testi, sıralı hipotezler için kullanılan bir parametrik olmayan testtir. Bu test, özellikle bağımlı verilerin olduğu durumlarda ve normal dağılım varsayımının sağlanmadığı durumlarda kullanılır (Friedman, 1937). RBT da her blok içindeki bireyler, tedavi veya uygulama sırasına göre sıralandığında, Friedman testi bloklar arasında fark olup olmadığını test etmek için kullanılır. Friedman testi, sıralama verilerinin genellikle aritmetik ortalama ya da diğer parametrelerle değerlendirilemeyeceği durumlarda alternatif bir çözüm sunmaktadır (Siegel ve Castellan, 1988).

Friedman testinin genel işleyiş algoritması şu şekildedir;

1. *Verilerin Düzenlenmesi*: Veriler, her satır bir bloğu, her sütun ise bir işlem veya koşulu temsil edecek şekilde düzenlenir.

2. *Sıralama Yapma*: Her bloktaki gözlemler küçükten büyüğe doğru sıralanarak 1'den işlem sayısına kadar sıra numarası verilir. Eşit gözlemlere, karşılık gelen sıra numaralarının ortalaması atanır. Ardından her işlem için sıra toplamı hesaplanır.

$$R_j = \sum_{i=1}^{n} r_{i,j} \quad \text{ve} \quad R_j = \frac{R_j}{n}$$

3. *Test İstatistiği Hesaplanması*: Friedman testi, sıralamaların ortalamalarına dayalı olarak bir test istatistiği hesaplar ve bu istatistiği bir χ^2 dağılımına göre değerlendirir.

H_0 : " İşlemler arasında herhangi bir farklılık yoktur."

H_1 : " En az bir işlem diğerlerinden farklıdır."

Friedman Test İstatistiği aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$F = \frac{12}{n*k(k+1)} \sum_{i=1}^{n} \left(R_j - \frac{k*(k+1)}{2}\right)^2, \qquad (1)$$

n: Blok sayısı,

k: İşlem sayısı,

R_j: j. blok için sıra toplamı,

4. *Sonuçların Değerlendirilmesi*: Hesaplanan istatistiksel değer, belirli bir anlamlılık seviyesine göre karşılaştırılır (Conover, 1999). Eğer test sonucu anlamlı ($p \leq 0.05$) ise; H_0 hipotezinin reddedileceğini gösterir.

2.2. Doksum Test İstatistiği

Doksum testi, rastgele tamamlanmış blok tasarımlarında işlem etkilerinin karşılaştırılmasında kullanılan parametrik olmayan testlerden biridir. Friedman testine alternatif olarak kullanılabilen bu test, işlem çiftleri arasındaki blok içi farklara uygulanan Wilcoxon işaretli sıralar yaklaşımına dayanmaktadır. Normal dağılım varsayımı gerektirmemekle birlikte, geçerliliği ilgili model ve simetri varsayımlarına bağlıdır (Doksum, 1967; Hollander ve Wolfe, 1999). Friedman testinde gözlemler her blok içinde sıralanırken, Doksum testinde aynı blokta yer alan işlem çiftleri arasındaki farklar hesaplanır. Her işlem çifti için bu farkların mutlak değerleri bloklar boyunca sıralanır ve farkların işaretleri dikkate alınarak sıra toplamları elde edilir.

Doksum testinin genel işleyiş algoritması şu şekildedir;

1. *Gözlem verileri bloklara ayrılır:* Veriler, her blokta her işleme ait bir gözlem bulunacak şekilde düzenlenir.

2. *Hipotezlerin belirlenmesi:*

H_0 : İşlemlerin konum etkileri birbirine eşittir.

H_1 : En az bir işlemin konum etkisi diğerlerinden farklıdır.

3. *İşlem çiftleri arasındaki farkların hesaplanması:* Her blokta, karşılaştırılan iki işleme ait gözlemlerin farkı alınır. Bu işlem, tüm işlem çiftleri için tekrarlanır

Her bir $k(k\text{-}1)/2$ çift gözlem için;

(u, v), $1 \le u < v \le k$ ile birlikte n adet mutlak fark oluşturulur.

$$Y_{uv}^{i} = |X_{iu} - X_{iv}|, \quad i = 1, \ldots, n \tag{2}$$

$$T_{uv} = \sum_{i=1}^{n} R_{uv}^{i} \Psi_{uv}^{i} \quad \text{ve} \quad B_{uv} = \sum_{i=1}^{n} \Psi_{uv}^{i} \tag{3}$$

$$\Psi_{uv}^{i} = \{1, \; X_{iu} < X_{iv} \; 0, \quad d.d. \tag{4}$$

$$H_{uv} = \frac{2(T_{uv} - B_{uv})}{n(n-1)}, \quad 1 \le u < v \le k, \tag{5}$$

$$H_u = \sum_{j=1}^{k} \frac{H_{uj}}{k} \qquad u = 1, \ldots, k, \tag{6}$$

$$var_0(H_u - H_v) = \frac{2n-1+(k-2)[24(n-2)\lambda_F+13-6n]}{3kn(n-1)}, \tag{7}$$

$$\lambda_F = P_0(X_1 < X_2 + X_3 - X_4 \quad \text{ve} \quad X_4 < X_5 + X_6 - X_7), \tag{8}$$

$$V_u = \frac{2n-1+(k-2)[7(n-2)+13-6n]}{3kn(n-1)}. \tag{9}$$

4. *Test istatistiğinin hesaplanması:* Test istatistiği, işlem çiftleri için elde edilen işaretli sıra toplamlarına dayalı olarak hesaplanır ve işlem etkileri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunup bulunmadığının değerlendirilmesini sağlar (Lehmann, 1975).

$$D = \sum_{j=1}^{k} \frac{[H_t - \{(k-1)/2k\}]^2}{(k-1)V_u/2k}. \quad (10)$$

5. *Anlamlılık Düzeylerinin Belirlenmesi ve Sonuçların Değerlendirilmesi:* Hesaplanan test istatistiği tablo değeri ile karşılaştırılır. Genellikle 0.05 anlamlılık düzeyi esas alınarak testin anlamlılık düzeyi belirlenir.

$D \geq \chi^2_{k-1,a}$ ise H_0 hipotezi reddedilir.

3. Uygulama

Bu bölümde, Woodward (1970) dan alınan veri seti üzerinde, Friedman ve Doksum testlerinin örnek uygulaması yapılacaktır. Veri setinde, 22 adet beyzbol oyuncusunun performans verileri üzerinden üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar, yuvarlama, dar açı ve geniş açı ölçümleridir.

Tablo 1. Birinci Üs Zamanların Yuvarlanması.

	Yöntem		
Oyuncular	**Yuvarlama**	**Dar Açı**	**Geniş Açı**
1	5,40 (1)	5,50 (2)	5,55 (3)
2	5,85 (3)	5,70 (1)	5,75 (2)
3	5,20 (1)	5,60 (3)	5,50 (2)
4	5,55 (3)	5,50 (2)	5,40 (1)
5	5,90 (3)	5,85 (2)	5,70 (1)
6	5,45 (1)	5,55 (2)	5,60 (3)
7	5,40 (2,5)	5,40 (2,5)	5,35 (1)
8	5,45 (2)	5,50 (3)	5,35 (1)
9	5,25 (3)	5,15 (2)	5,00 (1)
10	5,85 (3)	5,80 (2)	5,70 (1)
11	5,25 (3)	5,20 (2)	5,10 (1)
12	5,65 (3)	5,55 (2)	5,45 (1)
13	5,60 (3)	5,35 (1)	5,45 (2)
14	5,05 (3)	5,00 (2)	4,95 (1)
15	5,50 (2,5)	5,50 (2,5)	5,40 (1)
16	5,45 (1)	5,55 (3)	5,50 (2)

17	5,55 (2,5)	5,55 (2,5)	5,35 (1)
18	5,45 (1)	5,50 (2)	5,55 (3)
19	5,50 (3)	5,45 (2)	5,25 (1)
20	5,65 (3)	5,60 (2)	5,40 (1)
21	5,70 (3)	5,65 (2)	5,55 (1)
22	6,30 (2,5)	6,30 (2,5)	6,25 (1)
	R1 = 53	**R2 = 47**	**R3 = 32**

Çalışmada 22 beyzbol oyuncusu kullanılmış ve her bir oyuncu bir kaleden diğerine 6 kez koşmuştur. Rastgele bir sıra kullanılarak, oyuncu başına bu 6 deneme üç yöntem arasında eşit olarak bölünmüştür. Tablo 1'deki girdiler, birinci kale çizgisi üzerindeki kale sahasından 35 ft uzaklıktaki bir noktadan ikinci kalenin 15 ft gerisindeki bir noktaya kadar her yöntem için iki koşunun ortalama sürelerini göstermektedir. Gözlemlerim blok içi sıra (r_{ij}) değerleri Tablo 1 de veri değerlerinden sonra parantez içinde verilmiştir.

Tablo 1'de yer alan veriler üzerinden Friedman test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır,

$F = \frac{[(53-44)^2+(47-44)^2+(32-44)^2]}{22(3)(4)-(1/2)(6+6+6+6)} = 11.1.$

a=0.05 olduğundan χ^2 tablosundaki kritik değer, 5.991' e eşittir. $F > \chi^2_{tablo}$ olduğundan, H_0 hipotezi reddedilir. Friedman test istatistiği sonucuna göre, gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır.

Tablo 1'de verilen aynı veri seti üzerinden Doksum Test istatistiği hesaplanmıştır. Öncelikle, T_{uv} ve B_{uv} değerleri hesaplanmıştır. T_{12} ve B_{12} değerleri ise Tablo 2 deki gibi elde edilmiştir. B_{13}, B_{23}, T_{13}, T_{23} de benzer şekilde elde edilmiştir.

Tablo 2. T_{12} ve B_{12} değerlerinin hesaplanması.

Oyuncular (J)	$X_{j1} - X_{j2}$	Y^j_{12}	R^j_{12}	Ψ^{*j}_{UV}	$R^j_{uv}\Psi^*_{uv}$
1	-0,1	0,1	17	1	17
2	0,15	0,15	20	0	0
3	-0,4	0,4	22	1	22
4	0,05	0,05	9,5	0	0
5	0,05	0,05	9,5	0	0
6	0,1	0,1	17	1	17
7	0	0	2,5	0,5	1,25
8	-0,05	0,05	9,5	1	9,5
9	0,1	0,1	17	0	0

10	0,05	0,05	9,5	0	0
11	0,05	0,05	9,5	0	0
12	0,1	0,1	17	0	0
13	0,25	0,25	21	0	0
14	0,05	0,05	9,5	0	0
15	0	0	2,5	0,5	1,25
16	-0,1	0,1	17	1	17
17	0	0	2,5	0,5	1,25
18	-0,05	0,05	9,5	1	9,5
19	0,05	0,05	9,5	0	0
20	0,05	0,05	9,5	0	0
21	0,05	0,05	9,5	0	0
22	0	0	2,5	0,5	1,25
				$\boldsymbol{B_{12}}$ **= 8**	$\boldsymbol{T_{12}}$ **= 97**

B_{13}, B_{23}, T_{13}, T_{23} değerleri de T_{12} ve B_{12} değerlerine benzer şekilde aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

B_{12} = 8, T_{12} = 97

B_{13} = 5, T_{13} = 54

B_{23} = 5, , T_{23} = 30,5.

Buradan H_{12}, H_{13} ve H_{23} değerleri

H_{12} = 0,385

H_{13} = 0.212

H_{23} = 0.110

olarak elde edilmiştir. H_{uv} = 1- H_{vu} olduğundan,

$H_1 = \frac{H_{11}+H_{12}+H_{13}}{3} = \frac{0+0,385+0,212}{3} = 0,199,$

$H_2 = \frac{H_{21}+H_{22}+H_{23}}{3} = \frac{0,615+0+0,110}{3} = 0,242,$

$H_3 = \frac{H_{31}+H_{32}+H_{33}}{3} = 0,559.$

V_u ve dolayısıyla Doksum test istatistiği değeri:

$V_u = \frac{2(22)-1+[7(20)+3-6(22)]}{3(3)(22)(21)} = 0.15$

$D = \frac{\left[0,199-(\frac{1}{3})^2\right]+\left[0,242-(\frac{1}{3})^2\right]+\left[0,559-(\frac{1}{3})^2\right]}{2(0.015)/6} = 15,5$

olarak bulunmuştur. Serbestlik derecesi (*k*-1)' den, *sd*= 3-1 = 2, *a*=0.05 ve *D* = 15,5 olduğundan, *D*> χ^2_{tablo}, H_0 hipotezi reddedilir.

3. Simülasyon Çalışması

Bu bölümde, RBT'de genel alternatiflerin sınanmasında kullanılan Friedman ve Doksum testlerinin performansları, MATLAB R2018b ortamında yürütülen bir Monte Carlo simülasyon çalışmasıyla değerlendirilmiştir. Testler, deneysel I. tip hata oranları ve güçleri bakımından karşılaştırılmıştır. Blok sayıları 16, 24, 32 ve 48; işlem sayıları ise 3, 4 ve 5 olarak belirlenmiştir. Veriler, yokluk hipotezi altında işlem ortalamaları eşit, alternatif hipotez altında ise farklı olacak şekilde normal dağılımdan üretilmiştir. Her bir simülasyon senaryosu için 10.000 tekrar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri Tablo 3–14'te sunulmuştur.

Tablo 3. *k*=3 ve *np*=16 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	F	D
0	0	0	0.0562	0.0650
0	0	0.90	0.5902	0.7360
0.90	0.70	0.10	0.4091	0.5341
0	0.50	0.60	0.2732	0.3624
0	0.10	0.75	0.2713	0.3694
0.85	0.50	0	0.4325	0.5657
0	0.90	0.90	0.5902	0.7332
0.60	0.70	0.80	0.0737	0.0907
0	0.10	0.80	0.4457	0.5770
0.90	0	0	0.5847	0.7322

Tablo 4. *k*=3 ve *np*=24 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	F	D
0	0	0	0.0525	0.0694
0	0	0.90	0.7696	0.9084
0.90	0.70	0.10	0.5681	0.7426
0	0.50	0.60	0.3650	0.5211
0	0.10	0.75	0.3891	0.5386
0.85	0.50	0	0.5997	0.7637
0	0.90	0.90	0.7650	0.9010
0.60	0.70	0.80	0.0788	0.1080
0	0.10	0.80	0.6164	0.7820
0.90	0	0	0.7632	0.8986

Tablo 5. *k*=3 ve *np*=32 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	F	D
0	0	0	0.0498	0.0704
0	0	0.90	0.8730	0.9666
0.90	0.70	0.10	0.6917	0.8579
0	0.50	0.60	0.4553	0.6497
0	0.10	0.75	0.4713	0.6597
0.85	0.50	0	0.7083	0.8759
0	0.90	0.90	0.8755	0.9698
0.60	0.70	0.80	0.0819	0.1240
0	0.10	0.80	0.7320	0.8893
0.90	0	0	0.8757	0.9673

Tablo 6. *k*=3 ve *np*=48 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	F	D
0	0	0	0.0524	0.0752
0	0.20	0.40	0.9752	0.9974
0	0.10	0.75	0.8702	0.9664
0	0.50	0.60	0.6602	0.8322
0.60	0.70	0.80	0.6687	0.8386
0	0.70	0.80	0.8891	0.9722
0	0.90	0.90	0.9758	0.9981
0.90	0.70	0.10	0.1094	0.1624
0	0.10	0.80	0.9059	0.9775
0.90	0	0	0.9717	0.9968

Tablo 7. *k*=4 ve *np*=16 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	F	D
0	0	0	0	0.0420	0.0560
0	0.20	0.40	0.75	0.3088	0.4108
0	0.10	0.75	0.95	0.6190	0.7720
0	0.50	0.60	0.65	0.2631	0.3523
0.60	0.70	0.80	0.90	0.0810	0.1050
0	0.70	0.80	0.85	0.4494	0.5863

0	0.90	0.90	0.90	0.5516	0.7030
0.90	0.70	0.10	0	0.5680	0.7130
0	0.10	0.80	0.95	0.6280	0.7680
0.90	0	0	0	0.5300	0.6770

Tablo 8. *k*=4 ve *np*=24 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	F	D
0	0	0	0	0.0410	0.0580
0	0.20	0.40	0.75	0.4554	0.5942
0	0.10	0.75	0.95	0.8190	0.9290
0	0.50	0.60	0.65	0.4083	0.5387
0.60	0.70	0.80	0.90	0.1170	0.1420
0	0.70	0.80	0.85	0.6591	0.7940
0	0.90	0.90	0.90	0.7713	0.8879
0.90	0.70	0.10	0	0.7730	0.8890
0	0.10	0.80	0.95	0.8560	0.9310
0.90	0	0	0	0.7770	0.8950

Tablo 9. *k*=4 ve *np*=32 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	F	D
0	0	0	0	0.0360	0.0480
0	0.20	0.40	0.75	0.6040	0.7494
0	0.10	0.75	0.95	0.9350	0.9740
0	0.50	0.60	0.65	0.5302	0.6751
0.60	0.70	0.80	0.90	0.1320	0.1920
0	0.70	0.80	0.85	0.8040	0.9087
0	0.90	0.90	0.90	0.8939	0.9669
0.90	0.70	0.10	0	0.8880	0.9620
0	0.10	0.80	0.95	0.9360	0.9790
0.90	0	0	0	0.8940	0.9620

Tablo 10. *k*=4 ve *np*=48 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	F	D
0	0	0	0	0.0540	0.0700
0	0.20	0.40	0.75	0.8062	0.9111

0	0.30	0.60	0.80	0.9890	0.9990
0	0.50	0.60	0.65	0.7364	0.8626
0	0	0.30	0.50	0.1830	0.2630
0	0.70	0.80	0.85	0.9492	0.9871
0	0.90	0.90	0.90	0.9837	0.9965
0	0.50	0.75	0.90	0.9810	0.9990
0	0.10	0.80	0.95	0.9940	1
0	0.20	0.90	0.90	0.9870	0.9990

Tablo 11. *k*=5 ve *np*=16 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	F	D
0	0	0	0	0	0.0477	0.0518
0	0.20	0.40	0.75	0.90	0.4982	0.6004
0	0.30	0.60	0.80	0.95	0.5139	0.6181
0	0.50	0.60	0.65	0.75	0.2963	0.3638
0.90	0.70	0.10	0	0	0.6470	0.7455
0	0.70	0.80	0.85	0.95	0.5178	0.6084
0	0.90	0.90	0.90	0.90	0.5695	0.6629
0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.0799	0.0901
0	0.10	0.80	0.95	0.95	0.7269	0.8225
0.90	0	0	0	0	0.5631	0.6681

Tablo 12. *k*=5 ve *np*=24 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	F	D
0	0	0	0	0	0.0502	0.0542
0	0.20	0.40	0.75	0.90	0.7250	0.8290
0	0.30	0.60	0.80	0.95	0.7405	0.8423
0	0.50	0.60	0.65	0.75	0.4458	0.5453
0.90	0.70	0.10	0	0	0.8434	0.9217
0	0.70	0.80	0.85	0.95	0.7322	0.8309
0	0.90	0.90	0.90	0.90	0.7728	0.8662
0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.0952	0.1172
0	0.10	0.80	0.95	0.95	0.9103	0.9601
0.90	0	0	0	0	0.7813	0.8734

Tablo 13. *k*=5 ve *np*=32 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	F	D
0	0	0	0	0	0.0488	0.0540
0	0.20	0.40	0.75	0.90	0.8671	0.9375
0	0.30	0.60	0.80	0.95	0.8724	0.9399
0	0.50	0.60	0.65	0.75	0.5909	0.7068
0.90	0.70	0.10	0	0	0.9409	0.9808
0	0.70	0.80	0.85	0.95	0.8618	0.9332
0	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9023	0.9593
0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.1158	0.1440
0	0.10	0.80	0.95	0.95	0.9742	0.9927
0.90	0	0	0	0	0.9013	0.9577

Tablo 14. *k*=5 ve *np*=48 için Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri.

M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	F	D
0	0	0	0	0	0.0486	0.0594
0	0.20	0.40	0.75	0.90	0.9714	0.9913
0	0.30	0.60	0.80	0.95	0.9766	0.9938
0	0.50	0.60	0.65	0.75	0.8017	0.8937
0.90	0.70	0.10	0	0	0.9931	0.9989
0	0.70	0.80	0.85	0.95	0.9726	0.9924
0	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9861	0.9978
0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.1602	0.2125
0	0.10	0.80	0.95	0.95	0.9981	1

Tablo 3–14'te Friedman ve Doksum testlerinin deneysel I. tip hata oranları ve güç değerleri sunulmuştur. İşlem ortalamalarının tamamının sıfır olduğu satırlar yokluk hipotezi altındaki deneysel I. tip hata oranlarını, işlem ortalamalarının farklılaştığı diğer satırlar ise testlerin güçlerini göstermektedir. Sonuçlar, nominal anlamlılık düzeyi $\alpha = 0{,}05$ esas alınarak değerlendirilmiştir.

Üç işlem içeren senaryolarda (Tablo 3–6), Friedman testinin deneysel I. tip hata oranları 0,0498–0,0562 arasında değişirken, Doksum testinde bu oranlar 0,0650–0,0752 arasında bulunmuştur. Friedman testi nominal anlamlılık düzeyine daha yakın sonuçlar vermiştir. Doksum testinin ise bu senaryolarda nominal düzeyin üzerinde I. tip hata oranları sergilediği görülmektedir. Alternatif hipotez altında Doksum testinin hesaplanan güç değerleri tüm senaryolarda

Friedman testinden yüksek olmakla birlikte, bu avantajın bir bölümü testin daha yüksek I. tip hata oranlarıyla ilişkili olabilir.

Dört işlem içeren senaryolarda (Tablo 7–10), Friedman testinin deneysel I. tip hata oranları 0,0360–0,0540, Doksum testinin oranları ise 0,0480–0,0700 arasında değişmiştir. Friedman testi bazı durumlarda nominal düzeyin altında kalarak tutucu bir davranış sergilerken, Doksum testi bazı durumlarda nominal düzeyi aşmıştır. Alternatif hipotez altında Doksum testinin güç değerleri, incelenen tüm senaryolarda Friedman testinden yüksek bulunmuştur. Örneğin, np = 32 ve işlem ortalamaları (0; 0,20; 0,40; 0,75) olduğunda Friedman ve Doksum testlerinin güçleri sırasıyla 0,6040 ve 0,7494 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda deneysel I. tip hata oranları sırasıyla 0,0360 ve 0,0480'dır.

Beş işlem içeren senaryolarda (Tablo 11–14), Friedman testinin deneysel I. tip hata oranları 0,0477–0,0502 arasında değişerek nominal düzeye yakın kalmıştır. Doksum testinin oranları ise 0,0518–0,0594 arasında bulunmuştur. Doksum testi, bu işlem sayısında da incelenen tüm alternatif senaryolarda Friedman testinden yüksek güç değerleri vermiştir. Örneğin, np = 24 ve işlem ortalamaları (0; 0,20; 0,40; 0,75; 0,90) olduğunda Friedman testinin gücü 0,7250, Doksum testinin gücü ise 0,8290 olarak elde edilmiştir.

Aynı işlem ortalamalarının kullanıldığı karşılaştırılabilir senaryolarda, blok sayısının artmasıyla her iki testin gücünün genel olarak yükseldiği görülmektedir. İşlem ortalamaları arasındaki farklılıkların küçük olduğu senaryolarda güç değerleri düşük kalırken, daha belirgin farklılıklar içeren senaryolarda ve yüksek blok sayılarında güç değerleri 1'e yaklaşmaktadır.

Genel olarak bulgular, incelenen normal dağılım senaryolarında Doksum testinin Friedman testinden daha yüksek güç değerleri verdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle üç işlem içeren senaryolarda Doksum testinin deneysel I. tip hata oranlarının nominal düzeyi aşması, güç karşılaştırmalarının dikkatle yorumlanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle sonuçlar, Doksum testinin koşulsuz üstünlüğü şeklinde değerlendirilmemeli; güç ve I. tip hata oranları birlikte ele alınmalıdır.

4.SONUÇ

Bu çalışmada, RBT da kullanılan Friedman ve Doksum testleri incelenmiştir. Testlerin hesaplama adımları açıklanmış ve aynı veri seti üzerinde uygulama yapılmıştır. Ayrıca, farklı blok ve işlem sayıları için yapılan kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışmasıyla testlerin I. tip hata oranları ve güçleri karşılaştırılmıştır. Uygulamada, 22 beyzbol oyuncusunun üç farklı yöntemle elde edilen koşu süreleri incelenmiş ve Friedman test istatistiği 11,1, Doksum test istatistiği ise 15,5 olarak hesaplanmıştır. Her iki testte de 0,05 anlamlılık

düzeyinde yokluk hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, kullanılan yöntemlerin koşu süreleri üzerinde aynı etkiye sahip olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Böylece iki test, bu veri setinde aynı istatistiksel kararı vermiştir.

Simülasyon çalışmasında, Doksum testinin güç değerleri, tüm durumlarda Friedman testinin güç değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Aynı işlem ortalamalarının kullanıldığı karşılaştırmalarda, blok sayısı arttıkça her iki testin gücü genel olarak artmıştır. Bununla birlikte, Doksum testinin bazı durumlarda, özellikle üç işlem olduğunda, I. tip hata oranının 0,05'in üzerinde seyrettiği görülmüştür. Friedman testi ise anlamlılık düzeyine genel olarak daha yakın sonuçlar vermiştir. Anlamlılık düzeyi bakımından Doksum testinin Firedman testine göre daha tutarlı olduğu görülmüştür. Gerçek veri uygulamasında iki test aynı sonuca ulaşsa da simülasyonlarda farklı performanslar göstermişlerdir.

KAYNAKLAR

Akdur, H. T. K. (2020). Comparison of nonparametric tests for ordered alternatives in repeated measures in randomized blocks. Communications in Statistics: Simulation and Computation, 51(7), 4146–4158.

Akdur, H. T. K., Gökpınar, F., Bayrak, H., & Gökpınar, E. (2016). A modified Jonckheere test statistic for ordered alternatives in repeated measures design. Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, 20(3), 391–398.

Akdur, H. T. K., Ozonur, D., Gül, H. H., & Bayrak, H. (2019). Comparison of rank-based tests for ordered alternative hypotheses in randomized complete block designs. Gazi University Journal of Science, 32(2), 705–716.

Alnssyan, B. S. (2020). Proposed methods for the nondecreasing order-restricted alternative in a mixed design (Unpublished doctoral dissertation). North Dakota State University, Fargo, ND.

Berenson, M. L. (1982). Some useful nonparametric tests for ordered alternatives in randomized block designs. Communications in Statistics: Theory and Methods, 11(15), 1681–1693.

Conover, W. J. (1999). Practical nonparametric statistics (3rd ed.). Wiley.

Doksum, K. (1967). Robust procedures for some linear models with one observation per cell. The Annals of Mathematical Statistics, 38(3), 878–883.

Duran, B. S. (1995). Page's statistic in balanced incomplete block design (Unpublished master's thesis). Texas Tech University.

Friedman, M. (1937). The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. Journal of the American Statistical Association, 32(200), 675–701.

Gökpınar, E., & Gökpınar, F. (2016). A modified Mack-Wolfe test for the umbrella alternative problem. Communications in Statistics: Theory and Methods.

Gül, H. H., & Bayrak, H. (2022). Proposed tests for the general alternative in a mixed design consisting of completely randomized and randomized block design. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3), 560–569.

Hemer, M. T. (2012). Nonparametric test for the umbrella alternative in a randomized block design and balanced incomplete mixed design (Unpublished doctoral dissertation). North Dakota State University of Agriculture and Applied Science.

Hollander, M., & Wolfe, D. A. (1999). Nonparametric statistical methods (2nd ed.). Wiley.

Magel, R., & Fu, R. (2014). A proposed test for a mixed two-sample design. Journal of Statistical Theory and Practice, 8, 221–237.

Magel, R., Terpstra, J., & Wen, J. (2009). Proposed tests for the non-decreasing alternative in a mixed design. Journal of Statistics and Management Systems, 12(5), 963–977.

Mann, B. L., & Pirie, W. R. (1982). Tighter bounds and simplified estimation for moments of some rank statistics. Communications in Statistics: Theory and Methods, 11(10), 1107–1117.

Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2nd ed.). McGraw-Hill.

Skillings, J. H., & Wolfe, D. A. (1978). Nonparametric tests for ordered alternatives in randomized block designs. Journal of the American Statistical Association, 73(362), 427–431.

Westfall, P. H., & Young, S. S. (1993). Resampling-based multiple testing: Examples and methods for p-value adjustment. Wiley.

5. Bölüm

Pandemi Döneminin E-Hizmet Kalitesine Etkisi: Pandemi Öncesi ve Sonrası E-Ticaret Tutumlarının Karşılaştırmalı Analizi*

Gülşah KOÇ[1], Eylem DENİZ[2]

ÖZ

Dijital teknolojilerin gelişimi ve COVID-19 pandemisi, tüketicilerin alışveriş alışkanlıklarında köklü değişimlere yol açarak elektronik ticarete yönelimi ivmelendirmiştir. Bu çalışmanın amacı, pandemi öncesi (2013) ve pandemi sonrası (2025) yıllarına ait araştırma bulgularından hareketle tüketicilerin e-ticarete yönelik tutumlarını karşılaştırmalı olarak incelemektir. Collier ve Bienstock (2009) e-hizmet kalitesi yaklaşımından yararlanılarak oluşturulan 66 maddelik, 5'li Likert tipi anket ölçeği pandemi sonrası dönemde 402 geçerli katılımcıya uygulanmıştır. Elde edilen veriler Yapısal Eşitlik Modellemesi (YEM) ile analiz edilmiş; kullanım kolaylığı, gizlilik, dizayn, bilginin doğruluğu, işlevsellik, sipariş durumu, zamanlama, siparişin doğruluğu, interaktif adalet, sonuçlarda adalet ve prosedürel adalet olmak üzere 11 bağımsız gizil yapının süreç kalitesi, iyileştirme kalitesi, sonuç kalitesi, memnuniyet ve davranışsal niyet üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları, pandemi sonrası modelinde işlevselliğin süreç kalitesiyle, prosedürel adaletin iyileştirme kalitesiyle ve sonuç kalitesinin memnuniyet ile davranışsal niyetle ilişkilerinin öne çıktığını ortaya koymaktadır. Pandemi öncesi çalışmasında yayımlanan standartlaştırılmış katsayılarla yapılan betimsel karşılaştırma, bazı ilişkilerin büyüklük ve yön bakımından farklılaştığını göstermektedir. Bununla birlikte, pandemi öncesine ait ham verilerin mevcut olmaması ve iki dönemin örneklemlerinin bağımsız olması nedeniyle, söz konusu farklılıklar doğrudan nedensel etkiler veya istatistiksel olarak test edilmiş dönem farklılıkları şeklinde yorumlanmamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Ticaret, Tüketici Tutumları, COVID-19, E-Hizmet Kalitesi, Yapısal Eşitlik Modellemesi.

*Yüksek Lisans Tezi Verilerinden Türetilmiş Akademik Kitap Bölümü

[1] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)
[2] Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

1. GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, mal ve hizmetlerin sunulma ve satın alınma biçimlerini dönüştürmüş; elektronik ticareti gündelik ekonomik yaşamın önemli bir parçası hâline getirmiştir (Karabulut, 2019). İnternet üzerinden alışveriş, tüketicilere zaman ve mekân bakımından esneklik, ürünler arasında hızlı karşılaştırma ve geniş bir seçenek yelpazesi sunarken işletmelere de coğrafi sınırların ötesinde pazarlara erişme olanağı sağlamaktadır (Webtures, t.y.). Bununla birlikte, fiziksel ürün incelemesinin mümkün olmaması, kişisel verilerin korunması, çevrim içi ödeme güvenliği, siparişin doğru ve zamanında teslim edilmesi gibi konular elektronik ticaret deneyiminin değerlendirilmesinde önemini korumaktadır (Gedik, 2021).

COVID-19 pandemisi gibi küresel krizler ve toplumsal süreçler, günlük yaşamda ve ticari faaliyetlerde köklü değişimlere yol açmıştır. Fiziksel hareketliliğin sınırlanması ve yüz yüze alışverişin zorlaşması, tüketicilerin çevrim içi kanallara yönelmesini ve elektronik ticaretin bir yaşam pratiği olarak hızla yaygınlaşmasını pekiştirmiştir (Erkan, 2022). Pandemi sonrasında da çevrim içi alışverişin sürmesi, bu yönelimin geçici bir zorunluluk mu yoksa tüketici alışkanlıklarında daha kalıcı bir dönüşüm mü olduğu sorusunu gündeme getirmiştir. Bu sorunun yanıtlanması, yalnızca elektronik ticaret hacminin artışını izlemekle sınırlı değildir; tüketicilerin hizmet kalitesini hangi ölçütlerle değerlendirdiğinin ve bu değerlendirmelerin memnuniyet ile davranışsal niyetle nasıl ilişkilendiğinin de incelenmesini gerektirir.

Bu bölüm, pandemi öncesinde yürütülen elektronik ticaret araştırmasında kullanılan ölçüm çerçevesinden hareketle aynı anketin pandemi sonrasında yeniden uygulanmasıyla elde edilen sonuçları ele almaktadır. Temel amaç, iki döneme ait raporlanmış standartlaştırılmış faktör yükleri ve yol katsayılarını karşılaştırarak elektronik hizmet kalitesinin farklı boyutlarının tüketici değerlendirmelerindeki yerini tartışmaktır. Çalışma, pandemi öncesinde yürütülen çalışmanın ham verileri bulunmadığı için iki dönemi aynı veri seti üzerinde yeniden tahmin etmemekte; pandemi öncesi araştırmasında raporlanan sonuçları, pandemi sonrasında elde edilen model sonuçlarıyla betimsel düzeyde karşılaştırmaktadır.

Çalışmanın literatüre katkısı üç noktada özetlenebilir. İlk olarak, aynı ölçüm yaklaşımının pandemi öncesi (2013) ve pandemi sonrası (2025) dönemlerde kullanılması, tüketicilerin elektronik ticarete yönelik tutumlarının dönemler arasındaki farklılıklar çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. İkinci olarak, elektronik hizmet kalitesi yalnızca genel bir puan üzerinden değil; kullanım kolaylığı, gizlilik, dizayn, bilginin doğruluğu, işlevsellik, zamanlama, siparişe ilişkin boyutlar ve adalet algıları gibi alt boyutlar

üzerinden ele alınmaktadır. Üçüncü olarak, bu alt boyutlar süreç kalitesi, sonuç kalitesi, iyileştirme kalitesi, memnuniyet ve davranışsal niyet gibi üst düzey yapılarla birlikte değerlendirilerek e-hizmet deneyiminin çok boyutlu yapısı incelenmektedir. Böylece çalışma, pandemi öncesi ve sonrası dönemlere ait bulguları karşılaştırarak elektronik ticarete yönelik tutumların farklılaşmasına ilişkin literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

1.1 Ticari Faaliyetlerin Evrimi ve Dijitalleşme Süreci

Ticaret, en genel tanımıyla, kâr elde etme amacıyla mal, hizmet ve değerlerin yer değiştirmesine dayanan temel bir ekonomik faaliyettir (Bozkurt, 2002). Kavramsal kökenleri 15. yüzyıla kadar uzanan ticaret, modern anlamdaki kâr odaklı alım-satım niteliğini 18. yüzyılda kazanmıştır (eticaret.com, 2024). İnsanlık tarihi boyunca üretim ve değişim biçimlerindeki dönüşümlere paralel olarak evrilen bu süreç; kaynakların sınırlılığı, yerleşik yaşam ve uzmanlaşmanın getirdiği ihtiyaç doğrultusunda M.Ö. 6000'li yıllarda takas (trampa) sistemiyle başlamıştır (Sédillot, 2005, akt. Nar, 2019; Tübitak, t.y.). Ancak takas yönteminin zamanla artan işlem hacmi, kıtlık/bolluk dalgalanmaları ve belgelendirme gereksinimleri karşısında yetersiz kalması, genel kabul gören bir değişim aracı olarak paranın kullanımını ve modern ticaretin temellerini ortaya çıkarmıştır (Çoşkun ve Yıldırım, 2023).

Paranın icadı, fiziksel temas ve anlık teslimata dayalı geleneksel ticaret yapısını yaygınlaştırarak işlem kolaylığı sağlamıştır (Erbaz Tarcan, 2022). Buna karşın geleneksel ticaret modeli; yüksek operasyonel/sabit giderler, kısıtlı coğrafi erişim, sınırlı çalışma saatleri ve stok kapasitesi gibi yapısal kısıtlılıkları da beraberinde getirmiştir (Erbaz Tarcan, 2022; The Supply Chain Lab, 2023). 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yaşanan teknolojik gelişmeler ve internet altyapısının (ARPANET, TCP/IP ve WWW) sivil kullanıma açılması, ticarette niteliksel bir kırılmaya yol açmıştır (Gökgül, 2014; Softech, t.y.). Özellikle 1995 sonrası süreçte internetin yaygınlaşmasıyla birlikte geleneksel pazar sınırları aşılmış, ticaret dijital platformlara kayarak modern e-ticaret ekosistemine dönüşmüştür (Karabulut, 2019; eticaret.com, 2024).

1.2 Elektronik Ticaretin Kuramsal Çerçevesi ve Kapsamı

Elektronik ticaret (e-ticaret), 6563 sayılı Kanun uyarınca "fiziksel temasta bulunmaksızın, elektronik ortamda gerçekleştirilen çevrimiçi ticari ve iktisadi faaliyetlerin tümü" olarak tanımlanmıştır. Uluslararası literatürde OECD e-ticareti "intnet üzerinden gerçekleştirilen ticari işlemler" olarak kategorize ederken; Dünya Ticaret Örgütü (WTO) "mal ve hizmetlerin üretimi, tanıtımı, satışı ve dağıtımının telekomünikasyon ağları aracılığıyla gerçekleştirilmesi"

şeklinde tanımlamaktadır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2019; Elektronik Ticaret Rehberi, t.y.).

Kapsam ve Temel Aktörler: Elektronik ticaret; ürün tasarımından envanter yönetimine, dijital pazarlamadan sipariş takibine, elektronik fon transferinden e-noterlik ve vergi tahsilatına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar (Turan ve Polat, 2009). Bu ekosistemin temel bileşenlerini ise alıcılar, satıcılar, üreticiler, finansal kuruluşlar, lojistik/nakliye firmaları, onaylayıcı kurumlar ve BT altyapı sağlayıcıları oluşturmaktadır (Elektronik Ticaret Rehberi, t.y.).

Tarihsel Dönüm Noktaları ve İstatistikler: Elektronik ticaretin evriminde 1968'de Elektronik Veri Değişimi'nin (EDI) kullanımı, 1981'de İngiltere'de Thomson Holidays tarafından ilk B2B platformunun kurulması, 1994'te PizzaHut'ın online satışı ve online bankacılığın başlaması, 1995'te Amazon ve eBay'in kurulması, 2010'da Trendyol'un faaliyete geçmesi ve 2015'te sosyal medyaya "satın al" butonlarının eklenmesi kritik aşamalardır (Uçar, 2023). Türkiye'de e-ticaret hacminin genel ticarete oranı 2019'da %10,1 iken 2023'te %20,3'e yükselmiş; 2023 TÜİK verilerine göre girişimlerin e-satış yapma oranı %17,4 olmuştur.

Teknolojik Araçlar: Elektronik ticaret faaliyetleri faks, televizyon, telefon, internet, intranet, extranet, e-posta ve EDI gibi araçlar üzerinden yürütülür (Erkan, 2022). Türkiye'de hanelerin internete erişim oranı %95,5'e (TÜİK, 2023), 10 ve üzeri çalışanı olan girişimlerin internet erişim oranı ise %96,0'ya ulaşmıştır.

Ödeme Yöntemleri: Elektronik ticarette SSL ve 3D Secure güvenlik altyapılarına sahip kredi/banka/sanal kartlar, elektronik çek (e-çek), elektronik para (e-para), EFT/havale ve kapıda ödeme yöntemleri kullanılmaktadır (Nakilcioğlu, 2002;). Sektörel veriler, e-ticaret hacminde kartlı işlemlerin açık ara en büyük paya sahip olduğunu göstermektedir (ETBİS, 2022).

İş Modelleri: Elektronik ticaret uygulamaları temel olarak İşletmeler Arası (B2B), İşletmeden Son Kullanıcıya (B2C) ve Tüketiciden Tüketiciye (C2C) olmak üzere üç ana model çerçevesinde sınıflandırılmaktadır (Kaya, 2023).

1.3 Geleneksel Ticaret ve Elektronik Ticaret Modellerinin Karşılaştırılması

Geleneksel ticaret ile e-ticaret temel iktisadi ilkeleri paylaşmakla birlikte, operasyonel süreçler ve kullanıcı deneyimi açısından belirgin farklılıklar taşımaktadır. İki model arasındaki temel farklar şu unsurlarla özetlenebilir (Gedik, 2021):

Etkileşim ve Güven: Geleneksel ticarette yüz yüze iletişim, ürünü inceleme imkânı ve yüksek müşteri güveni söz konusuyken; elektronik ticarette fiziksel

temas eksikliği yaşanmakta, güven ortamı kullanıcı yorumları, güvenlik sertifikaları ve markanın dijital itibarı ile sağlanmaya çalışılmaktadır.

Maliyet ve Pazar Erişim Kapasitesi: Geleneksel ticaret yüksek dükkân kirası ve personel giderleri sebebiyle yüksek sabit maliyetlere sahip olup coğrafi olarak sınırlıdır. E-ticaret ise fiziki mağaza ihtiyacını ortadan kaldırarak işletme maliyetlerini düşürmekte ve coğrafi sınır olmaksızın küresel pazara 7/24 erişim imkânı sunmaktadır.

Operasyonel Süreçler ve İade Oranları: Geleneksel ticarette ürün yerinde incelendiği için iade oranları ve dolandırıcılık riski düşüktür; teslimat anında gerçekleşir. E-ticarette ise fiziksel inceleme yapılamaması nedeniyle iade oranları daha yüksektir; otomasyon sistemleri sayesinde anlık stok takibi yapılabilmekle birlikte müşteri memnuniyeti doğrudan lojistik teslimat sürecinin etkinliğine bağlıdır.

Özetle; ilkel takas usulüyle temelleri atılan ticari ilişkiler, paranın kullanımı ve teknolojik yeniliklerin etkisiyle geleneksel yapısını aşarak elektronik ortama taşınmıştır. Elektronik ticaret; fiziksel mağaza zorunluluğu, zaman kısıtı ve yüksek işletme maliyetleri gibi sınırları ortadan kaldırarak hem arz hem de talep tarafı için işlemleri pratikleştiren ve verimliliği üst seviyeye çıkaran çağdaş bir ticaret modeli konumunu almıştır.

1.4 COVID-19 Pandemisi ve Çevrim İçi Alışveriş

COVID-19 pandemisi, sağlık alanındaki etkilerinin yanı sıra ekonomik faaliyetler, toplumsal ilişkiler ve tüketim alışkanlıkları üzerinde de önemli değişimlere yol açmıştır. Aralık 2019'da Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan salgın, kısa sürede uluslararası ölçekte yayılmış ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından 11 Mart 2020 tarihinde pandemi olarak ilan edilmiştir. Salgının yayılmasını sınırlandırmak amacıyla uygulanan sosyal mesafe önlemleri, seyahat kısıtlamaları, iş yeri kapanmaları ve sokağa çıkma kısıtlamaları, bireylerin günlük yaşam pratiklerini ve ticari faaliyetlere katılım biçimlerini etkilemiştir (Güngör, 2020).

Türkiye'de de pandemi sürecinde uygulanan önlemler, tüketicilerin fiziksel mağazalara erişimini ve alışveriş alışkanlıklarını etkilemiştir. Fiziksel alışveriş olanaklarının sınırlandığı ve temassız işlemlerin önem kazandığı bu dönemde çevrim içi satış kanalları, temel ihtiyaçların karşılanmasında daha görünür hâle gelmiştir. Tüketiciler gıda, medikal ürünler ve kişisel bakım malzemeleri gibi temel ihtiyaçların yanı sıra kitap, kırtasiye ve hobi ürünleri gibi farklı kategorilerdeki ürünleri de internet üzerinden satın almaya yönelmiştir. Evde geçirilen sürenin artması ve fiziksel mağazalara gitmenin zorlaşması, dijital

alışveriş kanallarının kullanımını destekleyen koşullar arasında yer almıştır (Güner, 2021; Özdöl, 2022).

Pandemi döneminde çevrim içi alışverişin yaygınlaşması, işletmelerin de satış ve hizmet sunma biçimlerini yeniden düzenlemelerini gerekli kılmıştır. Geleneksel mağazacılık faaliyetlerini sürdüren işletmeler dijital satış kanallarına yönelmiş; internet siteleri, mobil uygulamalar ve elektronik pazar yerleri aracılığıyla tüketicilere ulaşmaya daha fazla önem vermiştir. Bununla birlikte dijitalleşmenin hızlanması, sipariş yönetimi, stok takibi, teslimat süreçleri ve müşteri desteği gibi alanlarda hizmet kalitesinin önemini de artırmıştır. Bu durum, e-ticaretin yalnızca ürünlerin dijital ortamda satılması olarak değerlendirilmemesi, tüketiciye sunulan hizmetin bütününün dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Kulak, 2023).

Pandemi döneminde kazanılan çevrim içi alışveriş alışkanlıklarının pandemi sonrasında da devam etmesi mümkündür. Bununla birlikte pandemi öncesi ve sonrası dönemlerde gözlemlenen farklılıkların tamamını doğrudan COVID-19 salgınına bağlamak doğru olmayacaktır. İnternet kullanımının yaygınlaşması, mobil teknolojilerdeki gelişmeler, çevrim içi platformların hizmetlerini geliştirmesi, ekonomik koşullar ve tüketicilerin dijital deneyimlerinin artması da e-ticarete yönelik tutumların değişmesinde rol oynayabilecek etkenlerdir. Bu nedenle dönemler arası karşılaştırmalar, tüketici davranışlarındaki farklılıkların değerlendirilmesine katkı sağlamakla birlikte, değişimin nedenlerini açıklarken araştırma tasarımının ve verilerin sunduğu kanıtların sınırları dikkate alınmalıdır.

Pandemi sonrası dönemde gerçekleştirilen bu araştırmada da katılımcılara pandemi dönemi ve sonrasında internet üzerinden alışverişe daha fazla yönelip yönelmedikleri sorulmuştur. Çalışma kapsamında 417 katılımcıdan elde edilen yanıtlara göre katılımcıların %78,9'u pandemi dönemi ve sonrasında internetten alışverişe daha fazla yöneldiğini belirtmiş, %12,2'si bu ifadeye katılmadığını bildirmiştir. Katılımcıların geri kalan bölümü ise kararsız yanıtını vermiştir. Bu sonuç, araştırmanın örnekleminde pandemi dönemi ve sonrasında çevrim içi alışverişe yöneldiğini bildiren katılımcıların oranının yüksek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu oran, katılımcıların kendi beyanlarına dayanmaktadır ve tek başına pandemi öncesi ile sonrası arasındaki değişimin büyüklüğünü veya bu değişimin doğrudan pandemi nedeniyle ortaya çıktığını kanıtlamamaktadır.

Araştırma, pandemi öncesi ve sonrası dönemlerde e-ticarete yönelik tutumları hizmet kalitesinin alt boyutları ve üst düzey yapıları çerçevesinde karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Aynı ölçüm yaklaşımının farklı dönemlerde uygulanmasıyla tüketici deneyimindeki olası değişimlerin betimsel olarak incelenmesi hedeflenmektedir.

2. YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ

2.1 Yapısal Eşitlik Modellemesine Genel Bakış

Yapısal Eşitlik Modellemesi (YEM), gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesini sağlayan, ölçüm modelleri ile yapısal ilişkileri bütüncül bir çerçevede değerlendiren çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. YEM'in temel amacı, kuramsal çerçeve doğrultusunda oluşturulan hipotezlerin ve değişkenler arasındaki ilişki yapılarının araştırma verileriyle ne ölçüde desteklendiğini belirlemektir. Yöntem, doğrudan gözlemlenemeyen gizil değişkenlerin gözlenen değişkenler aracılığıyla ölçülebileceği varsayımına dayanır (Reisinger ve Turner, 1999).

YEM'in regresyon analizi ve faktör analizi gibi geleneksel istatistiksel yöntemlerden temel farkı, ölçüm hatalarını dikkate alarak ölçüm modeli ile yapısal modeli aynı analiz kapsamında değerlendirebilmesidir. Regresyon analizi değişkenler arasındaki doğrudan ilişkilerin incelenmesinde etkili olmakla birlikte, karmaşık ilişkilerin ve ölçüm hatalarının birlikte değerlendirilmesi bakımından sınırlılıklar taşımaktadır. Faktör analizi ise değişkenler arasındaki ortak örüntüleri ortaya koymayı amaçlamakta, ancak tek başına gizil değişkenler arasındaki yapısal ilişkilerin sınanmasını sağlamamaktadır. YEM, bu iki yaklaşımın güçlü yönlerini bir araya getirerek kuramsal modellerin daha kapsamlı biçimde test edilmesine olanak tanımaktadır (Dursun ve Kocagöz, 2015). Bununla birlikte yöntemin güvenilir sonuçlar üretebilmesi, yeterli örneklem büyüklüğüne ve modelin kuramsal açıdan doğru tanımlanmasına bağlıdır (Kline, 2016).

2.2 Gözlenen ve Gizil Değişkenler

YEM'de değişkenler, gözlenen ve gizil değişkenler olmak üzere iki temel grupta ele alınmaktadır. Gözlenen değişkenler, anket maddeleri, test puanları veya doğrudan ölçülebilen diğer göstergeler aracılığıyla elde edilen verilerdir. Gizil değişkenler ise memnuniyet, algılanan hizmet kalitesi ve akademik başarı gibi doğrudan gözlemlenemeyen kavramları temsil etmektedir. Bu yapılar, ilgili gizil değişkenleri temsil eden gözlenebilir göstergeler aracılığıyla analiz edilmektedir (Hair vd., 2011).

Gizil değişkenler, modelde üstlendikleri role göre dışsal ve içsel olarak sınıflandırılmaktadır. Dışsal değişkenler, model içerisinde kendilerine başka bir gizil değişkenden doğrudan etki gelmeyen değişkenleri ifade ederken içsel değişkenler, modeldeki diğer değişkenlerden etkilenen yapıları temsil etmektedir. Modelin grafiksel gösteriminde gizil değişkenler genellikle daire veya elipslerle, gözlenen değişkenler ise dikdörtgenlerle gösterilir. Tek yönlü oklar değişkenler

arasındaki yönlü ilişkileri, çift yönlü oklar ise kovaryans ilişkilerini ifade eder (Kaplan, 2019; Yardımcı, 2016).

2.4 Doğrulayıcı Faktör Analizi

Faktör analizi, gözlenen değişkenler arasındaki ilişkilerden hareketle ortak gizil yapıları inceleyen çok değişkenli bir istatistiksel tekniktir. Açıklayıcı faktör analizi (AFA), veri setindeki faktör yapısını keşfetmeyi amaçlarken doğrulayıcı faktör analizi (DFA), önceden belirlenmiş kuramsal faktör yapısının gözlenen verilerle uyumunu test etmektedir (Büyüköztürk, 2012; Uğur, 2017).

DFA, gözlenen değişkenlerin ilgili gizil değişkenleri ne ölçüde temsil ettiğini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Analiz kapsamında faktör yükleri, hata varyansları ve uyum iyiliği indeksleri incelenerek ölçüm modelinin uygunluğu test edilir. Bu yönüyle DFA, ölçeklerin yapı geçerliliğinin değerlendirilmesinde ve kuramsal olarak belirlenen faktör yapılarının ampirik verilerle sınanmasında önemli bir işlev üstlenmektedir (Aksoy, 2012).

2.5 Yol Analizi

Yol analizi, değişkenler arasındaki doğrudan ve dolaylı etkilerin incelenmesini sağlayan bir yöntemdir. Kuramsal olarak belirlenen ilişkiler matematiksel denklemler ve yol diyagramları aracılığıyla gösterilerek değişkenler arasındaki ilişkilerin daha anlaşılır biçimde değerlendirilmesine olanak tanınır (Tezcan, 2008). Yol diyagramları, modeldeki ilişkilerin görsel olarak sunulmasını ve modelin genel yapısının değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır (Köse, 2018).

Yol analizi süreci genel olarak modelin belirlenmesi, tanımlanması, tahmin edilmesi, test edilmesi ve yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Model belirleme aşamasında değişkenler arasındaki ilişkiler kuramsal çerçeve ve önceki araştırmalar doğrultusunda oluşturulurken model tanımlama aşamasında parametrelerin istatistiksel olarak tahmin edilebilirliği değerlendirilir. Tahmin aşamasında gözlenen kovaryans matrisi ile model tarafından tahmin edilen kovaryans matrisi arasındaki farklılıkların azaltılması amaçlanır. Son aşamada ise modelin veriyle uyumu ve değişkenler arasındaki ilişkilerin anlamlılığı değerlendirilir (Tezcan, 2008).

2.6 Ölçüm Modeli ve Yapısal Model

YEM, birbirini tamamlayan ölçüm modeli ve yapısal model olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. Ölçüm modeli, gözlenen değişkenlerin gizil değişkenlerle ilişkisini ortaya koyarken yapısal model, gizil değişkenler

arasındaki ilişkileri ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini incelemektedir (Boysan, 2006).

Ölçüm modeli genellikle DFA temelinde yapılandırılmakta ve gözlenen değişkenlerin ilgili gizil yapıları ne ölçüde temsil ettiği değerlendirilmektedir. Bu süreçte faktör yükleri ve ölçüm hataları dikkate alınarak doğrudan gözlemlenemeyen kavramların gözlenen göstergeler aracılığıyla temsil edilmesi sağlanır (Bollen, 1989; Köse, 2018). Yapısal model ise gizil bağımsız değişkenlerin gizil bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini açıklamaya yöneliktir. Modelin güvenilir biçimde tahmin edilebilmesi için değişkenlerin ve hata terimlerinin özelliklerinin değerlendirilmesi, ayrıca kovaryans matrisinin tahmine elverişli olması gerekmektedir (Boysan, 2006).

Bu iki bileşenin birlikte değerlendirilmesi, araştırmada kullanılan ölçümlerin kuramsal yapıyla uyumunun ve değişkenler arasındaki ilişkilerin aynı analiz çerçevesinde incelenmesini mümkün kılmaktadır. Ölçüm modelinin yeterliliği, yapısal ilişkilerin güvenilir biçimde yorumlanması açısından temel bir öneme sahiptir.

2.7 YEM Uygulama Süreci ve Model Uyumunun Değerlendirilmesi

YEM uygulamalarında modelin doğru belirlenmesi, uygun tahmin yönteminin seçilmesi ve modelin veriyle uyumunun değerlendirilmesi temel aşamaları oluşturmaktadır. Modelin kuramsal çerçeveye uygun biçimde oluşturulması, parametrelerin tahmin edilebilirliğinin incelenmesi ve analiz sonuçlarının istatistiksel ölçütler doğrultusunda değerlendirilmesi gerekmektedir (Doğan, 2015).

Model tahmininde yaygın olarak kullanılan en çok olabilirlik (ML) yöntemi, gözlenen kovaryans matrisi ile model tarafından tahmin edilen kovaryans matrisi arasındaki uyumu esas almaktadır. Bununla birlikte çok değişkenli normallik varsayımının karşılanmadığı durumlarda daha dayanıklı tahminler elde etmek amacıyla sağlam standart hatalara sahip maksimum olabilirlik (MLR) gibi alternatif yaklaşımlar tercih edilebilmektedir (Deniz, 2007; Helvacı, 2024).

Modelin veriyle uyumunu değerlendirmek için ki-kare testi, Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (RMSEA), Normlu Uyum İndeksi (NFI), Normlaştırılmamış Uyum İndeksi (NNFI), Uyum İyiliği İndeksi (GFI) ve Düzeltilmiş Uyum İyiliği İndeksi (AGFI) gibi ölçütlerden yararlanılmaktadır. Ki-kare testi, gözlenen ve model tarafından tahmin edilen kovaryans matrisleri arasındaki farklılığı değerlendirirken RMSEA, model uyumunu serbestlik derecelerini dikkate alarak incelemektedir. NFI ve NNFI karşılaştırmalı uyumu; GFI ve AGFI ise modelin gözlenen kovaryans yapısını açıklama düzeyini değerlendirmede kullanılmaktadır (Köse, 2018; Demirci, 2025).

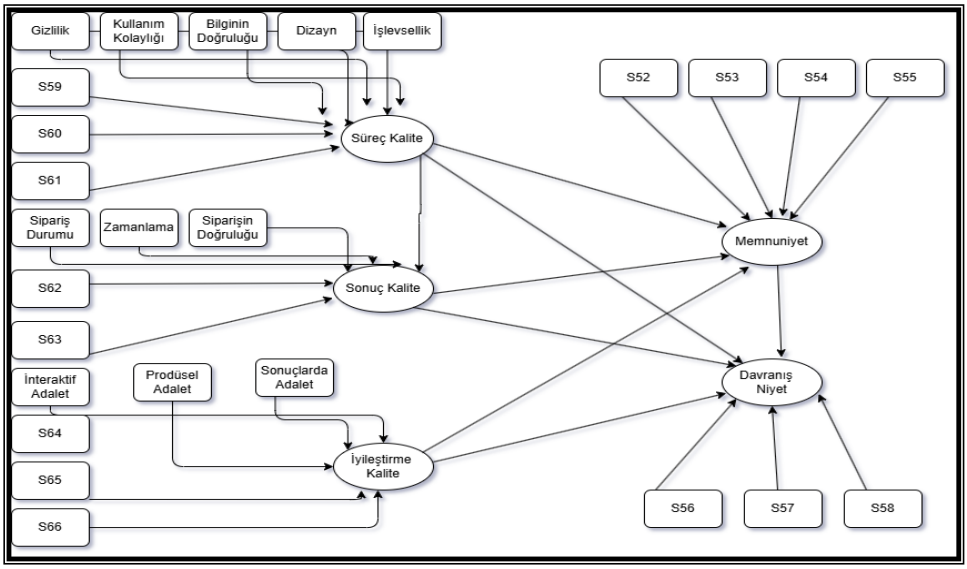
Tek bir uyum indeksinin modelin yeterliliğini bütünüyle ortaya koyamaması nedeniyle farklı indekslerin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Schermelleh-Engel vd. (2003), model uyumunun değerlendirilmesinde kullanılan çeşitli ölçütlere ilişkin iyi ve kabul edilebilir uyum aralıklarını ortaya koymaktadır. Bunun yanında, örneklem büyüklüğü, çok değişkenli normallik, doğrusallık, çoklu doğrusal bağlantı ve eksik veriler gibi unsurların da analiz sürecinde dikkate alınması gerekmektedir (Byrne, 2016; Kline, 2016).

3.ARAŞTIRMA MODELİ VE SONUÇLAR

3.1 Araştırmanın amacı ve deseni

Araştırmanın amacı, pandemi öncesi dönem (2013) ile pandemi sonrası dönem (2025) için e-ticarete yönelik tüketici tutumlarını e-hizmet kalitesi çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Araştırma modeli, Collier ve Bienstock (2009) tarafından geliştirilen e-hizmet kalitesi ölçeği temel alınarak oluşturulmuştur.

Modelde 11 bağımsız gizil değişken; kullanım kolaylığı, gizlilik, dizayn, bilginin doğruluğu, işlevsellik, sipariş durumu, zamanlama, siparişin doğruluğu, interaktif adalet, sonuçlarda adalet ve prosedürel adalet olarak belirlenmiştir. Bu değişkenler, süreç kalitesi, iyileştirme kalitesi, sonuç kalitesi, memnuniyet ve davranışsal niyet olmak üzere beş üst düzey yapı çerçevesinde ele alınarak e-hizmet kalitesi ile kullanıcıların tutum ve davranışsal niyetleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya ait düşünsel model tablo 3.1 de gösterilmiştir.



Tablo 3.1 Araştırmanın düşünsel modeli

Bu çalışma, pandemi sonrasında toplanan anket verilerinin analizi ile pandemi öncesinde yürütülen araştırmadan elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak incelenmesini kapsamaktadır. Dolayısıyla araştırma; iki döneme ait ham verilerin birleştirildiği veya aynı katılımcıların takip edildiği boylamsal bir araştırma deseni taşımamakta, pandemi öncesi ve sonrası bulguların betimsel düzeyde karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

3.2 Evren, örneklem ve katılımcılar

2025 yılı araştırmasına toplam 417 kişi katılmıştır. Çevrim içi alışveriş yapmadığını belirten 15 katılımcı, araştırmanın dâhil edilme ölçütleri doğrultusunda analiz dışında tutulmuş ve nihai analiz örneklemi 402 kişiden oluşturulmuştur. Demografik dağılım ise araştırmaya katılan toplam 417 kişi üzerinden raporlanmıştır. Katılımcıların 287'si kadın (%68,8), 130'u erkektir (%31,2). Yaş dağılımı incelendiğinde en büyük grubu 25–34 yaş aralığı (193 kişi; %46,3), ikinci en büyük grubu ise 35–44 yaş aralığı (110 kişi; %26,4) oluşturmaktadır. Eğitim durumuna göre ise lisans mezunları 235 kişiyle (%56,4) ilk sırada yer alırken, bunu 93 kişiyle (%22,3) yüksek lisans mezunları izlemektedir.

Çizelge 3.2: Katılımcıların Demografik Dağılımları

Özellik	Kategori	Sayı	Yüzde
Cinsiyet	Kadın	287	68,8
Cinsiyet	Erkek	130	31,2
Yaş	18–24	83	19,9
Yaş	25–34	193	46,3
Yaş	35–44	110	26,4
Yaş	45–54	20	4,8
Yaş	55 ve üzeri	11	2,6
Eğitim	Ortaöğretim	49	11,8
Eğitim	Ön lisans	26	6,1
Eğitim	Lisans	235	56,4
Eğitim	Yüksek lisans	93	22,3
Eğitim	Doktora	14	3,4

3.3 Veri toplama aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak kullanılan 'E-Ticarete Yönelik Tüketici Tutumlarının İncelenmesi' başlıklı anket, Collier ve Bienstock (2009) tarafından geliştirilen e-hizmet kalitesi yaklaşımı temel alınarak oluşturulmuştur. Anketin ilk formu 66 maddeden oluşmakta ve 5'li Likert ölçeği (1 = Kesinlikle Katılmıyorum, 5 = Kesinlikle Katılıyorum) ile derecelendirilmektedir. Ölçek; kullanıcı deneyiminin temel unsurlarını temsil eden 11 alt boyutun yanı sıra süreç kalitesi, sonuç kalitesi, iyileştirme kalitesi (telafi kalitesi), memnuniyet ve davranışsal niyet gibi üst düzey (ikincil düzey) yapıları kapsamaktadır.

3.4 Veri analizi süreci

Veriler ilk olarak SPSS paket programında incelenmiş ve ölçeğin yapı geçerliğini değerlendirmek amacıyla Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. Bu analiz sürecinde düşük faktör yükü gösteren 8, 32 ve 55. maddeler ölçekten elenmiştir. AFA sonucunda elde edilen faktör yapısı, daha sonra LISREL yazılımında Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ile sınanmıştır. AFA aşamasında elenmeyen ancak DFA aşamasında 2025 yılı modeli için faktör yükü 0,10 düzeyinde kalan 33. madde ("Web sitesinden verdiğim sipariş miktarı bir iki defa yanlışlıkla fazla eklendi"), analiz kapsamında tutulmuştur. Bu kararın temel gerekçesi; 2013 ve 2025 yıllarına ait modellerin yapısal denkliğini ve karşılaştırılabilirliğini korumak, böylece her iki dönem arasındaki faktör yapısı değişimlerini inceleyebilmektir. Nitekim söz konusu maddenin faktör yükü 2013 yılı modelinde 0,87 iken, 2025 yılı modelinde 0,10'a gerilemiştir.

Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) sonucunda modelin faktör yükleri incelenmiş, ölçüm modelinin geçerliği ve yapı geçerliği doğrulanmıştır. Analiz öncesinde gerçekleştirilen çok değişkenli normallik değerlendirmesinde,

çarpıklık ve basıklık testlerinin anlamlılık düzeyleri ($p < 0,001$) normallik varsayımının karşılanmadığını göstermiştir. Bu nedenle parametre tahmininde, normallik ihlallerine karşı dirençli olan Dirençli En Çok Olabilirlik (Robust Maximum Likelihood - MLR) yöntemi tercih edilmiştir. Modelin uyum iyiliği indeksleri incelendiğinde; RMSEA = 0,066 değeri kabul edilebilir uyum aralığında (0,05–0,08) yer alırken, karşılaştırmalı uyum indekslerinden NFI = 0,97 değeri mükemmel uyum için kabul edilen 0,95 eşik değerinin üzerinde gerçekleşmiştir. Ayrıca ki-kare değerinin serbestlik derecesine oranı (χ^2/df = 2,72) 3'ün altında kalarak modelin iyi uyum düzeyinde olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen tüm bu uyum indeksleri birlikte değerlendirildiğinde, modelin genel uyumunun oldukça tatmin edici düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır.

3.5 Güvenirlik

Ölçeklerin iç tutarlılığı Cronbach Alfa güvenilirlik katsayıları ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm alt ölçeklere ait Cronbach Alfa katsayılarının 0,70 eşik değerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, kullanılan ölçme araçlarının iç tutarlılık açısından yüksek düzeyde güvenilir olduğunu göstermektedir. Ancak tek başına Alfa katsayıları yapı geçerliğinin doğrudan bir kanıtı teşkil etmediğinden; güvenilirlik sonuçları, Doğrulayıcı Faktör Analizi ve model uyum iyiliği bulgularıyla bütüncül bir şekilde değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.5 Ölçeklerin güvenilirlik testi sonuçları

Alt ölçek	**Cronbach alfa**
Kullanım kolaylığı	0,860
Gizlilik	0,785
Dizayn	0,895
Bilginin doğruluğu	0,887
İşlevsellik	0,815
Sipariş durumu	0,828
Zamanlama	0,796
Siparişin doğruluğu	0,750
İnteraktif adalet	0,936
Sonuçlarda adalet	0,889
Prosedürel adalet	0,936
Üst düzey ölçeklerden raporlananlar	0,953–0,957

4. BULGULAR VE DÖNEMLER ARASI KARŞILAŞTIRMA

4.1 Pandemi Sonrası Döneme İlişkin Model Analizi ve Bulgular

Pandemi sonrası gerçekleştirilen çalışmada, yapısal modelde yer alan gizil değişkenler arasındaki ilişkiler incelendiğinde; süreç kalitesi üzerinde en güçlü etkinin işlevsellikten (β = 0,60) kaynaklandığı görülmektedir. Kullanım kolaylığı (β = 0,05), gizlilik (β = 0,11) ve bilginin doğruluğu (β = 0,09) değişkenlerinin etkileri pozitif ancak zayıf düzeydeyken; web sitesi tasarımının (dizayn) etkisi negatif ve oldukça düşüktür (β = -0,02). Bu bulgular, kullanıcıların süreç kalitesi algısında görsel ve biçimsel unsurlardan ziyade, sistemin işlevsel, verimli ve sorunsuz çalışmasını önceliklendirdiklerini göstermektedir.

Sonuç kalitesi üzerinde sipariş durumu (β = -0,05) ve zamanlama (β = -0,03) değişkenlerinin etkileri düşük ve negatif yöndeyken; sipariş doğruluğunun etkisi negatif yönde daha belirgindir (β = -0,29). Bu durum, hatalı veya eksik teslimatların sonuç kalitesi algısını olumsuz etkilediğini ve doğru ürün tesliminin e-hizmet kalitesi açısından hayati bir önem taşıdığını ortaya koymaktadır. İyileştirme kalitesi (telafi kalitesi) üzerinde ise prosedürel adalet (β = 0,42) en güçlü etkiye sahipken; interaktif adalet (β = 0,27) ve sonuçlarda adalet (β = 0,17) pozitif etkiler göstermektedir. Bu sonuçlar, sorunların adil, tutarlı ve şeffaf biçimde ele alınmasının yanı sıra kullanıcılarla etkili bir iletişim kurulmasının iyileştirme kalitesi algısını güçlendirdiğini kanıtlamaktadır.

İkincil düzey (üst düzey) yapılar arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, süreç kalitesi ile sonuç kalitesi arasında güçlü ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır (β = 0,84). İyileştirme kalitesi de memnuniyet (β = 0,37) ve davranışsal niyet (β = 0,24) üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Genel olarak bulgular, e-hizmet kalitesinin çok boyutlu bir yapı sergilediğini ve bu boyutların birbirleriyle ilişkili olarak bütüncül bir yapı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

4.2 Pandemi Öncesi ve Sonrası Dönemin Karşılaştırılması

Pandemi sonrası modele ilişkin bütüncül değerlendirmenin ardından, çalışmanın temel amacı doğrultusunda pandemi öncesi ve sonrası dönemlere ait standartlaştırılmış faktör yükleri Çizelge 4.2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma, değişkenlerin farklı dönemlerdeki temsil gücünü ve açıklayıcılığını ortaya koyarak tüketicilerin e-ticaret tutumlarında zaman içinde meydana gelen dönüşümün değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Çizelge 4.2 Pandemi öncesi ve pandemi sonrası standartlaştırılmış faktör yüklerinin karşılaştırılması

Araştırma Modeli Değişkenleri	**Pandemi Sonrası (2025) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri**	**Pandemi Öncesi (2013) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri**
SÜREÇ KALİTE BOYUTLARI VE ÖĞELERİ		
Kullanım Kolaylığı		
1. Web sitesi yardımıyla herhangi bir ürününe ulaşmak kolaydır.	0.79	0.77
2. Web sitesinde sayfalar arasında kaybolmuyorum.	0.55	0.67
3. Web sayfasının site haritasıyla sitedeki bütün sayfalara ulaşabiliyorum.	0.84	0.62
4.Web sitesi, daha önce görüntülediğiniz bir sayfayı tekrar bulma imkanı sağlar	0.89	0.64
5.Web sitesi yaptığınız bir hatayı hemen iptal edebilme imkanı sağlar	0.7	0.59
Gizlilik		
6.Web sitesi yöneticilerinin kişisel bilgilerimi kötüye kullanmayacaklarına inanıyorum	0.83	0.76
7.Web sitesinde, sitenin güvenlik kriterlerine uygun olduğuna dair semboller ve mesajlar mevcut	0.61	0.67
- 9. Web sitesi başka bir şirkete kişisel bilgilerimi vermez.	0.81	0.85
Dizayn		
10. Web sitesi görsel açıdan göze hitap eder.	0.84	0.67
11. Sürekli yenilenen bir dizayna sahiptir.	0.71	0.4
12. Ürün resimlerini rahat ve açık bir şekilde görmek mümkün.	0.87	0.63
13. Web sitesindeki yazılar rahatlıkla okunabilmektedir.	0.89	0.81
14. Web sayfasını tam görüntüleyebilmek için sayfayı sağa sola kaydırmak zorunda değilim	0.69	0.61
Bilginin Doğruluğu		
15. Web sitesinde reklamı yapılan ürünler stokta mevcuttur.	0.56	0.48
16. Ürünün kargo dâhil ücreti hakkında müşteriye doğru bilgi verir.	0.8	0.83
17. Sipariş bilgilerinin net ve açık bir şekilde yazılabilmesine olanak sağlar	0.85	0.81
18. Alışveriş sırasında sepete yeni ürünler ekleyebilir ve toplu ödeme yapabilirim	0.82	0.76

Araştırma Modeli Değişkenleri	Pandemi Sonrası (2025) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri	Pandemi Öncesi (2013) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri
19. Ekran üzerinde ürün fiyatları rahatlıkla görünebiliyor.	0.89	0.84
20. Web sitesi ürünler ve özellikleri hakkında gerçekçi bilgiler sunar	0.66	0.61
İşlevsellik		
21. Web sitesinden alışveriş yaparken işlem yapar yapmaz sitenin cevap vermesi çok kısa sürmektedir	0.72	0.68
22. Web sitesi ziyaretçi yoğunluğundan dolayı çökmez.	0.5	0.58
23. Web sitesi her müşteriye uygun ödeme seçenekleri sunuyor.	0.67	0.64
24. Web sitesi herhangi bir bilgiyi hızlı yükleme yapar.	0.8	0.64
25. Sepete eklediğiniz ürünleri sırasına göre onaylar.	0.71	0.62
SONUÇ KALİTE BOYUTLARI VE ÖĞELERİ		
Sipariş Durumu		
26. Sipariş edilen ürünü zarar görmeyecek şekilde paketleyerek gönderir	0.9	0.97
27. Sipariş edilen tüm ürünleri hasarsız bir şekilde teslim eder.	0,90	0.93
28. Nadiren de olsa hasar olmuşsa dahi taşıma esnasında olmuştur.	0.59	0.35
Zamanlama		
29. Müşteriye birden fazla teslim süresi seçeneği sunar (örneğin, ertesi gün, 3-5 gün veya 5-7 gün teslimat süresi)	0.68	0.66
30. Sipariş alma ile gönderi işlemleri arasındaki süre çok kısa.	0.85	0.72
31. Web sitesi acil bir siparişe hemen cevap verebilmektedir.	0.75	0.58
Sipariş Doğruluğu		
33. Web sitesinden verdiğim sipariş miktarı bir iki defa yanlışlıkla fazla eklendi.	0.1	0.87
34. E-satıcı faturayı doğru bir şekilde düzenler.	-0.76	-0.42

Araştırma Modeli Değişkenleri	Pandemi Sonrası (2025) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri	Pandemi Öncesi (2013) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri
İYİLEŞTİRME KALİTESİ BOYUTLARI VE ÖĞELERİ		
İnteraktif Adalet		
35. Web sitesi benimle alakalı bir problemi bana dürüstçe iletir.	0.75	0.64
36. Web sitesi benim problemimle samimi bir şekilde ilgilenir.	0.85	0.74
37. Web sitesi problemimi çözmeye çalışırken gayet kibar davranır.	0.82	0.66
38. Problemimin nasıl oluştuğu hakkında bana bilgi verdiklerine inanıyorum.	0.87	0.55
39. Web sitesi müşterisine canlı destek için müşteri temsilcisiyle görüşebileceği bir numara verir	0.72	0.61
40. Web sitesi problemimi çözebilecek pozitif enerjiye sahiptir.	0.86	0.65
41. Web sitesi verdiği hizmetin ilk etapta neden başarısız olduğundan bahseder.	0.77	0.49
42. Web sitesi müşterileriyle özverili bir şekilde ilgilenir.	0.83	0.63
Sonuçlarda Adalet		
43. Web sitesinden kaynaklanan sorunlar mukabilinde telafi seçeneği sunulur.	0.81	0.55
44. Yaşadığım sorunun çözümünde hak ettiğim sonucu alabildim.	0.9	0.71
45. Şikâyetimi çözmek için, e-satıcı elinden geleni yapar.	0.85	0.81
Prodüsel Adalet		
46. Web sitesi şikâyetimi hemen değerlendirir ve cevap verir.	0.83	0.73
47. Web sitesi ihtiyacımı karşılamak için şikâyet işleme prosedürünü hemen işleme alır	0.83	0.72
48. Web sitesi yaşadığım sorunları anlatabilmem için iletişim desteği sunar.	0.83	0.76
49. Web sitesi sorunlarıma yaklaşırken çok esneklik gösterdi.	0.83	0.67
50. Web sitesi şikâyetlerimi dile getirmemde kolaylık sağlamış.	0.85	0.74
51. Genel olarak e-satıcı şikâyetleri çözmek adına iyi bir prosedüre sahip.	0.88	0.7
MEMNUNİYET ÖĞELERİ		
52. Genel olarak, aldığım bu hizmet deneyiminden mutluyum.	0.92	0.78

Araştırma Modeli Değişkenleri	Pandemi Sonrası (2025) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri	Pandemi Öncesi (2013) Standartlaştırılmış Faktör Yükleri
53. Web sitesinin sunduğu hizmet kalitesinden memnunum.	0.94	0.88
54. Web sitesinin sağladığı hizmetten memnun kaldım.	0.93	0.73
DAVRANIŞSAL NİYET ÖĞELERİ		
56. Bu web sitesini arkadaşlarıma önereceğim.	0.75	0.66
57. İleriki zamanlarda da bu web sitesini ziyaret etmeye devam edeceğim	0.93	0.73
58. İleriki zamanlarda da bu web sitesi üzerinden alışveriş yapma niyetim var.	0.91	0.76
59. Web sitesinde yaptığım işlemlerde kendimi güvende hissediyorum	0.77	0.65
60. Web sitesi iyi bir kullanıcı arayüzüne sahip.	0.87	0.69
61. Web sitesinde ürünlerin doğru bir açıklaması vardır.	0.81	0.74
62. Web sitesi, siparişlerimi zamanında teslim eder.	0.8	0.86
63. Web sitesinden sipariş ettiğim bir ürünü aldım.	0.82	0.82
64. Web sitesi yaşadığım bir sorunu çözmek için uğraştı.	0.89	0.46
65. Şikâyetimi çözmek için bu web sitesinin uzun süre uğraşması beni memnun etti.	0.92	0.59
66. Şikâyetimin sonucunda hakkımı alabildim.	0.88	0.68

Pandemi öncesi (2013) ve pandemi sonrası (2025) dönemlere ait standartlaştırılmış faktör yükleri, aynı maddelere ilişkin iki farklı zaman diliminde gerçekleştirilen ölçümleri temsil etmektedir. Söz konusu katsayılar arasındaki değişimler incelendiğinde, pandemi sonrası dönemde maddelerin faktör yüklerinde belirgin farklılaşmaların meydana geldiği gözlenmektedir.

Süreç kalitesi üzerinde kullanım kolaylığı (β = 0,36 → 0,05), gizlilik (β = 0,57 → 0,11), dizayn (β = 0,29 → -0,02) ve bilginin doğruluğu (β = 0,21 → 0,09) değişkenlerinin etkileri azalırken, işlevselliğin etkisi artmıştır (β = 0,43 → 0,60). Bu bulgular, pandemi sonrasında kullanıcıların temel dijital hizmet özelliklerinden ziyade sistemin işlevselliğine ve performansına daha fazla önem vermeye başlamış olabileceklerine işaret etmektedir.

Sonuç kalitesi boyutunda, özellikle sipariş doğruluğunun etkisinin pozitiften negatife dönmesi (β = 0,63 → -0,29), dönemler arasında dikkat çekici bir farklılık ortaya koymaktadır. Bu değişim, sipariş süreçlerine ilişkin tüketici

değerlendirmelerinin dönemler itibarıyla farklılaşmış olabileceğini düşündürmektedir. Sipariş doğruluğu boyutunda yer alan maddelerin faktör yükleri incelendiğinde de bu farklılaşmayı değerlendirmeye katkı sağlayabilecek bulgulara rastlanmaktadır.

Bu kapsamda, 33. maddenin faktör yükünde 2013 ve 2025 yılları arasında gözlenen belirgin farklılık, tüketicilerin e-ticaret deneyimlerinde ve sipariş süreçlerine ilişkin kalite algılarında meydana gelmiş olabilecek dönüşüm açısından önem taşımaktadır. Söz konusu farklılık, e-ticaret platformlarının teknolojik gelişimi ve kullanıcı deneyimindeki iyileşmeler çerçevesinde yorumlanabilir. 2013 yılında çevrim içi alışveriş platformlarının sipariş yönetimi, sepet işlevleri ve kullanıcı arayüzleri bakımından günümüzdeki düzeye henüz ulaşmamış olması, sipariş miktarının yanlışlıkla artırılması gibi sorunların tüketici deneyiminde daha belirgin bir yer tutmasına neden olmuş olabilir. Buna karşılık, pandemi sonrasında e-ticaret kullanımının yaygınlaşması ve platformların teknik altyapılarının gelişmesiyle birlikte, bu tür sorunların tüketicilerin hizmet kalitesi algısını belirlemedeki rolü azalmış olabilir. Bu çerçevede, 2025 yılında ilgili maddenin faktör yükünün düşük kalması, söz konusu özelliğin sipariş doğruluğu boyutunu temsil etme düzeyinin önceki döneme kıyasla farklılaştığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, bu yorumun teknolojik gelişmelerin doğrudan etkisini kanıtlamadığı, yalnızca gözlenen farklılığın olası açıklamalarından birini oluşturduğu belirtilmelidir. Dolayısıyla 33. madde, iki dönem arasındaki farklılıkların karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi amacıyla modelde korunmuş ve faktör yükündeki değişim, e-ticaret deneyiminin zaman içerisindeki dönüşümü bağlamında değerlendirilmiştir.

Benzer şekilde, sipariş doğruluğu boyutunda yer alan 34. maddeye ilişkin *"E-satıcı faturayı doğru bir şekilde düzenler"* ifadesinin hem pandemi öncesi hem de pandemi sonrası ölçüm modellerinde negatif faktör yükü aldığı görülmektedir. Maddede ters kodlama uygulanmamış olmasına rağmen her iki dönemde de negatif yükün gözlenmesi, ilgili maddenin sipariş doğruluğu boyutuyla beklenen yönde bir ilişki sergilemediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, tüketicilerin doğru fatura düzenlenmesini hizmet kalitesini artıran ilave bir özellikten ziyade, hizmetin doğal ve zorunlu bir gerekliliği olarak değerlendirmeleriyle ilişkili olabilir. Bu açıdan fatura düzenleme işlevi, tüketici memnuniyetini doğrudan artırmaktan çok, eksikliği veya hatalı yerine getirilmesi durumunda memnuniyetsizlik yaratabilecek bir *hijyen faktörü* olarak yorumlanabilir. Ayrıca faturalandırma süreçlerinin iade, vergilendirme ve diğer idari işlemlerle ilişkili olması, tüketicilerin bu hizmet unsuruna yönelik değerlendirmelerini etkileyebilir. Bununla birlikte, 2025 yılında negatif faktör yükünün mutlak

değerinin artması, faturalandırma maddesinin sipariş doğruluğu boyutuyla negatif yönlü ilişkisinin güçlendiğini göstermektedir. Bu farklılığın dijital faturalandırma süreçlerine ilişkin tüketici beklentilerindeki değişimle bağlantılı olması mümkün olmakla birlikte, mevcut bulgular bu açıklamayı doğrudan doğrulamamaktadır. Dolayısıyla 34. maddeye ilişkin sonuçlar, sipariş doğruluğu boyutunun dönemler arasındaki ölçüm özellikleri ve yapısal ilişkileri değerlendirilirken dikkate alınması gereken bir bulgu olarak ele alınmıştır.

İyileştirme kalitesi kapsamında ise interaktif adalet ($\beta = 0{,}43 \rightarrow 0{,}27$), prosedürel adalet ($\beta = 0{,}52 \rightarrow 0{,}42$) ve sonuçlarda adaletin ($\beta = 0{,}27 \rightarrow 0{,}17$) etkileri azalmış, ancak pozitif yönlerini korumuştur. Bu sonuçlar, sorun çözme süreçlerinin ve adalet algısının önemini sürdürmekle birlikte, söz konusu boyutların etkilerinde dönemsel farklılaşma yaşandığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, pandemi öncesi ve sonrası dönemlere ilişkin bulgular, e-hizmet kalitesinin farklı boyutlarının tüketici tutumlarıyla ilişkilerinde büyüklük ve yön bakımından farklılaşmalar bulunduğunu göstermektedir. Özellikle işlevselliğin süreç kalitesi üzerindeki etkisinin artması, buna karşılık bazı temel hizmet özelliklerinin etkilerinin azalması, e-ticaret hizmetlerinin değerlendirilmesinde öne çıkan unsurların zaman içerisinde farklılaşabildiğine işaret etmektedir. Sipariş doğruluğunun sonuç kalitesi üzerindeki etkisinde gözlenen yön değişimi ile bu boyutta yer alan 33. ve 34. maddelerin faktör yüklerine ilişkin bulgular da iki dönemin karşılaştırılmasında dikkat çeken sonuçlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, ölçüm modelindeki faktör yükleri ile yapısal modeldeki yol katsayılarının farklı ilişkileri temsil ettiği ve bu bulguların doğrudan nedensel bir açıklama sunmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çerçevede, 2013 ve 2025 yıllarına ait standartlaştırılmış yol katsayılarının ve ilgili ölçüm modeli bulgularının betimsel karşılaştırması, e-hizmet kalitesinin çok boyutlu yapısının dönemler itibarıyla farklı görünümler sergilediğini ortaya koymakta ve tüketicilerin e-ticaret deneyimlerinin zaman içerisindeki dönüşümünü değerlendirmek için genel bir çerçeve sunmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, e-hizmet kalitesinin farklı boyutlarının tüketici memnuniyeti ve davranışsal niyetle ilişkilerini 2013 ve 2025 yıllarına ait bulgular üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bulgular, e-hizmet kalitesinin çok boyutlu yapısını oluşturan unsurların tüketici değerlendirmeleriyle ilişkilerinin dönemler arasında büyüklük ve yön bakımından farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır. İki döneme ait yol katsayılarının karşılaştırılması sonucunda istatistiksel olarak

anlamlı farklılıkların belirlenmesi, gözlenen değişimlerin istatistiksel açıdan değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlar, e-ticaret hizmetlerinin değerlendirilmesinde teknik işlevsellik, sipariş süreçlerinin güvenilirliği ve sorun çözme uygulamalarının önemini koruduğunu, ancak bu unsurların tüketici değerlendirmeleriyle ilişkilerinin zaman içerisinde farklılaşabildiğini göstermektedir. Bu çerçevede, e-ticaret işletmelerinin hizmet kalitesini geliştirirken yalnızca teknolojik altyapıya değil, sipariş süreçlerinin doğruluğuna, kullanıcı deneyiminin bütünlüğüne ve sorun çözme süreçlerinin niteliğine de odaklanmaları önem taşımaktadır.

Bununla birlikte, pandemi öncesi araştırmaya ait ham verilerin bulunmaması ve iki dönemin farklı örneklemlerden oluşması, elde edilen sonuçların yorumlanmasında dikkate alınmalıdır. Ayrıca iki dönem arasında gözlenen farklılıkların yalnızca pandemiyle veya teknolojik gelişmelerle açıklanması mümkün değildir. Bu nedenle bulgular, e-ticaretin zaman içerisindeki dönüşümüne ilişkin karşılaştırmalı göstergeler olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak çalışma, e-hizmet kalitesinin tüketici memnuniyeti ve davranışsal niyetle ilişkilerinin dönemler itibarıyla farklılaşabileceğini ortaya koyarak e-ticaret hizmetlerinin değişen koşullar altında değerlendirilmesine katkı sunmaktadır. Gelecek araştırmalarda farklı dönemlerden elde edilen verilerin karşılaştırılabilir ölçüm modelleri çerçevesinde incelenmesi ve tüketici beklentilerindeki değişimin daha ayrıntılı analiz edilmesi, bu farklılıkların altında yatan dinamiklerin anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Aksoy, S. (2012). Samsun'da çalışan polislerin iş doyumu ve tükenmişlik düzeylerinin yapısal eşitlik modellemesi ile incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley

Boysan, M. (2006). Çok örneklemli yapısal eşitlik modelleri (Yüksek Lisans Tezi), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Bozkurt, N. (2002). Ticaretin felsefesi, tarihçesi ve etikle olan siki bağına ilişkin bazı saptamalar. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *1*(2), 153-179.

Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı: İstatistik, araştırma deseni, SPSS uygulamaları ve yorum*. Ankara: Pegem Akademi.

Collier, J. E., & Bienstock, C. C. (2009). Model misspecification: Contrasting formative and reflective indicators for a model of e-service quality. *Journal of Marketing Theory and Practice, 17*(3), 283–293

Coşkun, K., & Yıldırım, S. (2023). Paranın tarihsel serüven içerisindeki formları. *Accounting and Financial History Research Journal* (25), 85-103.

Deniz, E. (2007). Yapısal eşitlik modellerinde bilgi kriterleri (Doktora Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğan, İ. (2015). *Farklı veri yapısı ve örneklem büyüklüklerinde yapısal eşitlik modellerinin geçerliği ve güvenirliğinin değerlendirilmesi* (Doktora tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Dursun, Y., & Kocagöz, E. (2015). Yapısal eşitlik modellemesi ve regresyon: Karşılaştırmalı bir analiz. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (35), 1-17.

Elektronik Ticaret Rehberi. (ty). *E-ticaret genel bilgiler*. https://www.elektronikticaretrehberi.com/e-ticaret_genel_bilgiler.php Erişim tarihi: 01.10.2025

Erbaz Tarcan, T. (2022). *Ticaretin sosyal ticarete evrimi: Çanakkale örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Erkan, N. (2022). *E-ticaretin gelişimi ve Türkiye'de e-ticaretin ekonomiye etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü., İstanbul.

ETBİS. (2023). E-Ticaret bilgi platformu. https://www.eticaret.gov.tr/istatistikler Erişim tarihi: 09.02.2025

eticaret.com. (2024). Geçmişten günümüze ticaretin gelişimi. eticaret.com Blog. https://www.eticaret.com/blog/gecmisten-gunumuze-ticaretin-gelisimi/ Erişim tarihi: 01.10.2025

Gedik, Y. (2021). E-ticaret: Teorik bir çerçeve. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 12*(1), 184-198

Gökgül, M. (2014). *Türkiye'de elektronik ticaret ve işletmelere, tüketicilere sağladığı avantajlar, dezavantajlar* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Güner, K. C. (2021). Koronavirüs (Covid-19) pandemisi ve uygulanan mali tedbirlerin değerlendirilmesi. *Turizm Ekonomi Ve İşletme Araştırmaları Dergisi, 3*(1), 84-95.

Güngör, B. (2020). Türkiye'de COVİD-19 pandemisi süresince alınan önlemlerin kriz yönetimi perspektifinden değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi* (*4*), 818-851

Hair, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Mena, J. A. (2011). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. *Journal of the Academy of Marketing Science, 39*(3), 414–433

Helvacı, İ. (2024). *Sosyal ve duygusal beceriler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde sıklıkçı ve Bayescı yapısal eşitlik modellerinin karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Şanlıurfa

Kaplan, A. (2019). *Yapısal eşitlik modelleri üzerine bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Karabulut, C. (2019). *Türkiye'de 2000 yılı sonrası e-ticaretin gelişimi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Kaya, K. (2023) *Pandemide e-ticaretin gelişimi ve e-ticarette pazarlama stratejilerinin ülke ekonomisine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). New York: Guilford Press.

Köse, A. M. (2018), yapısal eşitlik modelleri ile Suriyeli göçmen algısı üzerine sosyolojik bir uygulama- Çankaya ve Altındağ ilçeleri örneği (Yüksek Lisans Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Nakilcioğlu, İ. H. (2002). E-ticarette kullanılan sanal ödeme araçları ve yöntemleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 4*(1), 49-64.

Özdöl, E. (2022). *Covid-19 pandemi sürecinde tüketicilerin e-ticaret sitelerinden satın alma niyeti: e-ticaret kullanıcıları üzerine bir araştırma.* (Yüksek Lisans Tezi). Yaşar Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.

Reisinger, Y., & Turner, L., (1999). Structural Equation Modeling with LISREL: Aplication in Tourism. *Tourism Management, 20*, 71-88.

Sédillot, R. (2005). Değiş tokuştan süpermarkete: Tarih boyunca ticaretin öyküsü (E. N. Erendor, Çev.). Ankara: Dost Kitabevi Yayınları.

Softech. (t.y.). *İnternetin Tarihçesi.* Softech Blog. https://www.softech-tr.com/blog/internetin-tarihcesi Erişim tarihi: 12.01.2025

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2019). *Dijital ticaret: Tanım ve kavramlar. https://ticaret.gov.tr/hizmet-ticareti/elektronik-ticaret/dijital-ticaret-tanim-ve-kavramlar* Erişim tarihi: 27.09.2025

Tezcan, C. (2008). *Yapısal eşitlik modelleri* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

The Supply Chain Lab. (2023, 3 Ocak). *Differences between traditional trade and modern trade.* The Supply Chain Lab. Erişim adresi: https://thesupplychainlab.blog/2023/01/03/differences-between-traditional-trade-and-modern-trade/

Turan, M., & Polat, F. (2009). E-ticaret programcılığı ve e-ticaretin Türkiye'deki uygulamaları. Çukurova *Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13*(2), 55-71.

Uçar, E. (2023). Türkiye'de Zincir Marketlerin E-Ticaret Faaliyetleri. *Turkish Journal of Marketing Research, 2*(2), 144-162

Uğur, E. (2017). Yapısal eşitlik modelleri üzerine bir uygulama (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Webtures. (t.y.). *E-ticaretin olumlu yönleri*. https://www.webtures.com/tr/blog/sozluk/e-ticaretin-olumlu-yonleri/ Erişim tarihi: 01.10.2025

Yardımcı, A. (2016). Yapısal eşitlik modellemesi ve pazar araştırmalarında kullanımı (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

6. Bölüm

Gözlük Camlarının Manuel Kesimi ve Montajı: Reçeteden Gözlüğe Uygulamalı Bir Rehber

Osman ARMAĞAN[1], Esra ARMAĞAN[2]

Özet

Bu bölümde, reçetenin optisyene ulaştığı andan gözlüğün kullanıcıya teslim edildiği ana kadar uzanan gözlük yapım süreci, otomatik kesim cihazları kullanılmadan, el aletleri ve elle kumanda edilen makinelerle ele alınmaktadır. Önce güç türlerine (sferik, silindirik, sferosilindirik) ve tasarımlarına (tek odaklı, bifokal, progresif) göre cam çeşitleri, cam malzemelerinin kesim davranışı, çerçeve türleri ve kutu (boxing) ölçü sistemi tanıtılmaktadır. Ardından reçetenin değerlendirilmesi, çerçeve seçimi ve ön ayarı, gereken en küçük cam çapının hesaplanması, pupilla mesafesi, montaj yüksekliği ve pantoskopik açı ölçümleri ile manuel fokometrede okuma ve markürleme işlemleri açıklanmaktadır. Kalıbın hazırlanıp cama aktarılması, kaba kesim, el taşında rodaj ve kenar profillerinin verilmesi adım adım anlatılmakta; plastik ve metal tam çerçeve, nilör ve faset gözlüklerde kenar işleme ve montaj teknikleri ayrı ayrı sunulmaktadır. Tek odaklı, bifokal ve progresif camlara özgü montaj referansları ile fokometrede son kontrol, kullanıcı yüzünde ayar ve teslim aşamaları değerlendirilmekte; sık karşılaşılan montaj hataları, olası nedenleri ve çözümleri tablo hâlinde özetlenmektedir. Bölüm, otomatik cihazların yaptığı her işlemin manuel karşılığını ortaya koyarak optisyenin cihaz arızalarında, özel şekilli çerçevelerde ve rötuş işlerinde ihtiyaç duyduğu el becerisine dayalı yetkinliği desteklemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Optisyenlik, gözlük camı, manuel kesim, rodaj, montaj, fokometre

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7860-0909

[2] Öğr. Gör., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Ermenek Uysal ve Hasan Kalan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye,
ORCID: 0000-0002-5414-2392

1. Giriş

Bir gözlüğün başarısı, reçetedeki değerlerin cama doğru yüklenmesine ve camın gözün önüne doğru konumda yerleştirilmesine bağlıdır. Reçete ne kadar doğru olursa olsun; optik merkez pupillanın önüne gelmiyorsa, silindir aksı döndüyse ya da bifokal segment yanlış yükseklikte kaldıysa kullanıcı bulanık görür, baş ağrısı ve çift görme yaşayabilir. Günümüz teknolojisinde birçok otomatik cihazla gözlük yapımı çok daha kolay hale gelmiştir. Lakin burada işin temelini, reçetenin optisyene ulaştığı andan gözlüğün kullanıcıya teslim edildiği ana kadarki süreci, otomatik kesim cihazları kullanılmadan, el aletleri ve elle kumanda edilen makinelerle anlatacağız. Otomatik cihazların yaptığı her işlem (merkezleme, aks hizalama, kalıp okuma, rodaj, kanal açma) aslında manuel sürecin bir karşılığıdır ve manuel kesimi bilmek iki nedenle önemlidir. İlk olarak herhangi bir cihaz arızasında optisyenin ne yapacağını bilmesi, ikincisi ise özel şekilli çerçevelerde ve rötuş işlerinde optisyenin hala el becerisine ihtiyaç duymasıdır.

2. Temel Kavramlar

Montajın doğru yapılabilmesi için önce camın gücü, camın tasarımı ve çerçevenin yapısı birbirinden ayrı düşünülmelidir. Bu üçü birlikte, camın nasıl markürleneceğini, nasıl merkezleneceğini ve kenarının nasıl işleneceğini belirler (Brooks, 2003; Brooks ve Borish, 2007; Jalie, 2008).

2.1. Güç Türlerine Göre Camlar

Sferik (sph) camlar her meridyende aynı kırma gücüne sahiptir. Reçetede yalnızca sph değeri yazılıdır (ör. −2,50 D veya +3,00 D). Aksı olmadığı için cam, optik merkezi etrafında herhangi bir açıyla döndürülerek kesilebilir; montajda kritik olan tek şey optik merkezin yatay ve dikey konumudur.

Silindirik (cyl) camlar yalnızca bir meridyende güç taşır, ona dik meridyende (aks yönünde) gücü sıfırdır. Reçetede sph sıfır yazılır ya da "plan" ifadesi kullanılır (ör. 0,00 −1,25 × 180). Silindirik camda optik merkez bir nokta değil, aks boyunca uzanan bir çizgi gibi davranır; bu nedenle montajda hem aks açısı hem de güç taşıyan meridyendeki merkezleme önemlidir.

Sferosilindirik (torik) camlar iki ana meridyeninde farklı güce sahiptir ve reçetede sph, cyl ve aks birlikte yazılır (ör. −1,75 −0,75 × 170). Astigmatı olan kullanıcıların büyük çoğunluğu bu tür cam kullanır. Montajda aks hizalaması ve iki eksende merkezleme birlikte sağlanmalıdır.

Transpozisyon aynı reçete (+) cyl veya (-) cyl biçiminde yazılabilir. Dönüşüm için:

(1) Sph ile cyl cebirsel olarak toplanarak yeni sph bulunur,

(2) Cyl'nin işareti değiştirilir,

(3) Aksa 90° eklenir (ya da aks 90°'den büyükse 90° çıkarılır).

Örneğin; +1,00 −2,00 × 170 reçetesinin transpozu −1,00 +2,00 × 80 olur. Transpozisyon reçetenin optik anlamını değiştirmez; yalnızca yazım biçimini değiştirir. Fokometrede hangi biçimle okunacağı, kullanılan fokometre ve tercih edilen yönteme bağlıdır (Rands, 2024).

2.2. Tasarımlarına Göre Camlar

Tek odaklı camlar tek bir uzaklık için (uzak veya yakın) tek bir düzeltme taşır. Montajda optik merkez, kullanıcının o uzaklıktaki görme ekseni ile çakıştırılır.

Bifokal camlar üst bölümde uzak, alt bölümde yakın düzeltmesi taşır; yakın bölüme segment denir. Segment düz üstlü (flat-top, D-seg), yuvarlak (round) veya yatayda tam genişlikte (executive) olabilir. Montajda uzak optik merkezin yanı sıra segmentin yüksekliği ve yatay iç kayması (inset) da ayarlanır.

Progresif camlar uzaktan yakına kesintisiz artan güç taşır; görünür bir segment çizgisi yoktur. Camın üzerindeki silinebilir işaretler (montaj artısı, prizma referans noktası, uzak ve yakın kontrol daireleri) ve kalıcı mikro gravürler montajın temelidir. Montaj artısı pupilla merkezine yerleştirilir; bu nedenle tek gözlük (monoküler) pupilla mesafesi ve montaj yüksekliği zorunludur.

2.3. Cam Malzemeleri ve Kesim Davranışı

Malzeme, el taşındaki davranışı ve hangi çerçeveye uygun olduğu bakımından seçim ve kesim yöntemini doğrudan etkiler.

Tablo 1. Cam Malzemelerinin Kırılma İndisleri ve Manuel Kesim Açısından Özellikleri

Malzeme	Kırılma İndisi (yaklaşık)	Manuel Kesim Açısından Not
Mineral (cam)	1,523 ve üzeri	Elmas/karbür kesici ile çizilip pense ile kırılır, taşta sulu işlenir; kenar keskin kalır, mutlaka faset kırılmalıdır. Darbe direnci düşük olduğundan faset montaja uygun değildir.
CR-39 (organik)	1,498	El taşında sulu ve kolay işlenir; kanal açmaya uygundur. Delme sırasında delik çevresinde çatlama riski vardır.
Polikarbonat	1,586	Isıyla yumuşar; sulu taşta sıvanıp kenarda çapak bırakabilir, uygun taşla

Malzeme	Kırılma İndisi (yaklaşık)	Manuel Kesim Açısından Not
		ve kuru işlenmesi önerilir. Darbe dayanımı yüksek olduğundan faset ve nilör için tercih edilir.
Trivex	1,53	Hafif ve darbeye dayanıklıdır; delmeye ve nilöre uygundur.
Yüksek indeksli plastik	1,60–1,74	Daha ince kenar sağlar; ısınmaya karşı dikkatli, düşük baskıyla işlenmelidir.

2.4. Çerçeve Türleri

Plastik (asetat, enjeksiyon) tam çerçeveler, camı her yönden saran bir yuva (kanal) taşır. Cam kenarına V biçiminde bizote (çatı kenar ya da balık sırtı) açılır; çerçeve ısıtılarak yumuşatılır ve cam yerine bastırılır.

Metal tam çerçeveler, cam V yuvalı metal çember içine oturur; çember genellikle şakak tarafındaki bir vida ile açılıp kapanır. Cam yine bizoteli işlenir, ancak ısıtma yerine vida gevşetilerek takılır.

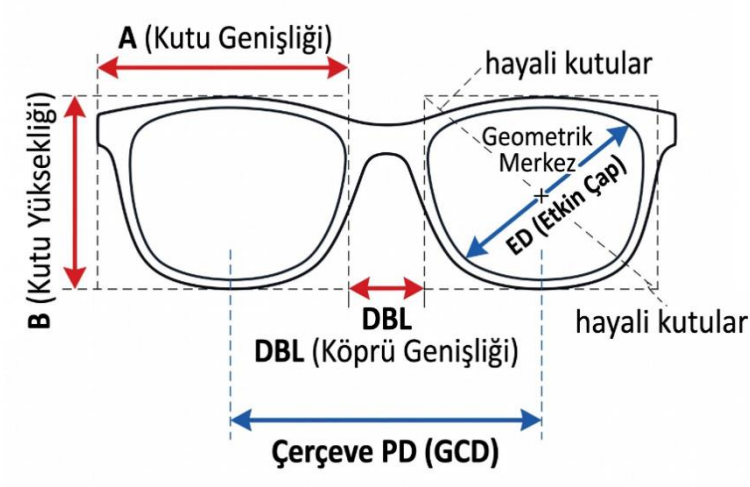
Nilör (yarım çerçeve) gözlükler, üstte metal veya plastik bir katman bulunur; camın alt yarısını ince bir naylon misina tutar. Cam kenarı düz işlenir ve kenarın ortasına ince bir kanal (oluk) açılır. Üst çemberdeki çıkıntı ile misina bu kanala oturur.

Faset (çerçevesiz, vidalı) gözlükler, Cam ile çerçeve parçaları (köprü ve menteşe kolları) arasında çember yoktur. Parçalar cama açılan deliklerden vida, burç veya geçme pimlerle bağlanır. Cam kenarı düz işlenir ve kenarı parlatılır; görünür olduğundan kenar kalitesi estetik açıdan da önemlidir.

2.5. Kutu (Boxing) Ölçü Sistemi

Çerçeve ve cam ölçüleri, cam şeklinin etrafına çizilen hayali bir dikdörtgene (kutuya) göre tanımlanır. Bu sistem ISO 8624 standardında (International Organization for Standardization [ISO], 2020) tanımlanmıştır ve çerçeve sapında genellikle "52□18 140" biçiminde yazılır.

Montajda yapılan tüm yatay ve dikey kaydırmalar (desantrasyonlar) geometrik merkeze göre hesaplanır (Pratik uygulamada; yatay desantrasyon için bu hesaplamalar yapılmadan kişiyi karşınıza alıp pupilla ölçüsünü bir asetatlı kalem yardımı ile manuel olarak alabilirsiniz. Tabi ki bu uygulama sadece yatay desantrasyonu verir dikey desantrasyon sonradan eklenmelidir). Geometrik merkezden geçen ve kutunun alt kenarına paralel olan çizgi yatay merkez çizgisidir (0°–180° çizgisi). Silindir aksı bu çizgiye göre, montaj ve segment yüksekliği ise kutunun alt kenarına göre ölçülür.



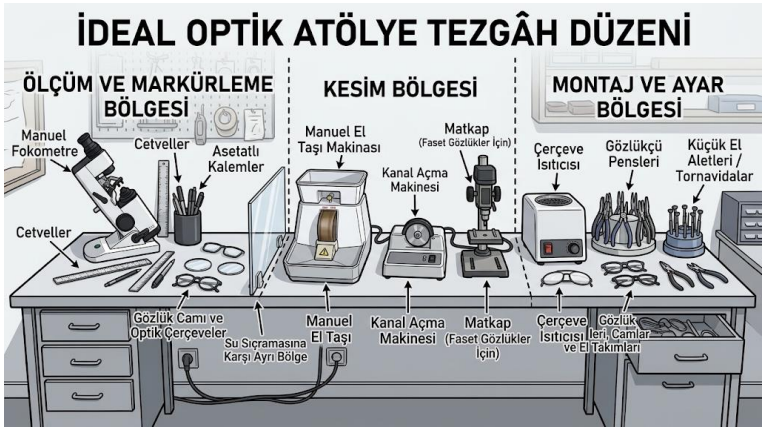
Şekil 1. Kutulama (Boxing) Metodu

Tablo 2. Kutu (Boxing) Ölçü Sisteminde Kullanılan Ölçüler

Ölçü	Tanım
A (kutu genişliği)	Cam şeklinin yatay en büyük genişliği; sapta ilk sayı (ör. 52 mm).
B (kutu yüksekliği)	Cam şeklinin dikey en büyük yüksekliği.
DBL (köprü genişliği)	İki kutunun iç kenarları arasındaki uzaklık; sapta ikinci sayı (ör. 18 mm).
ED (etkin çap)	Geometrik merkezden şeklin en uzak noktasına olan uzaklığın iki katı; gereken en küçük cam çapını belirler.
Geometrik merkez	Kutunun köşegenlerinin kesiştiği nokta.
Çerçeve PD (GCD)	İki geometrik merkez arasındaki uzaklık = A + DBL.

3. Manuel Kesim İçin Standart Bir Optisyenlik Laboratuvarı

İyi bir atölye düzeninde tezgâh üç bölgeye ayrılır: ölçüm ve markürleme bölgesi (fokometre, cetveller, kalemler), kesim bölgesi (el taşı, kanal açma ve delme makineleri; su sıçramasına karşı ölçüm bölgesinden ayrı) ve montaj–ayar bölgesi (çerçeve ısıtıcısı, pensler, tornavidalar). Manuel olarak cam kesme işlemi ve montajı için asgari olarak: Asetatlı kalem ve cetvel, manuel fokometre, manuel cam kesme makinası (el taşı makinası), kanal açma makinesi (nilör için), matkap (faset için), küçük el aletleri, çerçeve ısıtıcısı, pens ve el takımı gereklidir.



Şekil 2. Optik Atölye Tezgahı

4. Reçetenin Değerlendirilmesi, Çerçeve Seçimi ve Ön Ayar

4.1. Reçeteyi Okumak

Reçetede sağ göz (OD, R) ve sol göz (OS, L) için ayrı satırlar bulunur. Her satırda sph, cyl ve aks; gerekirse prizma miktarı ve baz yönü; yakın için ise ya ayrı bir yakın satırı ya da ek güç (Add) yazılır. Optisyen reçeteyi okurken şu soruları sırayla yanıtlar:

1) Cam sferik mi, silindirik mi, sferosilindirik mi? Silindir varsa aks kaç derecededir?
2) Uzak ve yakın düzeltmesi aynı camda mı farklı camda mı isteniyor? Öyleyse tek odaklı, bifokal veya progresif tasarımdan hangisi kullanıcıya uygun?
3) Reçetede prizma var mı? Varsa montajda bu prizma korunacak, istenmeyen prizma eklenmeyecektir.
4) İki göz arasındaki güç farkı (anizometropi) büyük mü? Büyükse dikey merkezleme hatası iki göz arasında dikey prizma dengesizliği yaratır; bu durumda ölçüm ve merkezleme daha da hassas yapılmalıdır.
5) Güç yüksek mi? Yüksek eksi camlarda kenar, yüksek artı camlarda merkez kalın olacağından malzeme (indis) ve çerçeve seçimi buna göre yapılmalıdır.

4.2. Çerçeve Seçimi: Estetik ve Optik Ölçütler

Çerçeve önerisi yüz yapısı, kullanıcının zevki ve kullanım amacıyla başlar. Yaygın uygulamada çerçeve hattının yüz hatlarıyla dengelenmesi (ör. yuvarlak yüzde daha köşeli, köşeli yüzde daha yumuşak hatlar) önerilir. Ancak reçeteli gözlükte estetik tercih, aşağıdaki optik ölçütlerle birlikte değerlendirilmelidir:

1) *Çerçeve Pd'si (geometrik merkez) ile kullanıcı Pd'si arasındaki fark;* Fark büyüdükçe desantrasyon artar; bu da daha büyük cam çapı gerektirir ve eksi camlarda dış kenarı kalınlaştırır. Mümkünse çerçeve Pd'si (A + DBL) kullanıcının Pd'sine yakın seçilmelidir.
2) *Cam boyutu ve şekli;* Yüksek güçlü camlarda küçük ve kutu genişliği ile yüksekliği birbirine yakın çerçeveler kenar kalınlığını ve ağırlığı azaltır.
3) *Nilör ve faset için kenar kalınlığı;* Kanal açmak veya delik delmek için camın kenarında yeterli kalınlık bulunmalıdır. İnce kenarlı artı camlarda bu durum cam siparişinde belirtilmelidir. Yüksek eksi camlarda ise nilör ve fasette kalın kenar görünür kalır.
4) *Bifokal ve progresif için dikey alan;* Bifokal segmentin ve progresif koridorun sığabilmesi için kutu yüksekliği (B) ve montaj yüksekliği yeterli olmalıdır. Progresif camlarda üreticinin her tasarım için belirttiği en küçük montaj yüksekliği esas alınır.
5) *Burun köprüsü ve sap uzunluğu;* Çerçevenin kaymaması, ölçülen yüksekliklerin kullanımda korunması için gereklidir.

4.3. Gereken En Küçük Cam Çapı

Seçilen çerçeveye ve hesaplanacak desantrasyona göre cam çapının yeterli olup olmadığı önceden kontrol edilir. Yaygın kullanılan yaklaşık formül şudur (Brooks ve Borish, 2007):

En küçük cam çapı (MBS) = ED (Köşegen uzunluğu) + toplam desantrasyon miktarı + 2 mm traşlama avansı

Örnek: ED = 54 mm, tek göz desantrasyonu 3 mm ise en küçük cam çapı 54 + 6 (iki göz için) + 2 = 62 mm olur. Stoktaki cam 60 mm çaplıysa bu çerçeve için yetersizdir; 65 mm veya daha büyük cam istenmelidir. Bu kontrol yapılmadan kesime başlanırsa cam kenarında boşluk (cam yetmemesi) ortaya çıkar.

4.4. Çerçevenin Ön Ayarı

Ölçüm almadan önce çerçeve kullanıcının yüzüne ön ayarla oturtulmalıdır. Çünkü pupilla mesafesi ve özellikle montaj yüksekliği, çerçevenin yüzde nasıl durduğuna göre ölçülür. Ayarlanmamış bir çerçeve üzerinden alınan yükseklik, ayar yapıldıktan sonra milimetreler seviyesinde değişebilir.

Ön ayarda önce çerçevenin kendi düzgünlüğü (standart hizalama) kontrol edilir: ön yüz bükülmemiş olmalı, iki sap eşit açıyla açılmalı, masaya konduğunda iki sap ucu masaya birlikte değmelidir. Ardından kullanıcıya göre ayar yapılır: çerçevenin yatay durması, burun pedlerinin eşit taşıması, sapların

kulak arkasında baskı yapmadan oturması ve uygun pantoskopik açı sağlanır. Plastik çerçevelerde ayar ısıtıcı ile, metal çerçevelerde pensle yapılır. Nilör ve faset çerçevelerde ön yüz ayarı sınırlı olduğundan ayar ağırlıklı olarak burun pedleri ve saplardan yapılır.

5. Ölçümler: Pupilla Mesafesi, Montaj Yüksekliği ve Pantoskopik Açı

Montajın doğruluğu, kullanıcıdan alınan üç ölçüye dayanır: yatay merkezleme için pupilla mesafesi (PD), dikey merkezleme için montaj yüksekliği ve dikey düzeltme için pantoskopik açı. Bu ölçümler ön ayarı yapılmış çerçeve kullanıcının yüzündeyken alınır.

5.1. Ölçüm Koşulları ve Uygulaması

Manuel Pd ölçüm yöntemlerinde doğruluk, optisyen ile kullanıcının konumuna bağlıdır. Şu koşullar sağlanmalıdır:

1) Optisyen ve kullanıcının gözleri aynı yükseklikte olmalıdır.
2) Aradaki uzaklık yaklaşık 40 cm (kol boyu) olmalıdır.
3) Kullanıcının başı ve gövdesi dik, başı doğal duruşunda olmalı; çene kalkık ya da düşük olmamalıdır.
4) Ortam, göz bebeklerinin (Pd ölçüsünün) görüleceği kadar aydınlık olmalıdır.

Bu şartlar sağlanınca optisyen asetatlı kalemi eline alarak sağ göz bebeği ve sol göz bebeği için kullanıcının yüzünde takılı olan gözlük çerçevesi üzerindeki kalıp cama nokta şeklinde işaretleme yaparak manuel Pd ölçümünü gerçekleştirmiş olur. Bu işlemin teorik hesaplamalardaki karşılığı sadece yatay desantrasyondur. İşlemin devamında dikey desantrasyon için aşağı yönde 4mm ölçülür (pantoskopik açı ≅ 8°) ve o nokta işaretlenerek desantrasyon işlemi bitirilir. Pantoskopik açı, gözlük camının alt kenarının yüze doğru yatmasıyla oluşan açıdır. Çerçeve önden bakıldığında dik değil, hafifçe öne eğik durur. Bu eğim nedeniyle kullanıcı uzağa bakarken görme ekseni camı dik değil eğik keser (Deal, 2023; Kotob, 2021).

Reçeteye uygun olarak sipariş edilen camın diyoptri ve aks (varsa) değerleri manuel fokometre kullanılarak ölçülür. Manuel fokometrede ilk iş, okülerin optisyenin kendi gözüne göre ayarlanmasıdır. Ayar yapılmazsa optisyenin kendi kırma kusuru ve uyumu okumaya karışır. Oküler önce en artı yöne (saat yönünün tersine sonuna kadar) çevrilir; ardından optisyen içinden ölçek çizgileri (retikül) ilk kez net görülene kadar yavaşça geri çevrilir. Bu yöntem, gözün uyum yaparak hatayı gizlemesini önler. Ayar yapıldıktan sonra cam

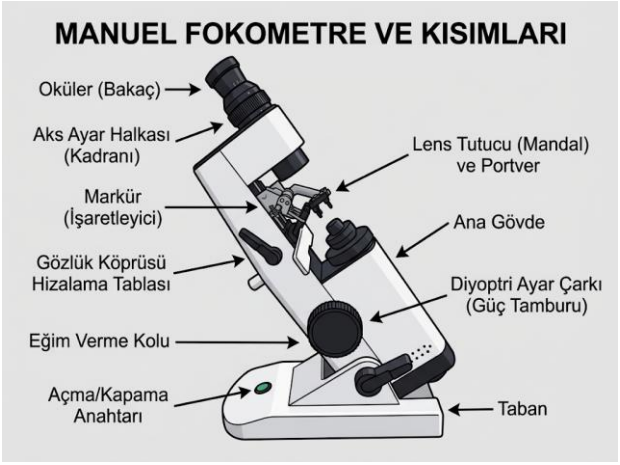
takılmadan güç tamburu (mezopuan kolu ya da numaratör) sıfırdayken hedef net görülmelidir; görülmüyorsa cihaz kalibrasyonu kontrol edilmelidir.

Fokometreye yerleştirilecek cam, arka (iç bükey) yüzü cihazın cam dayanağına bakacak şekilde konur ve sıkıştırma kolu indirilerek camın sabitlenmesi sağlanır. Kesilmemiş yuvarlak camda bu aşamada aks henüz belirlenmediğinden cam dayanakta serbestçe döndürülebilir.

Montaj yüksekliği ise, cam şeklinin en alt noktasına teğet yatay çizgiden (kutunun alt kenarından) ölçülen dikey uzaklıktır. Neyin yüksekliğinin ölçüleceği cam tasarımına göre değişir:

Tablo 3. Cam Tasarımına Göre Montaj Yüksekliği Referansları

Cam Tasarımı	**Yükseklik Referansı**
Tek odaklı (uzak)	Pupilla merkezi; optik merkez buradan pantoskopik açıya göre aşağı alınır
Bifokal	Segment üstü; genellikle alt göz kapağı kenarı hizası esas alınır
Progresif	Montaj artısı; kullanıcı uzağa bakarken pupilla merkezi esas alınır



Şekil 3. Manuel Fokometre

Sferik Camın Okunması ve Markürlenmesi; Sferik camda güç tamburu çevrildiğinde hedefin tüm çizgileri aynı anda netleşir. Okunan değer reçetedeki sph ile karşılaştırılır. Ardından cam, hedef retikülün tam merkezine gelene kadar yatay ve dikey kaydırılır. Hedefin merkezde olması, ışığın camın prizmasız noktasından geçtiğini, yani bu noktanın optik merkez olduğunu gösterir. Bu konumda markürleme kolu indirilerek cam üzerine üç nokta basılır. Sferik camda aks yoktur. Üç nokta yalnızca kesim sırasında camın düz

tutulmasına yardım eder; cam, optik merkezi etrafında herhangi bir açıyla kesilebilir.

Silindirik ve Sferosilindirik Camın Okunması; Silindir içeren camda hedefin çizgileri iki farklı güç değerinde ayrı ayrı netleşir. Okuma şu sırayla yapılır (eksi silindir biçiminde):

1) Güç tamburu artı yönden başlanarak eksiye doğru çevrilir. Hedefin bir yöndeki çizgileri netleştiğinde aks tamburu çevrilerek bu çizgilerin kesintisiz ve düz görünmesi sağlanır. Bu güç birinci okuma ya da birinci netleşmedir (sph), aks tamburundaki değer akstır.
2) Güç tamburu eksi yönde çevrilmeye devam edilir; bu kez dik yöndeki çizgiler netleşir. Bu ikinci okuma ya da ikinci netleşmedir. Bu esnada aks değeri de 90° artar ya da 90° azalır.
3) Birinci okuma ve aks değeri, ikinci okuma ve aks değeri not edilir. Buradan reçeteye ve transpoze haline ulaşılır.

Örnek: Birinci okuma −1,75 D, aks 170°; ikinci okuma −2,50 D, aks 80° ise cam −1,75 −0,75 × 80'dir.

Tam tersine, artı yöndeki okumayla başlanırsa reçete artı silindir biçiminde elde edilir. İki biçim birbirinin transpozudur ve aynı camı tanımlar.

Astigmatlı camda markürleme; reçetedeki aksın camın yatay çizgisine göre doğru yerde olmasını güvenceye alan aşamadır. İşlem şöyle yapılır:

1) Aks tamburu reçetedeki aksa (örnekte 170°) sabitlenir.
2) Güç tamburu birinci okumaya getirilir.
3) Cam, cam dayanağında kendi ekseni etrafında yavaşça döndürülür; aks tamburu yönündeki çizgiler tam düz, kesintisiz ve net hâle geldiğinde camın silindir aksı cihazın 170° konumuyla çakışmıştır.
4) Cam döndürülmeden yatay ve dikey kaydırılarak hedef retikülün merkezine getirilir.
5) Markürleme kolu indirilir ve üç nokta basılır.

Cihazın markür uçları yatay bir doğru üzerindedir. Bu nedenle basılan üç noktanın oluşturduğu doğru silindir aksının kendisi değil, cihazın 0°–180° yatay çizgisidir; silindir aksı bu çizgiyle reçetedeki açıyı yapar (Bu örnek için 10°). Kesim ve montajda bu üç noktalı çizgi çerçevenin yatay merkez çizgisine paralel tutulursa aks kendiliğinden reçetedeki konuma gelir. Aks 180° ise silindir aksı üç nokta doğrultusuyla çakışır; aks 90° ise ona diktir.

Aks açıları, TABO şemasına göre kullanıcıya bakan optisyenin bakış yönünden, her iki göz için de sağdan sola 0°'den 180°'ye ölçülür. Fokometre de aynı düzene göre derecelendirilmiştir. Cam arka yüzü cam dayanağına bakacak

şekilde konduğunda (montajlı gözlükte saplar optisyenden uzağa bakarken), optisyen camı kullanıcının yüzüne bakar gibi görür ve okunan aks reçetedekiyle doğrudan karşılaştırılabilir.

Bifokal camlar; Uzak bölümün gücü, cam arka yüzü cihaza dönükken uzak bölümde okunur ve uzak optik merkez markürlenir. Segmenti ön yüzde olan bifokallerde ek güç ön tepe noktası yöntemiyle ölçülür: cam ön yüzü cihaza bakacak şekilde çevrilir, önce uzak bölümde sonra segment içinde okuma yapılır; iki okuma arasındaki fark ek güçtür. Segmentin düz üst kenarı, kesimde yatay referans olarak da kullanılır.

Progresif camlar; Kesilmemiş progresif cam üretici tarafından silinebilir mürekkeple işaretlenmiş olarak gelir: montaj artısı, prizma referans noktası, uzak kontrol dairesi, yakın kontrol dairesi ve yatay çizgiler. Uzak güç uzak kontrol dairesi içinden, ek güç ise ön yüzden yakın kontrol dairesi içinden okunur; prizma referans noktasında yalnızca reçetedeki prizma ve tasarımdan gelen inceltme prizması (genellikle eşit miktarda baz aşağı) bulunmalıdır. Silinebilir işaretler kaybolmuşsa, cam üzerindeki kalıcı mikro gravürler üreticinin merkezleme kartına oturtularak işaretler yeniden çizilir. Progresif camda kendi başına bir "optik merkez" araması yapılmaz; montaj, üreticinin işaretlerine göre yapılır.

6. Kalıbın Hazırlanması

Manuel kesimde camın şekli, çerçevenin kendi demo (kalıp) camından ya da ayrıca hazırlanmış bir kalıptan alınır. Nilör ve faset çerçevelerde demo cam en güvenilir kalıptır, çünkü çerçeveye birebir uyacak şekilde üretilmiştir.

6.1. Nilör Çerçeveden Demo Camın Çıkarılması: Misinayı kesmeden ya da germeden çıkarmak için ince bir kurdele (şerit) kullanılır. Kurdele, camın yan tarafından misina ile cam arasına sokulur ve iki ucundan tutularak kenar boyunca dışarı doğru çekilir. Kurdele misinayı kanaldan kaldırır, demo cam üst çemberden ayrılır. Misinayı tırnakla ya da sivri aletle zorlamak hem misinayı gevşetir hem de çerçeveyi çizebilir.

6.2. Faset Çerçeveden Demo Camın Çıkarılması: Vidalar veya burçlar gevşetilerek köprü ve menteşe parçaları demo camdan ayrılır. Demo cam üzerindeki deliklerin yeri, yeni cama aktarılacağı için korunur.

6.3. Tam Çerçevede Kalıp: Plastik çerçevede demo cam çerçeve ısıtılarak, metal çerçevede çember vidası gevşetilerek çıkarılır. Demo cam yoksa

çerçevenin iç yuvası şeffaf bir plastik levhaya aktarılarak kalıp kesilir; bu durumda bizotenin yuvaya oturacağı pay hesaba katılmalıdır.

6.4. Demo Cam Üzerine Referansların Çizilmesi: Bölüm 5.1'de anlatıldığı gibi asetatlı kalem ile gerekli ölçümler (Pd) işaretlenir.

6.5. Kalıbın Kesilecek Cama Aktarılması

1) Demo cam, ön yüzü yine yukarıda ve aynı göze ait yönde (burun tarafı aynı yöne bakacak şekilde) kesilecek camın üzerine yerleştirilir.
2) Demo camdaki desantre edilmiş son nokta (yatay desantre + dikey desantre), markürlenmiş camın ortadaki noktası ile tam çakıştırılır.
3) Demo camdaki yatay referans çizgisi, markürlenmiş camdaki üç noktanın oluşturduğu doğruya paralel hâle getirilir. Bu adım silindir aksının doğru açıda kalmasını sağlar; sferik camlarda yalnızca düzgünlük içindir.
4) Demo camın çevresi asetat kalemle kesilecek camın üzerine çizilir. Kalem ucunun demo camın kenarına dik ve sürekli temas etmesi, çizginin büyümesini ya da küçülmesini önler.
5) Fasette delik yerleri de demo camdan aktarılır.

Son bir kontrol olarak, çizilen şeklin camın kenarına hiçbir noktada taşmadığı doğrulanır. Taşma varsa cam çapı yetersizdir. Kesime başlanmaz ve daha büyük çaplı cam istenir.

7. Kesim ve El Taşında Rodaj

Kalıp çizgisi cama aktarıldıktan sonra cam, önce kaba olarak küçültülür (şart değildir, sadece el taşında da yapılabilir), ardından el taşında çizgiye kadar inceltilir ve çerçeve türüne uygun kenar profili verilir. Bu aşamanın amacı, camı ölçüye getirirken optik merkezin ve aksın konumunu bozmamaktır.

7.1. Kaba Kesim

Mineral (cam) camlar; Çizilen şeklin yaklaşık 2–3 mm dışından elmas veya karbür cam kesici ile tek ve kesintisiz bir çizik atılır (Sadece el taşı makinesi kullanılsa da olur). Aynı çizgi üzerinden ikinci kez geçmek kenarda kırılma ve pul pul dökülmeye yol açar. Çizginin dışında kalan kısım, kemirme (kırma) pensesiyle küçük parçalar hâlinde koparılır. Pense camın kenarından içeri doğru, çizgiyi aşmadan çalıştırılır.

Organik (CR-39 ve benzeri) camlar, Bu camlar çizilip kırılamaz. Fazlalık doğrudan el taşının kaba taşında alınır. Cam çapı şekle göre çok büyükse önce fazlalık kaba taşta hızla, ancak çizgiye yaklaşmadan uzaklaştırılır.

Polikarbonat camlar, Isıyla yumuşadıkları için sulu kaba taşta erir, taşın gözeneklerini doldurur ve kenarda çapak bırakır. Polikarbonat ve benzeri termoplastik malzemeler bu amaçla üretilmiş taşlarla, düşük baskıyla ve üretici önerisine göre işlenmelidir. Manuel taşın uygun olmadığı durumlarda bu camlar için kesim sistemine sahip bir laboratuvarla çalışmak daha güvenlidir.

7.2. El Taşı Makinesi

Manuel el taşı makinesi, su ile soğutulan ve dik eksende ya da yatay eksende dönen iki veya daha fazla taş taşır:

1) *Kaba Taş:* Hızlı malzeme kaldırır; cam çizginin biraz dışına kadar bu taşta küçültülür.
2) *İnce Taş:* Yüzeyi düzgünleştirir ve kenarı son ölçüsüne getirir. Bizote işlemi için ince taşın üzerinde V biçiminde bir oluk bulunur.
3) *Parlatma Taşı (varsa):* Faset ve nilör camların görünen kenarlarını parlatmak için kullanılır.

Su akışı tüm çalışma boyunca sürmelidir. Kuru taş camı ısıtır; plastik camda deformasyon, kaplamalı camda kaplama çatlaması (krakle) ve mineral camda kenar kırılması görülebilir.



Şekil 4. El Taşı Makinası

7.3. Rodaj Tekniği

Rodaj, camın kalıp çizgisine kadar elle aşındırılmasıdır. Doğru teknik şöyle özetlenebilir:

1) Cam iki elle, parmak uçları ön ve arka yüzde olacak şekilde tutulur. Kenar taşa dik tutulur.

2) Cam taşın yüzeyine hafif ve sabit baskıyla değdirilirken sürekli kendi ekseni etrafında döndürülür. Tek bir noktada beklemek orayı fazla aşındırır ve şekli bozar.
3) En fazla malzemenin alınacağı bölgelerden başlanır; çizgiye 1-2 mm kadar kalınca ince taşa geçilir.
4) Sık sık durularak cam kurulanır ve demo cam üzerine konup şekil karşılaştırılır. Karşılaştırmada iki camın optik merkez işaretleri ve yatay çizgileri yine çakışık tutulur.
5) Son ölçüye ince taşta, çizgi tam silinecek kadar gelinir.

Camı dik tutmanın önemi; Cam taşa eğik tutulursa kenar yüzeyi de eğik çıkar: ön yüzdeki şekil arka yüzdekinden büyük ya da küçük olur. Bu, özellikle kalın kenarlı yüksek güçlü camlarda belirgin bir boyut farkına dönüşür. Nilörde kanal kenarın ortasında açılamaz, fasette delik yüzeyler arasında eğik kalır, tam çerçevede bizote bir yana kayar. Bu yüzden yüksek dioptrili, kalın camlarda cam taşa açı verilmeden, tam dik tutulmalıdır.

Ölçüye uyum; Nilör ve faset camlar demo camla birebir aynı boyutta olmalıdır. Nilörde küçük kalan cam misinanın gevşemesine, büyük kalan cam ise misinanın aşırı gerilip camın kenarını sıkıştırmasına yol açar (Nilör için isteğe bağlı olarak misina boyu ile oynanıp camın alt kısım boyutunda değişiklik yapılabilir). Fasette küçük kalan camda deliklerin yeri kayar (İsteğe bağlı olarak delik yerlerini simetrik olarak kaydırarak cam boyutu değiştirilebilir). Tam çerçevede cam bizotesiyle birlikte yuvaya tam oturmalı; aşırı büyük cam çerçeveyi zorlar ve camda gerilim yaratır, küçük cam ise yuvada döner ve aksı kaydırır.

7.4. Kenar Profilleri

Kenar profili çerçeve türüne göre seçilir.

Bizotenin yeri; Bizote tepesinin camın kalınlığı içinde nerede duracağı, camın görünüşünü belirler. Yaygın uygulamada ince kenarlı artı camlarda bizote kenarın ortasına, kalın kenarlı eksi camlarda ise ön yüze daha yakın konur; böylece kalın kenarın fazlası arkaya taşar ve önden daha az görünür. Bizote tepesi, camın ön yüzünün eğriliğini izleyen düzgün bir çizgi oluşturmalıdır.

Tablo 4. Çerçeve Türüne Göre Kenar Profilleri

Çerçeve Türü	Kenar Profili	Taşta Yapılan İşlem
Plastik tam çerçeve	V bizote	İnce taşın V oluğunda, cam döndürülerek tepe çizgisi kenar boyunca sürekli tutulur.
Metal tam çerçeve	V bizote	Plastik çerçevedeki gibi; metal çemberin yuvası daha dar olabildiğinden bizote daha ince ve düzgün tutulur.
Nilör	Düz kenar + kanal	Düz taşta dik kenar verilir; kanal ayrı makinede açılır.
Faset	Düz kenar + delik	Düz taşta dik kenar, ardından parlatma; delikler matkapla açılır.

7.5. Emniyet Fazeti

Son ölçü verildikten sonra kenarın ön ve arka köşeleri ince taşta çok hafifçe kırılır. Bu küçük pah (emniyet fazeti) mineral camlarda kenarın ufalanmasını önler, organik camlarda montaj sırasında çerçeveyi çizmesini engeller. Faset kırma bizoteyi ya da kanalın kenarını bozacak kadar geniş olmamalıdır. Faset ve nilör camlarda görünen kenar, son olarak parlatma taşında veya cilada parlatılır.

8. Çerçeve Türüne Göre Kenar İşleme ve Montaj

Camın kesimi tamamlandığında son kenar işlemi ve çerçeveye takma yöntemi çerçeve türüne göre ayrılır. Her türde ortak kural şudur: cam yerine takıldıktan sonra aks ve merkezler fokometrede yeniden kontrol edilir.

8.1. Plastik (Asetat) Tam Çerçeveler

Kenar; Cam V bizoteli işlenir

Takma; Plastik çerçeve, cam yuvasının esneyebilmesi için çerçeve ısıtıcısında yumuşatılır. Isıtma, çerçevenin yalnızca cam yuvası bölgesine ve kısa aralıklarla uygulanır; çerçeve elle yoklanarak esnekliği kontrol edilir. Aşırı ısıtma çerçevede kabarma, renk değişimi ve biçim bozulmasına yol açar. Bazı plastik malzemeler (ör. termoset özellikli olanlar) asetattan farklı sıcaklık ister; bu durumda çerçeve üreticisinin önerisine uyulur.

Yumuşayan çerçevede cam genellikle arka taraftan yerleştirilir: önce bizotenin bir bölümü (çoğu zaman üst burun köşesi) yuvaya sokulur, ardından başparmaklarla kenar boyunca bastırılarak cam bütünüyle yuvaya oturtulur. Cam yerine oturduktan sonra çerçeve soğurken hafifçe sıkışır ve camı tutar.

Kontroller; Bizote yuvanın tamamında görünmez olmalı, camla çerçeve arasında boşluk kalmamalıdır. Cam parmakla döndürülmeye çalışıldığında dönmemelidir. Çerçeve soğuduktan sonra fokometrede aks kontrol edilir. Aks kaymışsa çerçeve yeniden ısıtılarak cam yuvada çok küçük açılarla çevrilir.

8.2. Metal Tam Çerçeveler

Kenar; Cam V bizoteli işlenir, metal çemberin yuvası dar olduğundan bizote düzgün ve keskin olmalıdır.

Takma; Çemberin kapanma vidası (genellikle şakak tarafında) gevşetilir ya da çıkarılır. Cam yuvaya yerleştirilir ve vida yeniden sıkılır. Isıtma gerekmez.

Kontroller; Vida sıkıldığında çemberin iki ucu boşluksuz birleşmelidir. Uçlar arasında aralık kalıyorsa cam büyüktür; cam yuvada dönüyorsa küçüktür. Aşırı büyük camı vidayla zorlamak çemberi deforme eder ve camda gerilime yol açar. Aks ve merkez, vida sıkıldıktan sonra fokometrede kontrol edilir.

8.3. Nilör (Yarım) Çerçeveler

Kenar; Cam el taşında düz ve dik kenarlı işlenir; kenar demo camla birebir aynı boyutta olmalıdır.

Kanal açma; Kanal, kanal açma (nilör) makinesinde açılır. Makinede cam, iki tutucu tekerlek arasında kenarı kesici diske değecek şekilde sıkıştırılır; cam dönerken disk kenarın ortasında sürekli bir oluk açar. Açılmadan önce makinede iki ayar yapılır:

1) *Kanal Derinliği:* Misina ve üst çemberin çıkıntısı kanala tam oturacak kadar olmalıdır. Kanal çok derin açılırsa kanalın iki yanındaki cam duvarları incelir ve kenar kolayca kırılır. Çok sığ açılırsa misina kanala oturmaz, dışarıda kalır ve cam misinadan kolayca kurtulur.
2) *Kanalın Konumu (yan ayar):* Kanal, kenar kalınlığı içinde ön yüze göre nerede açılacağını belirler. İnce kenarlı camlarda kanal kenarın ortasında açılır. Kalın kenarlı (özellikle yüksek eksi) camlarda kanal ön yüze yakın açılır ve fazladan kalınlık iç (arka) tarafta bırakılır; böylece cam önden daha ince görünür ve üst çemberle uyumlu durur.

Birçok kanal açma makinesinde kanal genişliği kesici diskin kalınlığıyla belirlenir; derinlik ve konum ise makinedeki ayar düğmeleriyle yapılır. Kullanılacak misinanın kalınlığı ve çerçeve üreticisinin önerisi bu ayarların temelidir. Kanal açıldıktan sonra kenarın tamamında sürekli ve eşit derinlikte olduğu, kanal kenarlarında kırık veya ufalanma bulunmadığı kontrol edilir.

Misina kontrolü ve değişimi; Demo cam çıkarıldıktan sonra misinanın gevşemediği, çizilmediği ve uçlarının çerçevedeki deliklere sağlam bağlı olduğu

kontrol edilir. Gevşemiş veya yıpranmış misina yenisiyle değiştirilir. Yeni misina çerçevenin bir ucundaki deliklerden geçirilip sabitlenir, cam üst çembere yerleştirilmiş durumda iken diğer uca uygun uzunlukta kesilerek bağlanır. Misina uzunluğu, camı saracak kadar gergin olacak şekilde belirlenir.

Takma; Camın üst kenarındaki kanal, üst çemberin iç çıkıntısına (veya üst çemberdeki misinaya) yerleştirilir. Bir kurdele (şerit) misinanın altından geçirilir. Kurdelenin iki ucu tutularak misina camın alt kenarı boyunca çekilir ve kanala doğru yönlendirilir. Misina bir yandan başlayarak kanala oturtulur ve kurdele kenar boyunca kaydırılarak dışarı alınır. Bu yöntem misinanın kenardan kaymasını ve camın çizilmesini önler.

Kontroller:

1) Misina kanal boyunca kesintisiz oturmalı, hiçbir noktada kanal dışında kalmamalıdır.
2) Misina gevşek olmamalıdır. Cam, parmakla döndürülmeye ya da öne–arkaya itilmeye çalışıldığında yerinden oynamamalıdır. Gevşek misina zamanla camın düşmesine ve aksın kaymasına yol açar.
3) Misina aşırı gergin de olmamalıdır. Aşırı gerginlik camda gerilim yaratır ve kenarın kırılma riskini artırır.
4) Fokometrede aks ve optik merkez kontrol edilmelidir.

8.4. Faset (Çerçevesiz) Gözlükler

Malzeme seçimi; Delikli montajda cam kenarı ve delik çevresi darbe ve vida baskısına doğrudan maruz kalır. Polikarbonat ve Trivex bu nedenle faset için tercih edilen malzemelerdir. CR-39 kullanılabilir, ancak delik çevresinde çatlama riski daha yüksektir. Mineral cam faset montaja uygun değildir.

Kenar; Cam düz ve dik kenarlı işlenir, ardından kenarı parlatılır. Kenar her açıdan göründüğü için çizik, dalga veya ufalanma kabul edilmez.

Delik yerlerinin aktarılması; Demo camdaki deliklerin merkezleri, kalıp aktarımı sırasında yeni camın ön yüzüne asetat kalemle işaretlenir. İşaretlerin camın kenarına uzaklığı ve birbirine uzaklığı demo camla cetvelle karşılaştırılır. Çerçeve parçasının (köprü veya menteşe kolu) cama dayanan yüzü de yeni cama tutularak deliğin yeri ikinci kez doğrulanabilir.

Delme; Cam delme makinesinin tablasına sabitlenir; cam elle tutularak delinmez (Cihaza göre farklılık gösterir, elle tutulup delme işlemi yapılanlar da vardır). Delik matkabının ucu işaretin tam merkezine getirilir ve deliğin doğrultusu, çerçeve parçasının vidasının gireceği doğrultuya uygun ayarlanır. Ufalanmayı önlemek için yaygın uygulama, deliği önce bir yüzden kısmen açmak, ardından cam çevrilerek diğer yüzden tamamlamaktır. Delme hızı ve baskı düşük tutulur; polikarbonat ısınınca matkabın etrafında eriyebileceği için

özellikle dikkatli olunur. Delik çapı, kullanılacak vida ve burç ölçüsüne göre seçilir; gerekirse delik konik frezeyle hafifçe genişletilir.

Takma; Çerçeve parçaları cama yerleştirilir, plastik burçlar (koruyucu kovanlar) deliklere takılır ve vidalar sıkılır. Vidalar camı çatlatacak kadar sıkılmamalıdır; ancak parçalar camda oynamamalıdır. Uygun olan çerçevelerde vida ucundaki fazlalık kesilip törpülenir.

Kontroller; Köprü iki camı aynı yatay düzlemde tutmalıdır; camlardan biri öne veya arkaya eğik durmamalıdır. Cam çerçeve parçasının çevresinde dönmemelidir. Fokometrede aks ve merkezler kontrol edilir; delik konumundaki küçük bir hata faset gözlükte camın dönmesine, dolayısıyla aks kaymasına doğrudan yansır.

9. Cam Tasarımına ve Güç Türüne Göre Montaj

Önceki bölümlerde anlatılan adımlar her gözlükte aynıdır; değişen, camın hangi noktasının kullanıcının gözüne göre konumlandırılacağı ve kesimde hangi çizginin yatay referans alınacağıdır.

9.1. Tek Odaklı Camlar

Uzak gözlüğü; Yatay merkezleme monoküler uzak PD'ye göre yapılır. Dikey merkezleme pupilla yüksekliğinden pantoskopik açı kadar aşağıda yapılır (Bölüm 5.1).

Yakın (okuma) gözlüğü; Yalnızca yakın için kullanılacak gözlükte gözler okuma sırasında içe yakınsar ve aşağı bakar. Bu yüzden yatay merkezleme yakın PD'ye göre yapılır. Yani kullanıcının okuma duruşundaki bakış noktasına göre belirlenir.

Buraya kadar anlattığımız kısmı genel olarak bir örnek üzerinden özetleyecek olursak*, örneğimizdeki gözlük sferosilindirik tek odaklı nilör bir çerçeve modeli olsun. İş akışı kısaca şöyledir:*

1) Reçete okunur; cam türü sferosilindirik ve tek odaklı olarak belirlenir.
2) Nilör çerçeve seçilir ve ön ayarı yapılır.
3) Kullanıcıyla aynı göz hizasında, yaklaşık 40 cm uzaklıkta, kullanıcı karşıdaki açık göze bakarken pupilla merkezleri demo camlara işaretlenir.
4) Pantoskopik açı için aşağı yönde dikey desantre uygulanır (4 mm).
5) Camlar fokometrede okunur, aks reçetedeki değere kurulup markürlenir.
6) Demo camlar kurdele ile çıkarılır; yatay çizgi ve burun yönü işaretlenir.
7) Optik merkezler çakıştırılıp üç noktalı çizgi yatay çizgiye paralel tutularak şekil çizilir.
8) Cam el taşında dik tutularak düz kenarlı şekilde ölçüye getirilir, köşeleri hafifçe kırılır.

9) Kanal açma makinesinde derinlik ve konum ayarlanarak kanal açılır; kalın kenarlı camda kanal ön yüze yakın açılır.
10) Cam üst çembere yerleştirilir, misina kurdele ile kanala oturtulur; misina gerginliği kontrol edilir.
11) Fokometrede güç, aks ve merkezler kontrol edilir; gözlük kullanıcıya ayarlanarak teslim edilir.

9.2. Bifokal Camlar

Bifokal camda iki referans birlikte yerleştirilir: uzak bölümün optik merkezi ve segment. Uygulamada segmentin yeri ölçülür, uzak optik merkezin konumu ise camın üretimiyle segmente göre belirlenmiş olur.

Segment yüksekliği; Kutunun alt kenarından segmentin üst çizgisine olan dikey uzaklıktır. Bifokallerde başlangıç noktası alt göz kapağının üst kenarıdır; trifokallerde pupillanın alt kenarı esas alınır (Mattison-Shupnick, 2011). Bu değer kullanıcının duruşuna ve kullanım amacına göre küçük ayarlarla değiştirilebilir; çok okuyan kullanıcıda segment biraz yükseltilebilir, araç kullanan ya da uzun boylu kullanıcıda biraz düşürülebilir. Ölçüm, kullanıcı çerçeveyi alışık olduğu biçimde takmışken alınır ve iki göz için ayrı ayrı yapılır.

Segment iç kayması (inset); Okurken gözler içe döndüğü için segmentler uzak optik merkezlere göre burun tarafına kaydırılır. Tek göz için segment iç kayması, uzak PD ile yakın PD arasındaki farkın yarısıdır. Segmentin kutunun geometrik merkezine göre toplam iç kayması ise çerçeve PD'si ile yakın PD arasındaki farkın yarısıdır.

$$\text{Segment iç kayması (tek göz)} = (PD_{uzak} - PD_{yakın}) / 2$$

Kesimde yatay referans; Düz üstlü bifokallerde segmentin üst çizgisi kesim için en güvenilir yatay referanstır. Cam, segment çizgisi kalıptaki yatay çizgiye paralel ve istenen yükseklikte olacak biçimde yerleştirilir. Reçeteli bifokal cam, silindir aksı segment çizgisine göre doğru açıda olacak şekilde üretilmiştir; kesim sonrası aks yine fokometrede doğrulanır. Segment çizgisi eğik kesilirse hem okuma alanı eğik görünür hem de silindir aksı kayar.

Kontroller; İki segmentin üst çizgisi aynı yükseklikte ve yatay olmalı; segmentler simetrik olarak içe kaymış olmalıdır. Uzak bölümde güç ve aks, segmentte ek güç kontrol edilir. İki gözün gücü farklıysa okuma sırasında segment bölgesinde dikey prizma dengesizliği oluşabileceği unutulmamalıdır; bu durum hekim ve cam üreticisiyle birlikte değerlendirilir.

9.3. Progresif Camlar

Progresif camda montajın tüm referansı, üreticinin cam üzerine koyduğu işaretlerdir. Montaj artısı (fitting cross), kullanıcı uzağa doğal duruşla bakarken pupilla merkezinin tam önüne getirilir (Mattison-Shupnick, 2011).

Ölçüm; Monoküler Pd ve montaj yüksekliği her göz için ayrı alınır; binoküler Pd'nin ikiye bölünmesi progresif camda kabul edilemez. Montaj yüksekliği kutunun alt kenarından pupilla merkezine ölçülür. Pantoskopik açı için ayrıca aşağı alma yapılmaz; eğimin etkisi cam tasarımında dikkate alınmıştır. Kişiselleştirilmiş (serbest form) progresiflerde üretici pantoskopik açı, çerçeve sarım açısı ve verteks uzaklığını ayrıca isteyebilir.

Çerçeve uygunluğu; Seçilen çerçevede montaj artısının altında yakın bölgenin kesilmeden kalacağı kadar yer bulunmalıdır. Her tasarımın üretici tarafından belirtilen bir en küçük montaj yüksekliği vardır; bu değerin altında yakın alan kısmen kesilir.

Kalıp aktarımı ve kesim; Silinebilir işaretler yoksa kalıcı mikro gravürler bulunup üreticinin merkezleme kartı yardımıyla işaretler yeniden çizilir. Kalıp aktarımında demo camdaki pupilla işareti, montaj artısıyla çakıştırılır; progresif camın yatay çizgileri ise demo camın yatay referansına paralel tutulur. Merkezleme kartı üzerinde cam çapının şekli kapsayıp kapsamadığı kontrol edilir.

Kontroller; Montajdan sonra montaj artısı pupilla işaretleriyle çakışmalı, iki camın yatay çizgileri aynı doğrultuda olmalıdır. Uzak güç uzak kontrol dairesinde, ek güç yakın kontrol dairesinde okunur. Prizma referans noktasında okunan prizma, reçetedeki prizma ile inceltme prizmasının toplamına eşit olmalı; inceltme prizması iki gözde eşit ise dengesizlik oluşturmaz. Kontroller bitince silinebilir işaretler, kullanıcıyla son deneme yapılıncaya kadar silinmeyebilir; denemede montaj haçının pupillada olduğu kullanıcının yüzünde doğrulanır ve ardından işaretler alkolle temizlenir.

10. Son Kontrol, Toleranslar ve Teslim

Montajı biten gözlük kullanıcıya verilmeden önce reçeteyle karşılaştırılır, kabul sınırları içinde olduğu doğrulanır ve kullanıcının yüzüne ayarlanır. Doğrulama her zaman reçeteye göre yapılır (Rands, 2024).

10.1. Fokometrede Son Kontrol

1) Gözlük, sapları optisyenden uzağa bakacak şekilde ve iki çember cam masasına eşit dayanacak biçimde fokometreye konur. Çerçevenin bir yanı masadan kalkarsa güç, aks ve prizma okumaları hatalı çıkar (Carlton, 2012).

2) Sağ cam okunur: sph, cyl ve aks reçeteyle karşılaştırılır. Hedef merkezdeyken optik merkez yeniden markürlenir.
3) Gözlük cam masası üzerinde yana kaydırılarak sol cam okunur ve markürlenir. Masa iki okuma arasında kaldırılmaz; böylece iki camın markürleri aynı yatay düzlemde kalır.
4) İki optik merkez arasındaki uzaklık cetvelle ölçülüp Pd ile karşılaştırılır. Optik merkezlerin yüksekliği kutunun alt kenarından ölçülür.
5) Bifokalde ek güç, segment yüksekliği ve iç kaymaları; progresifte montaj artısının konumu, uzak ve yakın güç ile prizma referans noktasındaki prizma kontrol edilir.

10.2. Görsel ve Mekanik Kontrol

1) Cam yüzeylerinde çizik, kaplama hasarı, markür veya taş izi kalmamalıdır.
2) Kenarlar düzgün olmalı; nilör ve fasette görünen kenar parlak ve ufalanmasız olmalıdır.
3) Camlar yuvalarında veya misinada dönmemelidir.
4) İki cam önden bakıldığında simetrik görünmeli, çerçeve ön yüzü düz durmalıdır.
5) Vidalar sıkı, menteşeler düzgün çalışır olmalıdır.

10.3. Kullanıcı Yüzünde Ayar ve Teslim

Son kontrolü geçen gözlük kullanıcıya takılır ve ölçümlerin alındığı konumu koruyacak biçimde ayarlanır:

1) *Yatay duruş;* Çerçeve yüzde yatay durmalıdır. Bir taraf düşükse ilgili sapın açısı veya burun pedi ayarlanır.
2) *Burun pedleri,* Pedler burna eşit yüzeyle oturmalı, iz bırakacak kadar baskı yapmamalıdır.
3) *Verteks uzaklığı:* Kirpikler camlara değmemeli; yüksek güçlü reçetelerde ölçülen uzaklık korunmalıdır.
4) *Saplar:* Kulak üstünden doğal biçimde geçmeli, kulak arkasında baskı yapmadan hafifçe sarmalıdır.
5) *Görme kontrolü:* Kullanıcıdan uzağa ve yakına bakması istenir. Bifokalde segment çizgisinin konumu, progresifte uzak, ara ve yakın alanların rahat bulunduğu sorulur.

Tablo 5. Sık Karşılaşılan Montaj Hataları, Olası Nedenleri ve Çözümleri

Hata	Olası Neden	Önleme / Çözüm
PD birkaç mm küçük ölçülüyor	Kullanıcı optisyenin iki gözünün ortasına bakmış (yakınsama)	Uzak PD'de kullanıcıyı ölçülen gözün karşısındaki açık göze baktırmak
Montaj yüksekliği tutarsız	Göz hizaları farklı; çerçeve ayarsız	Göz hizasını eşitlemek; ölçümden önce ön ayar yapmak
Optik merkezler doğru PD'de ama kullanıcı rahatsız	Binoküler PD ikiye bölünmüş, yüz asimetrik	Monoküler PD ölçmek
Montaj sonrası aks kaymış	Kalıp aktarımında üç noktalı çizgi yatay çizgiye paralel tutulmamış; cam yuvada dönüyor	Aktarımda paralelliği kontrol etmek; camı ölçüsünde kesmek, misina/vida gerginliğini doğrulamak
Cam boyutu ön ve arka yüzde farklı	El taşında cam eğik tutulmuş	Camı taşa dik tutmak, özellikle kalın camlarda
Nilörde cam düşüyor	Kanal sığ, cam küçük ya da misina gevşek	Kanal derinliğini ayarlamak; ölçüye uygun kesmek; misinayı yenilemek
Nilörde kenar kırılıyor	Kanal çok derin, misina aşırı gergin	Derinliği azaltmak; misina uzunluğunu düzeltmek
Fasette delik çevresinde çatlak	Uygun olmayan malzeme, aşırı sıkılmış vida, yüksek devirde delme	Polikarbonat/Trivex seçmek; burç kullanmak; düşük devirde iki yüzden delmek
Plastik çerçevede kabarma	Aşırı ısıtma	Kısa aralıklarla ve kontrollü ısıtmak
Kenarda cam yetmedi	En küçük cam çapı hesaplanmadı	Kesimden önce ED + 2 × desantrasyon + 2 mm kontrolü
Bifokal segmentler eğik	Segment çizgisi yatay referans alınmamış	Kesimde segment çizgisini kalıp yatayına paralel tutmak
Progresifte yakın alan dar veya kesik	Montaj yüksekliği yetersiz çerçeve	Üreticinin en küçük montaj yüksekliğine uygun çerçeve seçmek
Kaplamada çatlama	Kuru taş, aşırı ısınma	Sürekli su ile ve düşük baskıyla çalışmak

Teslimde kullanıcıya gözlüğün iki elle çıkarılıp takılması, camların su ve uygun temizleyiciyle temizlenmesi, gözlüğün camları aşağı bakacak şekilde bırakılmaması ve yüksek sıcaklıktan (ör. araç içi) korunması gerektiği anlatılır. Bifokal ve progresif cam kullanıcılarına alışma sürecinin kısa bir vakit alabileceği, sorun sürerse ölçülerin yeniden kontrol edileceği belirtilir. Nilör kullanıcıları misinanın zamanla gevşeyebileceği, faset kullanıcıları vidaların periyodik olarak kontrol ettirilmesi gerektiği konusunda bilgilendirilir.

Kaynakça

Brooks, C. W. (2003). *Essentials of ophthalmic lens finishing* (2. bs.). Butterworth-Heinemann.

Brooks, C. W. ve Borish, I. M. (2007). *System for ophthalmic dispensing* (3. bs.). Butterworth-Heinemann.

Carlton, J. (2012, Aralık). Understanding prism part 2: Verifying prescribed and unwanted prism. *Eyecare Business*. https://eyecarebusiness.com/issues/2012/december/understanding-prism-part-2-verifying-prescribed-and-unwanted-prism/

Deal, S. (2023, 1 Aralık). *OA corner part 36*. Association of British Dispensing Opticians. https://www.abdo.org.uk/news/oa-corner-part-36/

International Organization for Standardization. (2020). *Ophthalmic optics—Spectacle frames—Measuring system and vocabulary* (ISO Standardı No. 8624:2020).

Jalie, M. (2008). *Ophthalmic lenses and dispensing* (3. bs.). Butterworth-Heinemann.

Kotob, D. (2021, Mayıs). Pantoscopic angle or pantoscopic tilt? *20/20 Magazine*. https://www.2020mag.com/article/pantoscopic-angle-or-pantoscopic-tilt

Mattison-Shupnick, M. (2011, Ekim). Fitting height considerations. *20/20 Magazine*. https://www.2020mag.com/article/fitting-height-considerations

Rands, K. (2024, Ekim). Honing spectacle lens verification expertise. *20/20 Magazine*. https://www.2020mag.com/article/honing-spectacle-lens-verification-expertise

7. Bölüm

Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinde Göz Sağlığı Farkındalığı: Gözlük Kullanım Alışkanlıkları ve Bilgi Düzeyleri*

Osman ARMAĞAN[1], Batuhan NAZLI[2]

ÖZET

Bu çalışmada, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin gözlük kullanımına ilişkin bilgi, farkındalık, tercih ve davranışlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tanımlayıcı ve ilişki arayıcı nitelikteki kesitsel araştırma 325 öğrenci ile yürütülmüş; veriler 20 sorudan oluşan anket formu ile yüz yüze toplanmış ve SPSS 22.0 programında tanımlayıcı istatistikler ve Pearson ki-kare testi ile analiz edilmiştir. Katılımcıların %78,8'i kadındır; %39,1'i gözlük, %4,9'u kontakt lens kullanmakta, %56,0'ı ise herhangi bir optik gereç kullanmamaktadır. Öğrencilerin %64,6'sı göz hastalıkları hakkında bilgi sahibi olduğunu belirtmesine karşın %44,9'u kullandığı gözlük camının türünü bilmemektedir. Gözlük kullanımında en sık bildirilen sorun maddi güçlüklerdir (%52,9). Göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliği; gözlük kullanım amacı, gözlük seçim faktörleri, buğulanma, oksitlenme ve kirlenme sorunlarının bildirimi ve optik terimleri bilme durumu ile anlamlı düzeyde ilişkili bulunmuştur ($p < 0,05$). Cinsiyet ile optik gereç kullanımı arasında ve gözlük kullanım süresi ile görmenin iyileştiği algısı arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır ($p > 0,05$). Bulgular, sağlık alanında öğrenim gören öğrencilerde dahi gözlük camı özellikleri ve optik terminoloji konusunda belirgin bilgi eksiklikleri bulunduğunu ve yapılandırılmış göz sağlığı eğitimlerine gereksinim duyulduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gözlük kullanımı, göz sağlığı, optik farkındalık, kırma kusurları, ki-kare analizi, kesitsel çalışma.

---

*Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 1919B012402724 numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7860-0909

[2] Öğrenci, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Optisyenlik Programı, Karaman, Türkiye.

1. Giriş

Görme, bireyin çevresiyle etkileşiminde, öğrenmede ve iş ile sosyal yaşama katılımda temel rol oynayan duyulardan biridir. Dünya Sağlık Örgütü'nün Dünya Görme Raporu'na göre dünyada en az 2,2 milyar kişi yakın ya da uzak görme bozukluğu ile yaşamakta olup bu olguların en az bir milyarı önlenebilir nitelikte ya da henüz ele alınmamış durumdadır (World Health Organization [WHO], 2019). Düzeltilmemiş kırma kusurları, küresel ölçekte görme bozukluğunun önde gelen nedenleri arasında yer almakta ve basit, düşük maliyetli bir müdahale olan gözlükle büyük ölçüde giderilebilmektedir (Naidoo vd., 2016; GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators, 2021).

Kırma kusurları içinde miyopi, özellikle genç nüfusta hızla artan bir halk sağlığı sorunu hâline gelmiştir. Holden vd. (2016), 2050 yılında dünya nüfusunun yaklaşık yarısının miyop, yaklaşık %10'unun ise yüksek miyop olacağını öngörmüştür. Uzun süreli yakın çalışma, açık havada geçirilen sürenin azalması ve dijital ekran kullanımının artışı bu eğilimle ilişkilendirilen başlıca çevresel etkenlerdir (Morgan vd., 2012; Huang vd., 2015). COVID-19 salgını sırasında evde kalma uygulamalarının çocuklarda miyopik kaymayı hızlandırdığını gösteren bulgular da bu ilişkiyi desteklemektedir (Wang vd., 2021).

Gözlük; kırma kusurlarını düzelterek net ve konforlu görme sağlamanın yanı sıra, düzeltilmemiş kusurlara bağlı göz yorgunluğu ve baş ağrısı gibi yakınmaların azalmasına, okuma, yazma ve araç kullanma gibi günlük etkinliklerde güvenlik ve performansın artmasına katkı sağlar (Benjamin, 2006; Rosenfield, 2011). Ultraviyole (UV) filtreli camlar ve güneş gözlükleri ise UV ışınlarının katarakt ve pterjium gibi göz hastalıklarıyla ilişkili zararlı etkilerine karşı koruma sunar (Yam ve Kwok, 2014). Bununla birlikte gözlükten beklenen yararın elde edilebilmesi; doğru reçete, uygun cam ve çerçeve seçimi, düzenli kontrol ve kullanıcı uyumuna bağlıdır. Maliyet, estetik kaygılar ve bilgi eksikliği gözlük kullanımının önündeki başlıca engeller olarak bildirilmektedir (Ayanniyi vd., 2010; Ebeigbe vd., 2013).

Üniversite öğrencileri; yoğun okuma yükü, uzun süreli dijital ekran kullanımı ve yaşam tarzındaki değişiklikler nedeniyle görme sorunları açısından dikkat çeken bir gruptur. Sağlık alanında öğrenim gören öğrenciler ise gelecekte topluma sağlık hizmeti sunacak ve sağlık eğitimi verecek bireyler olmaları nedeniyle ayrıca önem taşımaktadır. Ulusal literatürde göz sağlığı okuryazarlığı ve kontakt lens kullanımı gibi konularda çalışmalar bulunmakla birlikte (Şengör vd., 2018; Abdianwall ve Doğan, 2019; Altunsoy vd., 2025), sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin gözlük kullanımına yönelik bilgi, tutum ve davranışlarını bütüncül biçimde ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu bölümde, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında yürütülen bir araştırmanın bulguları sunulmaktadır. Araştırmada Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Merkez Kampüsü Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin gözlük kullanımına ilişkin bilgi ve farkındalık düzeylerinin, tercihlerinin ve karşılaştıkları sorunların belirlenmesi; bilgi sahipliği ve cinsiyetin bu değişkenlerle ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bölümde önce kavramsal çerçeve özetlenmekte, ardından yöntem, bulgular ve bulguların literatür ışığında tartışması sunulmaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Kırma Kusurları ve Gözlükle Düzeltilmesi

Emetrop bir gözde, akomodasyon gevşek iken uzaktan gelen paralel ışınlar retina üzerinde odaklanır. Bu koşulun sağlanamadığı durumlar kırma kusuru (ametropi) olarak adlandırılır. Miyopide ışınlar retinanın önünde odaklanır ve uzak görme bulanıklaşır; hipermetropide odak retinanın arkasındadır ve özellikle yakın çalışmada zorlanma ortaya çıkar. Astigmatizmada kornea ya da lensin farklı meridyenlerdeki kırma gücü eşit olmadığından görüntü tek bir noktada odaklanamaz. Presbiyopi ise yaşla birlikte akomodasyon yeteneğinin azalmasına bağlı olarak yakın görmenin güçleşmesidir (Benjamin, 2006; Rosenfield ve Logan, 2009). Miyopide konkav (ıraksak), hipermetropide konveks (yakınsak), astigmatizmada silindirik ya da torik camlar kullanılırken; presbiyopide tek odaklı okuma gözlükleri, bifokal ya da progresif camlar tercih edilmektedir (Wolffsohn ve Davies, 2019).

Yüksek miyopi; miyopik makülopati, retina dekolmanı ve glokom gibi görmeyi tehdit eden komplikasyonların riskini artırdığından, kırma kusurlarının erken tanınması ve uygun biçimde düzeltilmesi yalnızca görme konforu değil, uzun dönem göz sağlığı açısından da önemlidir (Morgan vd., 2012). Dünya genelinde düzeltilmemiş kırma kusuru nedeniyle görme bozukluğu yaşayan kişi sayısının yüz milyonlarla ifade edilmesi, gözlüğe erişimin ve gözlük kullanımına uyumun küresel bir öncelik olduğunu göstermektedir (Resnikoff vd., 2008; Bourne vd., 2017).

2.2. Gözlük Camı Teknolojileri ve Temel Optik Kavramlar

Gözlük camları malzeme açısından inorganik (mineral) ve organik camlar olarak sınıflandırılır. İnorganik camlar yüksek çizilme direnci ve optik berraklık sunmakla birlikte ağır ve kırılgandır. CR-39, polikarbonat ve yüksek indisli plastikler gibi organik camlar ise hafiflikleri ve darbeye dayanıklılıkları nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan camlardır (Jalie, 2008). Cam yüzeyine uygulanan antirefle kaplamalar yansımaları azaltarak görüntü

kontrastını ve estetik görünümü iyileştirir; sertleştirici, su ve yağ itici kaplamalar ise çizilme, kirlenme ve buğulanmaya bağlı sorunları azaltmayı amaçlar.

Tasarım açısından tek odaklı camlar tek bir mesafe için düzeltme sağlarken, bifokal camlar uzak ve yakın için iki ayrı optik bölge içerir. Progresif camlar ise uzaktan yakına doğru kademeli olarak artan kırma gücü sayesinde uzak, ara ve yakın mesafelerde kesintisiz görme sunar (Meister ve Fisher, 2008). Gözlüğün doğru hazırlanmasında, irisin ortasında yer alan ve göze giren ışık miktarını düzenleyen açıklık olan pupilla temel bir referans noktasıdır; camların optik merkezleri pupillalar arası mesafeye göre konumlandırılmadığında istenmeyen prizmatik etkiler ve görsel rahatsızlık ortaya çıkabilir. Odak noktası ise bir mercekten geçen ışınların kırıldıktan sonra toplandığı noktayı ifade eder. Bu kavramlara ilişkin temel bilgi, kullanıcıların optisyenle etkili iletişim kurabilmesi ve bilinçli tercih yapabilmesi açısından önemlidir.

2.3. Dijital Ekran Kullanımı ve Mavi Işık Tartışması

Dijital cihaz kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte göz yorgunluğu, kuruluk, bulanık görme ve baş ağrısı gibi yakınmaları kapsayan dijital göz yorgunluğu (bilgisayarla görme sendromu) önemli bir sorun hâline gelmiştir. Sheppard ve Wolffsohn (2018), bu tablonun dijital cihaz kullanıcılarında oldukça yaygın olduğunu; düzeltilmemiş ya da yetersiz düzeltilmiş kırma kusurlarının ve göz kırpma sıklığındaki azalmanın yakınmalara katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Rosenfield (2011) de küçük kırma kusurlarının bile uygun biçimde düzeltilmesinin semptomları azaltmada önemli olduğunu vurgulamıştır.

Son yıllarda mavi ışık filtreli camlar, dijital ekranlardan yayılan kısa dalga boylu ışığın zararlarından koruduğu iddiasıyla yoğun biçimde pazarlanmaktadır. Ancak mevcut kanıtlar bu iddiaları desteklememektedir. On yedi randomize kontrollü çalışmayı kapsayan Cochrane derlemesi, mavi ışık filtreli camların bilgisayar kullanımına bağlı göz yorgunluğunu kısa dönemde azaltmadığını, görme keskinliği üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ve uyku kalitesine etkisinin belirsiz olduğunu ortaya koymuştur (Singh vd., 2023). Daha önceki bir sistematik derleme de benzer sonuçlara ulaşmıştır (Lawrenson vd., 2017). Bu durum, kullanıcıların cam tercihlerinin bilimsel kanıttan çok pazarlama söylemlerinden etkilenebileceğini düşündürmektedir.

2.4. Göz Sağlığı Okuryazarlığı ve Gözlük Kullanımına Yönelik Tutumlar

Sağlık okuryazarlığı, bireylerin sağlıkla ilgili bilgiye erişme, bu bilgiyi anlama, değerlendirme ve sağlıklarıyla ilgili kararlarda kullanma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Nutbeam, 2000; Sørensen vd., 2012). Göz sağlığı

okuryazarlığı bu kavramın göz ve görme sağlığına özgü boyutunu ifade eder ve Türkiye'de bu alanda geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı geliştirilmiştir (Yılmaz vd., 2019). Görme gereci kullanıcılarıyla yapılan bir çalışmada göz sağlığı okuryazarlığının cinsiyet, yaş, eğitim, gelir, muayene sıklığı, kullanılan görme gereci ve bilgi kaynağına göre farklılaştığı; bilgiyi göz hekiminden edinenlerin okuryazarlık düzeyinin internet ve sosyal medyadan edinenlere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Altunsoy vd., 2025).

Gözlük kullanımına yönelik tutumlar da uyumu belirleyen önemli bir etkendir. Nijerya'da 500 üniversite öğrencisiyle yapılan bir çalışmada katılımcıların yaklaşık üçte ikisinin kırma kusuru kavramını hiç duymadığı ve yalnızca yarısının hekim önerdiğinde gözlük kullanacağını belirttiği saptanmıştır (Ebeigbe vd., 2013). Güney Afrika'da üniversite öğrencileriyle yürütülen bir çalışmada ise öğrencilerin görme bozukluğunun nedenleri hakkında bilgili olmalarına karşın gözlüklerini gerektiği sıklıkta kullanmadıkları belirlenmiştir (Ebrahim Khan vd., 2022). Gözlük kullanıcılarıyla yapılan çalışmalar yüksek maliyetin en sık karşılaşılan güçlük olduğunu göstermektedir (Ayanniyi vd., 2010). Türkiye'de yapılan bir çalışmada kontakt lens kullanıcılarının yalnızca %55,5'inin doğru kullanım konusunda göz hekiminden eğitim aldığı belirlenmiş ve bilinçli kullanım için yapılandırılmış bilgilendirmenin gerekliliği vurgulanmıştır (Şengör vd., 2018).

3. YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Türü ve Hipotezleri

Araştırma, tanımlayıcı ve ilişki arayıcı nitelikte kesitsel bir çalışma olarak tasarlanmış ve TÜBİTAK 2209-A programı kapsamında 08.04.2025–08.04.2026 tarihleri arasında yürütülmüştür. Araştırmada aşağıdaki hipotezler test edilmiştir:

H1: Göz hastalıkları hakkında bilgi sahibi olan öğrencilerin gözlük kullanım amacı, gözlük seçimi ve kullanım sürecinde yaşadıkları sorunlar, bilgi sahibi olmayanlardan anlamlı düzeyde farklıdır.

H2: Göz hastalıkları hakkında bilgi sahibi olan öğrencilerin optik terimleri bilme oranı daha yüksektir.

H3: Kadın ve erkek öğrenciler arasında optik gereç (gözlük/lens) kullanım oranı farklılık gösterir.

H4: Gözlük kullanım süresi arttıkça gözlüğün görmeyi iyileştirdiğini belirtme oranı artar.

3.2. Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Merkez Kampüsü Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulunda öğrenim gören yaklaşık

2300 öğrenci oluşturmaktadır. Örneklem büyüklüğü, evreni bilinen durumlar için kullanılan aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004):

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + t^2 \cdot p \cdot q} = \frac{2300 \cdot 1{,}96^2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5}{0{,}05^2 \cdot 2299 + 1{,}96^2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5} \approx 329$$

Formülde n örneklem büyüklüğünü, N evrendeki birey sayısını (2300), p incelenen olayın görülme olasılığını (0,5), q görülmeme olasılığını (0,5), t %95 güven düzeyindeki teorik değeri (1,96) ve d kabul edilen hata payını (0,05) göstermektedir. Bu değerlerle en az örneklem büyüklüğü 329 olarak hesaplanmıştır. Araştırma, çalışmaya katılan ve analize uygun veri sağlayan 325 öğrenci ile tamamlanmıştır. Bu sayı, hesaplanan örneklem büyüklüğünün %98,8'ine karşılık gelmekte ve %95 güven düzeyinde yaklaşık ±%5 hata payı sağlamaktadır.

3.3. Veri Toplama Aracı ve Süreci

Veriler, araştırmacılar tarafından hazırlanan 20 soruluk anket formu ile yüz yüze toplanmıştır. Formda katılımcıların sosyodemografik özelliklerine (cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, gelir, göz muayenesi için tercih edilen sağlık kurumu ve sosyal güvence) ilişkin sorular ile göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliği, optik gereç kullanımı, gözlük türü, kullanım amacı ve süresi, gözlüğün görmeye etkisine ilişkin algı, gözlük seçiminde etkili faktörler, karşılaşılan sorunlar, optik mağaza ve cam tercihi ile temel optik terimlere (pupilla, odak noktası, bifokal cam, progresif cam) ilişkin bilgiyi sorgulayan sorular yer almaktadır. Bazı sorularda birden fazla seçenek işaretlenebilmektedir.

3.4. Verilerin Analizi

Veriler SPSS 22.0 paket programı ile analiz edilmiştir. Kategorik değişkenler sayı (n) ve yüzde (%) ile özetlenmiş; değişkenler arasındaki ilişkiler çapraz tablolar ve Pearson ki-kare (χ^2) testi ile incelenmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0{,}05$ olarak kabul edilmiştir.

3.5. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırma için Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulundan (01-2024/15 karar ve sayılı) onay alınmıştır. Katılımcılar çalışmanın amacı hakkında bilgilendirilmiş ve veriler gönüllülük esasına göre toplanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Katılımcıların Sosyodemografik Özellikleri

Katılımcıların %78,8'i kadın, %21,2'si erkektir. Öğrencilerin büyük çoğunluğu 16–26 yaş grubunda (%96,3), bekâr (%97,2) ve ön lisans öğrencisidir (%96,3). Aylık gelir açısından en büyük grubu 3500 TL ve üzeri gelire sahip olanlar (%37,2) oluşturmaktadır. Göz muayenesi için en sık tercih edilen kurum kamu hastaneleri (%55,7) olup bunu üniversite hastaneleri (%23,1) izlemektedir. Katılımcıların %45,8'i aile sigortası, %29,2'si SGK kapsamında olup %14,5'inin herhangi bir sosyal güvencesi bulunmamaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcıların sosyodemografik özellikleri (n = 325)

Değişken	Grup	n	%
Cinsiyet	Kadın	256	78,8
	Erkek	69	21,2
Yaş	16–26	313	96,3
	27–35	12	3,7
Medeni durum	Bekâr	316	97,2
	Evli	9	2,8
Eğitim durumu	Lise	1	0,3
	Ön lisans	313	96,3
	Lisans	9	2,8
	Yüksek lisans	2	0,6
Aylık gelir düzeyi	≤ 999 TL	42	12,9
	1000–1499 TL	38	11,7
	1500–2499 TL	37	11,4
	2500–3499 TL	87	26,8
	≥ 3500 TL	121	37,2
Göz muayenesi için tercih edilen kurum	Kamu hastanesi	181	55,7
	Üniversite hastanesi	75	23,1
	Aile hekimi	32	9,8
	Özel hastane	30	9,2
	Muayenehane	7	2,2
Sosyal güvence durumu	Aile sigortası	149	45,8
	SGK	95	29,2
	Yok	47	14,5
	Yeşil kart	26	8,0
	Özel sigorta	6	1,8
	Ücretli GSS	2	0,6

4.2. Gözlük Kullanımı, Bilgi ve Farkındalık Düzeyi

Öğrencilerin %64,6'sı göz hastalıkları ve gözlük hakkında bilgi sahibi olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların %39,1'i gözlük, %4,9'u kontakt lens kullanırken %56,0'ı herhangi bir optik gereç kullanmamaktadır. Gözlük türü sorusunda en yüksek oran %48,0 ile "diğer" seçeneğine aittir; bunu miyop (%30,8) ve miyop + astigmat (%16,6) izlemektedir. Gözlük kullanım amacı olarak korunma (%42,2) ve görme düzeltme (%39,1) öne çıkarken, öğrencilerin %15,7'si estetik amaçla gözlük kullandığını belirtmiştir. Optik gereç kullanmayan öğrencilerin de bu soruları yanıtlamış olması, gözlük kullanımına ilişkin soruların güneş gözlüğü ve koruyucu gözlükleri de kapsayacak biçimde algılandığını düşündürmektedir.

Katılımcıların yarıdan fazlası (%52,6) bir yıldan kısa süredir gözlük kullanmaktadır ve %64,0'ı gözlüğün görmesini iyileştirdiğini ifade etmiştir. Gözlük seçiminde estetik (%33,8) ve cam/çerçeve kalitesi (%33,2) en belirleyici faktörlerdir. En sık bildirilen sorunlar maddi güçlükler (%52,9) ve camların kirlenmesidir (%37,8). Optik mağaza tercihinde tanıdık işletmeler (%45,8) ve zincir mağazalar (%41,5) öne çıkmaktadır. Öğrencilerin %44,9'u kullandığı cam türünü bilmediğini belirtmiş; en sık işaretlenen cam türü mavi ışık filtreli cam (%34,5) olmuştur. Optik terimler içinde en çok bilinenler odak noktası (%54,2) ve pupilla (%45,2) iken, bifokal ve progresif cam terimlerini bilenlerin oranı yalnızca %14,2'dir; öğrencilerin %34,2'si bu terimlerin hiçbirini bilmemektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Öğrencilerin gözlük kullanımı, bilgi ve farkındalık düzeyine ilişkin bulgular (n = 325)

Değişken	Kategori	n	%
Gözlük türü	Miyop	100	30,8
	Hipermetrop	9	2,8
	Miyop + astigmat	54	16,6
	Hipermetrop + astigmat	6	1,8
	Diğer	156	48,0
Göz hastalığı/gözlük hakkında bilgi sahipliği	Evet	210	64,6
	Hayır	115	35,4
Optik gereç kullanımı	Gözlük	127	39,1
	Kontakt lens	16	4,9
	Hiçbiri	182	56,0
Gözlük kullanım amacı	Görme düzeltme	127	39,1
	Korunma	137	42,2
	Estetik	51	15,7

Değişken	Kategori	n	%
	Diğer	10	3,1
Gözlük kullanım süresi	< 1 ay	84	25,8
	1–6 ay	41	12,6
	6 ay–1 yıl	46	14,2
	1–3 yıl	67	20,6
	3–6 yıl	40	12,3
	6–8 yıl	16	4,9
	8–10 yıl	9	2,8
	≥ 10 yıl	22	6,8
Gözlük görmeyi iyileştirdi mi?	Evet	208	64,0
	Hayır	117	36,0
Gözlük seçiminde etkili faktörler	Estetik	110	33,8
	Cam/çerçeve kalitesi	108	33,2
	Fiyat	53	16,3
	Optisyen önerisi	39	12,0
	Diğer	15	4,6
Gözlük kullanımında karşılaşılan sorunlar	Maddi	172	52,9
	Kirlenme	123	37,8
	Buğulanma	64	19,7
	Bakış açısı	38	11,7
	Oksitlenme	18	5,5
Optik mağaza tercihi	Tanıdık işletme	149	45,8
	Zincir mağaza	135	41,5
	Küçük işletme	40	12,3
	Reklamlar	37	11,4
Gözlük camı tercihi	Mavi ışık filtreli	112	34,5
	Organik cam	43	13,2
	İnorganik cam	15	4,6
	Antirefle	9	2,8
	Bilmiyor	146	44,9
Optik terim bilgisi	Odak noktası	176	54,2
	Pupilla	147	45,2
	Bifokal cam	46	14,2
	Progresif cam	46	14,2
	Hiçbiri	111	34,2

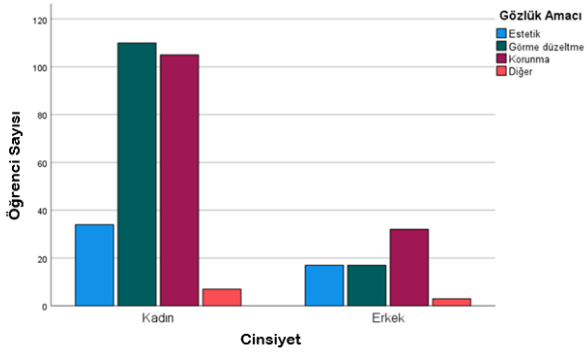
4.3. Cinsiyete Göre Gözlük Kullanımına İlişkin Değişkenler

Cinsiyet ile gözlük kullanımına ilişkin değişkenler arasındaki ilişkiler Tablo 3'te sunulmuştur. Cinsiyet ile gözlük türü, bilgi sahipliği, gözlük kullanım süresi ve gözlük seçim faktörleri arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır ($p > 0,05$). Buna karşılık cinsiyet ile gözlük kullanım amacı ($\chi^2 = 9,971$; $p = 0,019$) ve gözlük camı tercihi ($\chi^2 = 9,828$; $p = 0,043$) arasında anlamlı ilişki saptanmıştır. Kadın öğrencilerde görme düzeltme ve korunma amaçlı kullanım birbirine yakın ve yüksek düzeydeyken, erkek öğrencilerde korunma amacı belirgin biçimde öne çıkmakta ve estetik amaçlı kullanım görece daha yüksek bulunmaktadır (Şekil 1). Cam tercihinde ise kadın öğrencilerde cam türünü bilmeme ve mavi ışık filtreli cam tercihi ağırlıktayken, erkek öğrencilerde organik ve inorganik cam tercihinin payı görece daha yüksektir (Şekil 2).

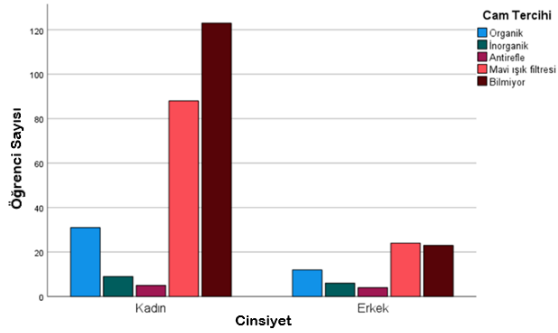
Tablo 3. Cinsiyet ile gözlük kullanımına ilişkin değişkenler arasındaki ki-kare analizi sonuçları

Değişkenler	χ^2	sd	p	Sonuç
Cinsiyet × Gözlük türü	6,635	4	0,156	Anlamlı değil
Cinsiyet × Bilgi sahipliği	0,161	1	0,688	Anlamlı değil
Cinsiyet × Gözlük kullanım amacı	9,971	3	0,019	**Anlamlı**
Cinsiyet × Gözlük kullanım süresi	8,400	7	0,299	Anlamlı değil
Cinsiyet × Gözlük seçim faktörü	2,393	4	0,664	Anlamlı değil
Cinsiyet × Gözlük camı tercihi	9,828	4	0,043	**Anlamlı**

Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.



Şekil 1. Cinsiyet ile gözlük kullanım amacı arasındaki ilişki



Şekil 2. Cinsiyet ile gözlük camı tercihi arasındaki ilişki

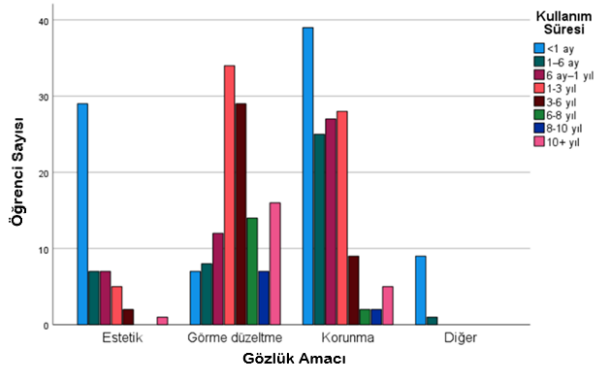
4.4. Gözlük Kullanımına İlişkin Değişkenler Arasındaki İlişkiler

Gözlük kullanım amacı, gözlük türü ve kullanım süresi arasındaki ilişkiler Tablo 4'te verilmiştir. Üç ilişkinin tamamı istatistiksel olarak anlamlıdır (p < 0,001). Estetik amaçlı kullananlarda bir aydan kısa kullanım süresi belirgin biçimde baskınken, korunma amaçlı kullananlarda süreler ağırlıkla üç yılın altında yoğunlaşmakta, görme düzeltme amacıyla kullananlarda ise bir yıl ve üzeri kullanım süreleri daha sık görülmektedir (Şekil 3). Görme düzeltme amacıyla gözlük kullananlarda miyop ve miyop + astigmat türleri öne çıkarken, korunma ve estetik amaçlı kullananlarda "diğer" kategorisi baskındır (Şekil 4). Benzer şekilde miyop ve miyop + astigmat gözlük kullananlar daha uzun süreli kullanıcılardır; "diğer" grubunda ise bir aydan kısa kullanım ağırlık taşımaktadır (Şekil 5). Bu örüntüler, "diğer" kategorisinin büyük ölçüde numarasız (güneş, koruyucu ya da aksesuar amaçlı) gözlükleri temsil ettiğini düşündürmektedir.

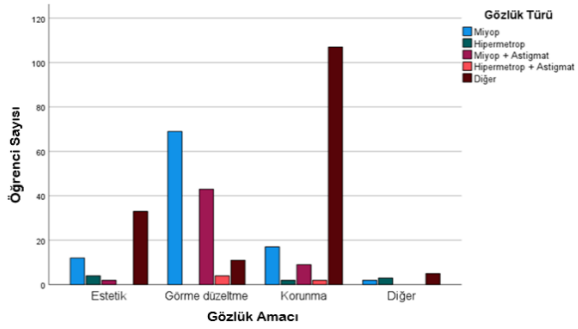
Tablo 4. Gözlük kullanımına ilişkin değişkenler arasındaki ki-kare analizi sonuçları

Değişkenler	χ^2	**sd**	p	**Sonuç**
Kullanım amacı × Kullanım süresi	128,776	21	< 0,001	**Anlamlı**
Kullanım amacı × Gözlük türü	184,894	12	< 0,001	**Anlamlı**
Gözlük türü × Kullanım süresi	90,795	28	< 0,001	**Anlamlı**

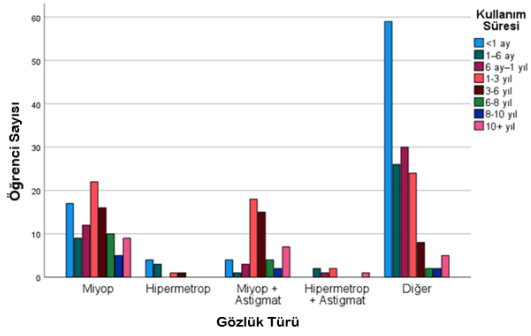
Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; p < 0,05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.



Şekil 3. Gözlük kullanım amacı ile kullanım süresi arasındaki ilişki



Şekil 4. Gözlük kullanım amacı ile gözlük türü arasındaki ilişki



Şekil 5. Gözlük türü ile kullanım süresi arasındaki ilişki

4.5. Cinsiyet ile Gözlük Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar

Cinsiyet ile gözlük kullanımında karşılaşılan sorunlar arasındaki ilişkiler Tablo 5'te verilmiştir. Yalnızca maddi sorunlar ile cinsiyet arasında anlamlı ilişki

saptanmış (χ^2 = 4,173; p = 0,041), kadın öğrencilerin maddi sorun bildirme oranının erkek öğrencilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buğulanma, oksitlenme, kirlenme, bakış açısı, optisyen davranışı, doktor kaynaklı sorunlar ve optisyen kaynaklı teknik hatalar ile cinsiyet arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır (p > 0,05).

Tablo 5. Cinsiyet ile gözlük kullanımında karşılaşılan sorunlar arasındaki ilişki

Sorun türü	χ^2	sd	p	Sonuç
Maddi sorun	4,173	1	0,041	**Anlamlı**
Buğulanma	1,498	1	0,221	Anlamlı değil
Oksitlenme	0,011	1	0,916	Anlamlı değil
Kirlenme	0,001	1	0,975	Anlamlı değil
Bakış açısı	0,665	1	0,415	Anlamlı değil
Optisyen davranışı	0,567	1	0,452	Anlamlı değil
Doktor kaynaklı sorun	0,014	1	0,905	Anlamlı değil
Optisyen kaynaklı teknik hata	0,816	1	0,366	Anlamlı değil

Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; p < 0,05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

4.6. Hipotezlerin Test Edilmesi

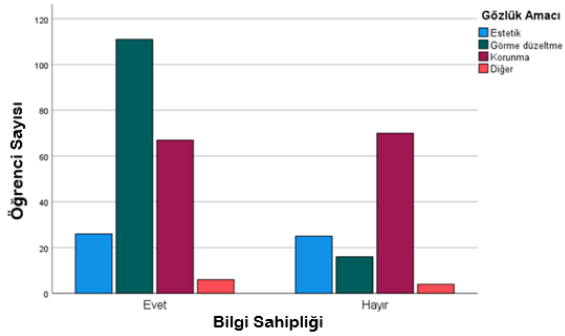
4.6.1. Bilgi sahipliği ve gözlük kullanım davranışları (H1)

Göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliği ile gözlük kullanım amacı, gözlük seçim faktörü ve kullanım sürecinde yaşanan sorunlar arasındaki ilişkiler Tablo 6'da sunulmuştur. Bilgi sahipliği ile incelenen tüm değişkenler arasında anlamlı ilişki bulunmuştur (p < 0,05). Bilgi sahibi öğrencilerin %52,9'u gözlüğü görme düzeltme amacıyla kullanırken, bilgi sahibi olmayan öğrencilerde korunma amaçlı kullanım belirgin biçimde öne çıkmakta ve estetik amaçlı kullanım görece daha yüksek bulunmaktadır (Şekil 6). Gözlük seçiminde bilgi sahibi öğrenciler için cam/çerçeve özellikleri ve optisyen önerisi daha belirleyici iken, bilgi sahibi olmayanlarda estetik ve fiyat faktörleri baskındır (Şekil 7). Bilgi sahibi öğrenciler buğulanma (Şekil 8), oksitlenme (Şekil 9) ve kirlenme (Şekil 10) sorunlarını bilgi sahibi olmayanlara göre daha yüksek oranda bildirmiştir. Bu bulgular doğrultusunda H1 hipotezi kabul edilmiştir.

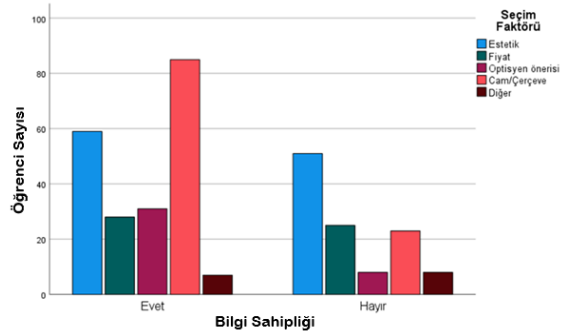
Tablo 6. Bilgi sahipliği ile gözlük kullanımına ilişkin davranışlar arasındaki ilişkiler (H1)

Değişkenler	χ^2	sd	*p*	Sonuç
Bilgi sahipliği × Gözlük kullanım amacı	47,869	3	< 0,001	**Anlamlı**
Bilgi sahipliği × Gözlük seçim faktörü	24,280	4	< 0,001	**Anlamlı**
Bilgi sahipliği × Buğulanma sorunu	11,542	1	0,001	**Anlamlı**
Bilgi sahipliği × Oksitlenme sorunu	4,911	1	0,027	**Anlamlı**
Bilgi sahipliği × Kirlenme sorunu	12,067	1	0,001	**Anlamlı**

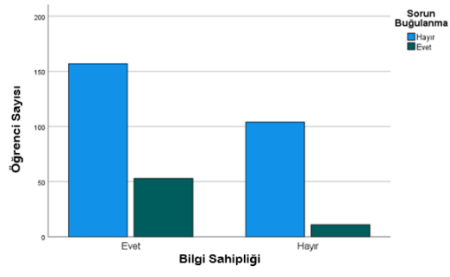
Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.



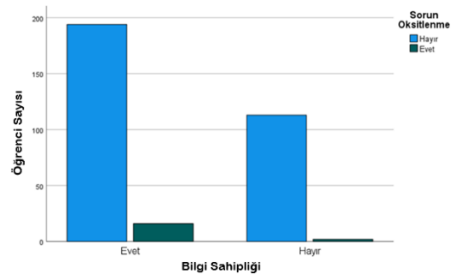
Şekil 6. Bilgi sahipliği ile gözlük kullanım amacı arasındaki ilişki



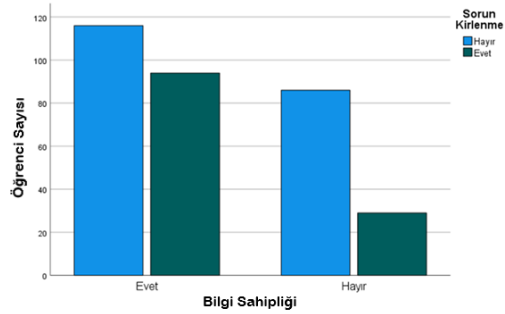
Şekil 7. Bilgi sahipliği ile gözlük seçiminde etkili faktörler arasındaki ilişki



Şekil 8. Bilgi sahipliği ile buğulanma sorunu arasındaki ilişki



Şekil 9. Bilgi sahipliği ile oksitlenme sorunu arasındaki ilişki



Şekil 10. Bilgi sahipliği ile kirlenme sorunu arasındaki ilişki

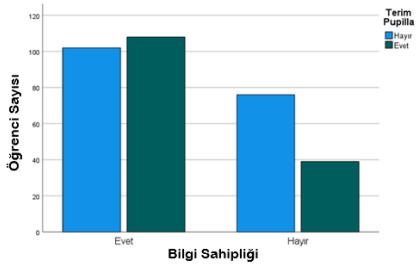
4.6.2. Bilgi sahipliği ve optik terim bilgisi (H2)

Bilgi sahipliği ile optik terimleri bilme durumu arasındaki ilişkiler Tablo 7'de verilmiştir. Bilgi sahibi öğrencilerde pupilla terimini bilme oranı %51,4 iken bilgi sahibi olmayanlarda %33,9'dur (Şekil 11). Odak noktası terimi için bu oranlar sırasıyla %61,0 ve %41,7'dir (Şekil 12). Bilgi sahibi öğrencilerin %20,5'i bifokal cam ve progresif cam terimlerini bilirken, bu oran bilgi sahibi olmayanlarda yalnızca %2,6'dır (Şekil 13, Şekil 14). Dört terimin tamamında fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve H2 hipotezi kabul edilmiştir.

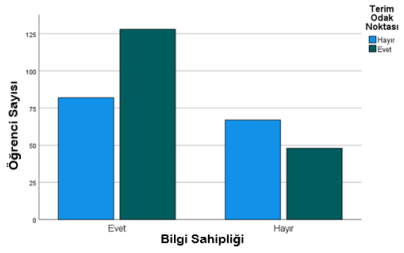
Tablo 7. Bilgi sahipliği ile optik terimleri bilme durumu arasındaki ilişkiler (H2)

Optik terim	**χ^2**	**sd**	***p***	**Sonuç**
Pupilla	9,203	1	0,002	**Anlamlı**
Odak noktası	11,048	1	0,001	**Anlamlı**
Bifokal cam	19,524	1	< 0,001	**Anlamlı**
Progresif cam	19,524	1	< 0,001	**Anlamlı**

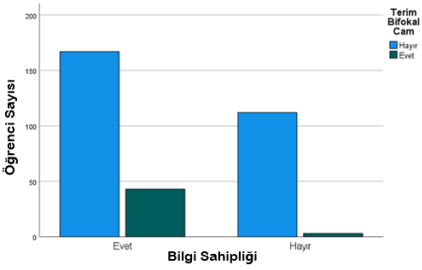
Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.



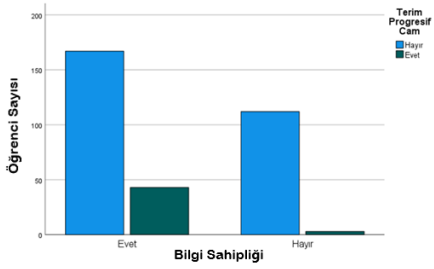
Şekil 11. Bilgi sahipliği ile pupilla terimini bilme durumu arasındaki ilişki



Şekil 12. Bilgi sahipliği ile odak noktası terimini bilme durumu arasındaki ilişki



Şekil 13. Bilgi sahipliği ile bifokal cam terimini bilme durumu arasındaki ilişki



Şekil 14. Bilgi sahipliği ile progresif cam terimini bilme durumu arasındaki ilişki

4.6.3. Cinsiyet ve optik gereç kullanımı (H3)

Cinsiyet ile optik gereç kullanımı (gözlük, lens, hiçbirini kullanmama) arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır ($\chi^2 = 0{,}956$; sd = 2; $p = 0{,}620$). Kadın ve erkek öğrenciler arasında gözlük, lens ya da herhangi bir optik gereç kullanmama durumlarının dağılımı benzerdir. Bu nedenle H3 hipotezi reddedilmiştir.

4.6.4. Kullanım süresi ve algılanan görme iyileşmesi (H4)

Gözlük kullanım süresi ile gözlüğün görmeyi iyileştirdiğini belirtme durumu arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır ($\chi^2 = 8{,}380$; sd = 7; $p = 0{,}300$). Çapraz tablo incelendiğinde, bir aydan kısa süredir gözlük kullananlarda görmenin iyileştiğini belirtenlerin oranı %54,8 olup orta süreli kullanım gruplarında (1–6 ay, 6 ay–1 yıl, 1–3 yıl) benzer oranlar gözlenmiştir. Altı yıl ve üzeri kullanıcılarda belirgin bir artış görülmemiş, 10 yıl ve üzeri grupta ise “evet” ve “hayır” yanıtları eşit dağılmıştır. Kullanım süresi ile algılanan iyileşme arasında düzenli bir artış eğilimi bulunmadığından H4 hipotezi reddedilmiştir. Hipotez testlerinin özeti Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Araştırma hipotezlerinin test sonuçlarına ilişkin özet

Hipotez	Test edilen ilişki	χ^2	sd	*p*	Karar
H1	Bilgi sahipliği × Kullanım amacı, seçim faktörü ve sorunlar	4,911–47,869	1–4	≤ 0,027	**Kabul**
H2	Bilgi sahipliği × Optik terim bilgisi	9,203–19,524	1	≤ 0,002	**Kabul**
H3	Cinsiyet × Optik gereç kullanımı	0,956	2	0,620	Ret
H4	Kullanım süresi × Görmenin iyileştiği algısı	8,380	7	0,300	Ret

Pearson ki-kare testi uygulanmıştır; $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin gözlük kullanımına ilişkin bilgi, farkındalık, tercih ve sorunları incelenmiş; göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliğinin gözlük kullanım amacı, seçimi, sorun algısı ve optik terminoloji bilgisiyle güçlü biçimde ilişkili olduğu, cinsiyetin ise kullanım amacı, cam tercihi ve maddi sorunlar dışında belirleyici olmadığı saptanmıştır.

Örneklemde kadın öğrencilerin ağırlıkta olması (%78,8), sağlık hizmetleri meslek yüksekokullarındaki öğrenci profiliyle uyumludur ve bulguların genellenebilirliği değerlendirilirken dikkate alınmalıdır. Katılımcıların büyük çoğunluğunun 16–26 yaş grubunda ve ön lisans öğrencisi olması, çalışmanın yoğun dijital ekran maruziyetinin bulunduğu ve miyopinin yaygın görüldüğü bir yaş grubunu yansıttığını göstermektedir (Holden vd., 2016; Sheppard ve Wolffsohn, 2018). Göz muayenesi için en sık kamu hastanelerinin tercih edilmesi ve öğrencilerin çoğunun aile sigortası kapsamında olması, bu yaş grubunda sağlık hizmetine erişimde kamu sağlık sisteminin ve aile üzerinden sağlanan güvencenin belirleyici olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte her yedi öğrenciden birinin herhangi bir sosyal güvencesinin bulunmaması, göz muayenesi ve gözlük temininde maddi engellerin önemini artırmaktadır.

Düzeltici gözlük türleri içinde miyop ve miyop + astigmatın baskın olması, genç erişkinlerde miyopinin en sık kırma kusuru olduğunu bildiren literatürle uyumludur (Morgan vd., 2012; Holden vd., 2016). Hipermetropinin düşük oranda bildirilmesi, genç bireylerde güçlü akomodasyon nedeniyle hafif hipermetropinin belirti vermeyebilmesi ve tanı almama olasılığıyla açıklanabilir (Benjamin, 2006). Gözlük türünde "diğer" seçeneğinin yüksekliği (%48,0) ise iki biçimde yorumlanabilir. Kullanım amacı ve süresiyle birlikte değerlendirildiğinde bu grubun büyük ölçüde numarasız güneş, koruyucu ya da aksesuar gözlükleri kapsadığı görülmektedir (Şekil 4, Şekil 5); öte yandan bazı öğrencilerin kendi

kırma kusurunun türünü bilmemesi de bu orana katkıda bulunmuş olabilir. Her iki olasılık da gözlük türlerine ilişkin farkındalığın güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Öğrencilerin yaklaşık üçte ikisi kendini göz hastalıkları konusunda bilgili olarak tanımlamasına karşın, %44,9'unun kullandığı camın türünü bilmemesi ve %34,2'sinin temel optik terimlerin hiçbirini bilmemesi, öznel bilgi algısı ile gerçek bilgi düzeyi arasında bir fark bulunabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgu, üniversite öğrencilerinde kırma kusuru ve gözlük konusunda bilgi eksiklikleri bildiren çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Ebeigbe vd., 2013; Ebrahim Khan vd., 2022). Göz sağlığı okuryazarlığının bilgi kaynağına göre farklılaştığını ve göz hekiminden bilgi edinenlerin daha yüksek okuryazarlık düzeyine sahip olduğunu gösteren ulusal bulgular (Altunsoy vd., 2025), öğrencilerin güvenilir kaynaklardan sistematik bilgi edinmesinin önemini ortaya koymaktadır. Sağlık alanında öğrenim gören öğrencilerde dahi bu düzeyde eksiklik saptanması, göz sağlığına yönelik temel içeriklerin ortak ya da seçmeli derslere eklenmesinin yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Gözlük kullanım amacında korunmanın (%42,2) görme düzeltmeden (%39,1) daha sık işaretlenmesi, öğrencilerin gözlüğü yalnızca bir düzeltme aracı olarak değil, güneş ve ekran ışığına karşı koruyucu bir araç olarak da algıladığını göstermektedir. UV korumasının katarakt ve pterjium gibi hastalıklar açısından önemli olduğu bilinmekle birlikte (Yam ve Kwok, 2014), mavi ışık filtreli camların sıklıkla tercih edilmesi (%34,5) dikkatle değerlendirilmelidir. Güncel kanıtlar, bu camların dijital ekran kullanımına bağlı göz yorgunluğunu kısa dönemde azaltmadığını ve görme performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir (Lawrenson vd., 2017; Singh vd., 2023). Dolayısıyla öğrencilerin bu tercihi, kanıta dayalı bilgiden çok pazarlama söylemlerinin etkisini yansıtıyor olabilir. Estetik amaçlı kullanımın %15,7 düzeyinde olması ise gözlüğün bir aksesuar olarak da algılandığını göstermektedir.

Öğrencilerin yarıdan fazlasının bir yıldan kısa süredir gözlük kullanması, bu grubun önemli bir kısmının numarasız ya da yeni başlamış gözlük kullanıcısı olduğunu düşündürmektedir. Katılımcıların %36,0'ının gözlüğün görmesini iyileştirmediğini belirtmesi, numarasız gözlük kullanımının yaygınlığıyla kısmen açıklanabilir; çünkü kırma kusuru bulunmayan bir bireyin gözlükle görme keskinliğinde iyileşme yaşaması beklenmez. Bunun yanında güncel olmayan reçete, uygun olmayan cam seçimi ya da düzensiz kullanım da bu algıya katkıda bulunabilir. Kullanım süresi ile algılanan iyileşme arasında anlamlı ilişki bulunmaması (H4), görme konforunun kullanım süresinden çok doğru refraksiyon, uygun cam ve çerçeve seçimi, düzenli kontrol ve bireysel beklentiler

gibi etkenlere bağlı olduğunu vurgulayan literatürle uyumludur (Benjamin, 2006; Rosenfield ve Logan, 2009).

Gözlük seçiminde estetik ve cam/çerçeve kalitesinin fiyattan daha belirleyici olması, öğrencilerin gözlüğü günlük yaşamda sürekli kullanılan bir ürün olarak gördüğünü ve görünüm ile kaliteye önem verdiğini göstermektedir. Optisyen önerisinin görece sınırlı etkisi (%12,0), seçim sürecinde bireysel tercihlerin öne çıktığını düşündürmektedir; oysa doğru cam ve çerçeve seçiminde mesleki danışmanlık kritik önemdedir. Optik mağaza tercihinde tanıdık işletmelerin ve zincir mağazaların öne çıkması, güven ilişkisinin ve standart hizmet algısının belirleyici olduğunu, reklamların etkisinin ise sınırlı kaldığını göstermektedir.

Gözlük kullanımında en sık bildirilen sorunun maddi güçlükler (%52,9) olması, gözlük kullanıcılarında yüksek maliyetin en yaygın engel olduğunu bildiren çalışmalarla örtüşmektedir (Ayanniyi vd., 2010). Kirlenme (%37,8) ve buğulanma (%19,7) gibi pratik sorunlar kullanıcı konforunu doğrudan etkilemekte ve uygun kaplamalı camlar ile doğru temizlik alışkanlıkları konusunda bilgilendirme gereksinimine işaret etmektedir (Jalie, 2008). Optisyen davranışı, hekim kaynaklı sorunlar ve teknik hataların az bildirilmesi ise öğrencilerin göz sağlığı ve optik hizmetlerine genel olarak güven duyduğunu düşündürmektedir.

Hipotez testleri, göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliğinin gözlük kullanım davranışlarını anlamlı biçimde farklılaştırdığını göstermiştir (H1). Bilgi sahibi öğrencilerin gözlüğü daha çok görme düzeltme amacıyla kullanması ve seçimde cam/çerçeve özelliklerine ve optisyen önerisine daha fazla önem vermesi, bilginin gözlüğe işlevsel bir sağlık aracı olarak yaklaşımı güçlendirdiğini düşündürmektedir. Bilgi düzeyinin kullanıcı davranışlarıyla ilişkili olduğunu bildiren ulusal çalışmalar da bu bulguyu desteklemektedir (Şengör vd., 2018; Abdianwall ve Doğan, 2019). Bilgi sahibi öğrencilerin buğulanma, oksitlenme ve kirlenme sorunlarını daha sık bildirmesi ise iki şekilde açıklanabilir: Bu öğrenciler sorunları fark etme ve adlandırma konusunda daha duyarlı olabilir; ayrıca bilgi sahibi grupta düzeltici gözlüklerin daha uzun süre ve daha düzenli kullanılması bu sorunlarla karşılaşma olasılığını artırmış olabilir. Kesitsel tasarım nedeniyle bu iki açıklamayı birbirinden ayırmak mümkün değildir.

Bilgi sahibi öğrencilerin dört optik terimin tamamını daha yüksek oranda bilmesi (H2), bilgi düzeyi ile optik terminoloji farkındalığı arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Farkın en belirgin olduğu terimlerin bifokal ve progresif cam gibi teknik kavramlar olması dikkat çekicidir; bilgi sahibi olmayan öğrencilerde bu terimleri bilme oranının %2,6'da kalması, teknik cam seçeneklerine ilişkin farkındalığın oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, eğitim ve bilgi kaynağının göz sağlığı bilgisi ve okuryazarlığı ile ilişkili

olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur (Abdianwall ve Doğan, 2019; Altunsoy vd., 2025). Presbiyopi düzeltiminde progresif camların giderek yaygınlaştığı göz önüne alındığında (Wolffsohn ve Davies, 2019), sağlık alanındaki öğrencilerin bu kavramlara aşina olması hem kişisel hem de mesleki açıdan önem taşımaktadır.

Cinsiyet ile optik gereç kullanımı arasında anlamlı ilişki bulunmaması (H3) ve cinsiyetin incelenen değişkenlerin çoğuyla ilişkisiz olması, bu grupta gözlük kullanım alışkanlıklarının büyük ölçüde cinsiyetten bağımsız olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte erkek öğrencilerde korunma ve estetik amaçlı kullanımın görece yüksekliği ile kadın öğrencilerde cam türünü bilmeme oranının yüksekliği, farkındalık çalışmalarının cinsiyete duyarlı biçimde planlanabileceğini düşündürmektedir. Kadın öğrencilerin maddi sorunları daha sık bildirmesi, Türkiye'de kadınların maliyet kaynaklı karşılanamayan sağlık gereksinimlerinin erkeklere göre daha yüksek olduğunu gösteren ulusal bulgularla uyumludur (Davas ve Etiler, 2024). Ancak erkek öğrenci grubunun görece küçük olması, cinsiyet karşılaştırmalarının dikkatle yorumlanmasını gerektirmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin önemli bir kısmının gözlük kullandığını; ancak gözlük camı özellikleri, gözlük türleri ve temel optik terminoloji konusunda belirgin bilgi eksiklikleri bulunduğunu ortaya koymuştur. Göz hastalıkları hakkında bilgi sahipliği; gözlük kullanım amacı, seçim kriterleri, sorun algısı ve optik terim bilgisiyle anlamlı biçimde ilişkilidir. Cinsiyet optik gereç kullanımını belirleyen bir etken değildir; gözlük kullanım süresi de algılanan görme iyileşmesini açıklamamaktadır. Maddi güçlükler ise öğrencilerin gözlük kullanımında karşılaştıkları en önemli sorundur. Bu bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

I. Sağlık hizmetleri meslek yüksekokullarında kırma kusurları, gözlük camı türleri ve kaplamaları, düzenli göz muayenesinin önemi ve temel optik kavramları içeren kısa, yapılandırılmış göz sağlığı eğitimleri düzenlenmelidir.
II. Mavi ışık filtreli camlar gibi yoğun biçimde pazarlanan ürünler hakkında kanıta dayalı bilgilendirme yapılmalı; öğrencilerin cam seçiminde optisyen ve göz hekimi danışmanlığından yararlanması teşvik edilmelidir.
III. Kampüs içi göz taraması uygulamaları ve gözlük maliyetini azaltacak destek mekanizmaları (indirim anlaşmaları, sosyal güvence kapsamındaki hakların tanıtılması) değerlendirilmelidir.

IV. Optik mağazalarında kullanıcıların cam özellikleri, temizlik ve bakım konusunda bilgilendirilmesi, kirlenme ve buğulanma gibi pratik sorunların azaltılmasına katkı sağlayacaktır.
V. İleride yapılacak çalışmalarda geçerlik ve güvenirliği gösterilmiş ölçeklerle (ör. Göz Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği) nesnel bilgi düzeyinin ölçülmesi, farklı birim ve üniversitelerden daha dengeli cinsiyet dağılımına sahip örneklemlerle çalışılması ve öz bildirimin göz muayenesi verileriyle desteklenmesi önerilmektedir.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma tek bir kampüste ve tek bir meslek yüksekokulunda yürütülmüş olup bulgular tüm üniversite öğrencilerine genellenemez. Bilgi sahipliği tek bir öz bildirim sorusu ile değerlendirilmiş, kırma kusuru türleri muayene ile doğrulanmamıştır. Ulaşılan örneklem hesaplanan değerin biraz altında kalmış ve kadın öğrenciler örneklemde ağırlıklı olarak yer almıştır. Kesitsel tasarım nedeniyle saptanan ilişkiler nedensellik olarak yorumlanmamalı; çok kategorili çapraz tablolarda bazı hücrelerde beklenen frekansların düşük olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Araştırmaya gönüllü olarak katılan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Abdianwall, M. H., & Doğan, B. G. (2019). Eye health knowledge of early childhood and classroom education departments' students of an education faculty: Descriptive study from Turkey. *Turkish Journal of Public Health, 17*(2), 169–182.

Altunsoy, İ., Gür, D., & Eroğlu, A. (2025). Görme gereci kullanıcılarının göz sağlığı okuryazarlığı düzeylerinin belirlenmesi. *Atlas Journal of Medicine, 5*(12), 32–41.

Ayanniyi, A. A., Adepoju, F. G., Ayanniyi, R. O., & Morgan, R. E. (2010). Challenges, attitudes and practices of the spectacle wearers in a resource-limited economy. *Middle East African Journal of Ophthalmology, 17*(1), 83–87. https://doi.org/10.4103/0974-9233.61223

Benjamin, W. J. (Ed.). (2006). *Borish's clinical refraction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann/Elsevier.

Bourne, R. R. A., Flaxman, S. R., Braithwaite, T., Cicinelli, M. V., Das, A., Jonas, J. B., Keeffe, J., Kempen, J. H., Leasher, J., Limburg, H., Naidoo, K., Pesudovs, K., Resnikoff, S., Silvester, A., Stevens, G. A., Tahhan, N., Wong, T. Y., Taylor, H. R., & Vision Loss Expert Group. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Global Health, 5*(9), e888–e897. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0

Davas, A., & Etiler, N. (2024). Gender differences in cost-related unmet healthcare needs: A national study in Türkiye. *BMC Public Health, 24*(1), Article 2413.

Ebeigbe, J. A., Kio, F., & Okafor, L. I. (2013). Attitude and beliefs of Nigerian undergraduates to spectacle wear. *Ghana Medical Journal, 47*(2), 70–73.

Ebrahim Khan, N., Mahomedy, M., Mngadi, L., Moola, Z., Moosa, Z., Ndwandwe, G., & Ntombela, A. S. M. (2022). Knowledge, attitudes and practices towards refractive error amongst students. *African Vision and Eye Health, 81*(1), Article a633. https://doi.org/10.4102/aveh.v81i1.633

GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators, & Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. (2021). Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: The Right to Sight. *The Lancet Global Health, 9*(2), e144–e160. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7

Holden, B. A., Fricke, T. R., Wilson, D. A., Jong, M., Naidoo, K. S., Sankaridurg, P., Wong, T. Y., Naduvilath, T. J., & Resnikoff, S. (2016). Global

prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology, 123*(5), 1036–1042. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006

Huang, H.-M., Chang, D. S.-T., & Wu, P.-C. (2015). The association between near work activities and myopia in children: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE, 10*(10), Article e0140419. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140419

Jalie, M. (2008). *Ophthalmic lenses and dispensing* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.

Lawrenson, J. G., Hull, C. C., & Downie, L. E. (2017). The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: A systematic review of the literature. *Ophthalmic and Physiological Optics, 37*(6), 644–654. https://doi.org/10.1111/opo.12406

Meister, D. J., & Fisher, S. W. (2008). Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 1: Design and development of progressive lenses. *Clinical and Experimental Optometry, 91*(3), 240–250.

Morgan, I. G., Ohno-Matsui, K., & Saw, S.-M. (2012). Myopia. *The Lancet, 379*(9827), 1739–1748. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60272-4

Naidoo, K. S., Leasher, J., Bourne, R. R., Flaxman, S. R., Jonas, J. B., Keeffe, J., Limburg, H., Pesudovs, K., Price, H., White, R. A., Wong, T. Y., Taylor, H. R., & Resnikoff, S. (2016). Global vision impairment and blindness due to uncorrected refractive error, 1990–2010. *Optometry and Vision Science, 93*(3), 227–234. https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000796

Nutbeam, D. (2000). Health literacy as a public health goal: A challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century. *Health Promotion International, 15*(3), 259–267. https://doi.org/10.1093/heapro/15.3.259

Resnikoff, S., Pascolini, D., Mariotti, S. P., & Pokharel, G. P. (2008). Global magnitude of visual impairment caused by uncorrected refractive errors in 2004. *Bulletin of the World Health Organization, 86*(1), 63–70. https://doi.org/10.2471/BLT.07.041210

Rosenfield, M. (2011). Computer vision syndrome: A review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic and Physiological Optics, 31*(5), 502–515. https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00834.x

Rosenfield, M., & Logan, N. (Eds.). (2009). *Optometry: Science, techniques and clinical management* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann/Elsevier.

Sheppard, A. L., & Wolffsohn, J. S. (2018). Digital eye strain: Prevalence, measurement and amelioration. *BMJ Open Ophthalmology, 3*(1), Article e000146. https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000146

Singh, S., Keller, P. R., Busija, L., McMillan, P., Makrai, E., Lawrenson, J. G., Hull, C. C., & Downie, L. E. (2023). Blue-light filtering spectacle lenses for visual performance, sleep, and macular health in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2023*(8), Article CD013244. https://doi.org/10.1002/14651858.CD013244.pub2

Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health, 12*, Article 80. https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-80

Şengör, T., Alkibay, S., Ermeç Sertoğlu, A., & Aydın Kurna, S. (2018). Kontakt lens kullanımına yönelik yaklaşımın belirlenmesine ilişkin anket ve sağlıklı lens kullanımı için bilgilendirmede temel özellikler. *Türk Oftalmoloji Dergisi, 48*(6), 288–294. https://doi.org/10.4274/tjo.60465

Wang, J., Li, Y., Musch, D. C., Wei, N., Qi, X., Ding, G., Li, X., Li, J., Song, L., Zhang, Y., Ning, Y., Zeng, X., Hua, N., Li, S., & Qian, X. (2021). Progression of myopia in school-aged children after COVID-19 home confinement. *JAMA Ophthalmology, 139*(3), 293–300. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2020.6239

Wolffsohn, J. S., & Davies, L. N. (2019). Presbyopia: Effectiveness of correction strategies. *Progress in Retinal and Eye Research, 68*, 124–143. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.09.004

World Health Organization. (2019). *World report on vision*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241516570

Yam, J. C. S., & Kwok, A. K. H. (2014). Ultraviolet light and ocular diseases. *International Ophthalmology, 34*(2), 383–400. https://doi.org/10.1007/s10792-013-9791-x

Yazıcıoğlu, Y., & Erdoğan, S. (2004). *SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri*. Detay Yayıncılık.

Yılmaz, U., Gökler, M. E., Güneş, C. E., & Parça, O. (2019). Göz sağlığı okuryazarlığı ölçeği. *Pamukkale Tıp Dergisi, 12*(1), 83–91. https://doi.org/10.31362/patd.457969