



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM DOKTORA PROGRAMI

**BOR VE BAKIR NANOPARTİKÜL İLE KAPLANAN ÇİLEK VE
KİRAZ MEYVELERİNİN MUHAFAZA PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Emircan DİNÇER

Birinci Danışman: Prof. Dr. Onur SARAÇOĞLU

İkinci Danışman: Doç. Dr. Nesrin KORKMAZ

TOKAT- 2025



Bu tez çalışması;

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 222O604 nolu proje ile 1003 - Öncelikli Alanlar Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Onur SARAÇOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Bor Ve Bakır Nanopartikül İle Kaplanan Çilek Ve Kiraz Meyvelerinin Muhafaza Performansının İncelenmesi” adlı Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

17/11/2025

Emircan DİNÇER



JÜRİ KABUL VE ONAY

Emircan DİNÇER tarafından hazırlanan “**Bor ve Bakır Nanopartikül ile Kaplanan Çilek ve Kiraz Meyvelerinin Muhafaza Performansının İncelenmesi** ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03.11.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Sürdürülebilir Tarım Doktora Programı’nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Danışman) :Prof. Dr. Onur SARAÇOĞLU

Üye (Başkan) :Prof Dr. Kenan YILDIZ

Üye :Prof. Dr. Burhan ÖZTÜRK

Üye : Doç. Dr. Orhan KARAKAYA

Üye : Doç. Dr. Hakan KARADAĞ

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Çilek ve kiraz, insan sağlığına katkıları ve ülke ekonomisine sağladıkları katma değer ile önemli meyve türlerindendir. Artan taleple birlikte, bu meyvelerde hasat sonrası yaşanan kayıplar önemli bir sorun hâline gelmiştir. Bu tez çalışmasında, söz konusu kayıpları azaltmak amacıyla yeşil sentezle üretilen bor ve bakır nanopartiküller kullanılarak, meyve kalitesini koruyacak yenilikçi bir kaplama materyalinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen bulguların, gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutması ve literatüre katkı sunması hedeflenmektedir.

Bu süreçte, tez konusunun şekillenmesinden nihai hale gelmesine kadar her aşamada bilgi birikimi, akademik rehberliği ve yapıcı yönlendirmeleriyle yanımda olan çok değerli danışmanım Prof. Dr. Onur SARAÇOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Disiplini, akademik duruşu ve araştırmaya olan tutkusu ile yalnızca bir danışman değil, aynı zamanda yol gösterici bir bilim insanı olmuştur. Lisans eğitimimden itibaren beni yetiştirerek, yüksek lisans ve akabinde doktora sürecime kadar her aşamada yanımda olmuş bilgi, sabır ve desteğiyle bu akademik yolculuğun her adımında bana rehberlik etmiştir. Bundan sonraki akademik kariyerimde de her daim yanımda olması temennisiyle...

Tezimin özgün değerini oluşturan nanopartikül çalışmaları konusunda beni yetiştiren ve bu alanda farklı bir bakış açısı kazanmamı sağlayarak yeni bir araştırma alanına yönelme fırsatı sunan ikinci danışmanım Doç. Dr. Nesrin KORKMAZ hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tez izleme komitemde yer alarak çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle sürece katkı sağlayan, yönlendirici görüşleriyle bana yol gösteren kıymetli hocalarım Prof. Dr. Kenan YILDIZ ve Prof. Dr. Burhan ÖZTÜRK'e saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tez savunmamda bu sürece dahil olan ve yaptıkları düzenlemelerle tezime değer katan Doç. Dr. Hakan KARADAĞ ve Doç. Dr. Orhan KARAKAYA hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamın önemli bir bölümünü oluşturan etkin doz belirleme sürecinde verdikleri katkı ve desteklerle yanımda olan Dr. Sirel CANPOLAT, Senem TÜLEK, Ülkem TANIKER, Burcu ARSLAN ve Ahu KARADAĞ'a içten teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her daim yanımda olan, bilgi, emek ve destekleriyle sürece anlamlı katkılar sunan değerli arkadaşlarım ve çalışma ekibim Dr. Öğr. Üyesi Osman Nuri ÖCALAN, Dr. Öğr. Üyesi Onur Sefa ALKAÇ, Fatmanur ÇEZİK, Hüseyin SALMAN, Rahmetullah ÇİĞDEM ve Mehmet Emin İŞBİLİR'e; ayrıca her zaman dostlukları ve destekleriyle yanımda olan Arş. Gör. Alperen DONAT, Alperen ÇİĞDEM ve Burak ARSLAN'a gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, dualarıyla daima yanımda olan aileme; sevgili babam Metin DİNÇER, annem Mergül DİNÇER, kardeşim Aleyna DİNÇER, her zaman arkamda duran ablam Canan AYDOĞAN ve abim Erkan AYDOĞAN'a, ayrıca neşesiyle bana moral kaynağı olan biricik yeğenim Ayliz AYDOĞAN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu zorlu ve uzun akademik yolculukta, her koşulda yanımda olan, sabrı, sevgisi ve anlayışıyla bana güç veren can yoldaşım, sevgili eşim Hatice TOĞANTEMUR DİNÇER'e en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Zaman zaman yorulduğumda, vazgeçmenin eşiğine geldiğimde, sessizce ama kararlılıkla yanımda durarak yeniden ayağa kalkmamı sağladı. Sadece bu tezin değil, hayatımın da en büyük desteği olan eşime minnettarım.

Bu tez çalışmasını, hayatım boyunca dualarını ve sevgisini üzerimden eksik etmeyen, kalbimde daima yaşayacak olan kıymetli babaannem Nebile DİNÇER'in aziz hatırasına ve yaşamımın en büyük ilham kaynağı, geleceğe dair tüm umutlarımın sembolü sevgili oğlum Çınar Alp DİNÇER'e ithaf ediyorum.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde, YÖK 100/2000 'Sürdürülebilir Tarım' programı kapsamında 48 ay boyunca bursiyer olarak beni desteklemelerinden dolayı Yüksek Öğretim Kurumu'na da çok teşekkür ederim.

ÖZET

BOR VE BAKIR NANOPARTİKÜL İLE KAPLANAN ÇİLEK VE KİRAZ MEYVELERİNİN MUHAFAZA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Dinçer, Emircan

Doktora, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Onur Saraçoğlu

İkinci Danışman: Doç. Dr. Nesrin Korkmaz

Ekim 2025, xvi + 124 sayfa

Hasat sonrası kalite kayıplarının çevre dostu yöntemlerle azaltılmasını amaçlayan bu çalışma, kiraz yaprağı özütü kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle bor ve bakır nanopartiküllerin hazırlanmasını ve bu nanopartiküllerin çilek ile kiraz meyvelerinde soğukta muhafaza performanslarının değerlendirilmesini kapsamaktadır. Yeşil sentezle üretilen CuO, kitosan ve bor nanopartiküllerinin morfolojik yapısı ve boyutları tespit edilmiştir. Depolama sırasında ürün kayıplarına yol açan hastalıklara karşı etkili dozun belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışma sonucunda *Botrytis cinerea*'ya karşı en yüksek etki %91,36 oranıyla BOR2 (1000 ppm) ve BAKIR2 (2000 ppm) uygulamalarında saptanmıştır. *Monilinia spp.* testlerinde ise nano kitosan %93,5, 2000 ppm bakır oksit nanopartikül %92 ve 1000 ppm bor nanopartikül %90,7 engelleme oranı ile en yüksek antifungal etkiyi göstermiştir. Çilekte depolama süreci ilerledikçe ağırlık kaybının arttığı, BAKIR2'nin ağırlık kaybını yavaşlatan en etkili uygulama olduğu belirlenmiştir. Çürüme yalnızca KİTOSAN ve BOR2+KİT gruplarında gözlenmemiştir. BOR1+KİT uygulaması meyve sertliğini görece daha iyi korumuş, toplam fenolik madde miktarı genel olarak azalmış, toplam monomerik antosiyanin içerikleri ise geç dönemde yükselmiştir. C vitamininin korunumu, özellikle bor ve kitosan kombinasyonlarında daha belirgin bulunmuştur. Kiraz örneklerinde ağırlık kaybını sınırlamada KİTOSAN etkili olmuştur. Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) miktarı BAKIR1+KİT ve BAKIR2+KİT uygulamalarında artış göstermiştir. pH artışı BAKIR2+KİT ve BOR2+KİT ile sınırlanırken, titre edilebilir asitlikteki (TA) düşüş KİTOSAN, BAKIR2, BOR1+KİT ve BOR2+KİT uygulamalarıyla kısmen kontrol altına alınmıştır. Sertlik, depolamanın 7. gününde kısa süreli bir artışın ardından azalmış, solunum hızı zamanla yükselmiştir. L* ve hue değerleri gerilemiş, toplam fenolik içerik (TPC) ve toplam antioksidan kapasite (TAC) depolamanın ileri aşamalarında artış eğilimi göstermiştir. Toplam monomerik antosiyanin (TMA) içeriği muhafaza sonunda belirgin biçimde yükselmiştir. C vitamini miktarı azalsa da KİTOSAN ve bazı bor uygulamalarında kontrol grubuna yakın düzeyde kalmıştır. Sonuçlar, kitosanın su ve kalite kayıplarını sınırlandırmada etkili bir bariyer görevi gördüğünü bakır ve bor-kitosan kombinasyonlarının ise hedef kalite

parametrelerinin korunmasına yönelik tamamlayıcı katkılar sağladığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fitokimyasal, Hasat sonrası, Nanoteknoloji, Sürdürülebilir Tarım, Yeşil Sentez



ABSTRACT

INVESTIGATION OF STORAGE PERFORMANCE OF STRAWBERRY AND SWEET CHERRY FRUIT COATED WITH NANOPARTICLES BASED ON BORON AND COPPER

Dinçer, Emircan

PhD, Department of Horticulture

Advisor: Prof.Dr. Onur Saraçoğlu

Second Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nesrin Korkmaz

November 2025, xvi + 124 pages

This study, which aims to reduce postharvest quality losses through environmentally friendly approaches, encompasses the preparation of boron and copper nanoparticles via a green synthesis method using cherry leaf extract and the evaluation of their cold-storage performance on strawberry and cherry fruits. The morphological structure and particle size of CuO, chitosan, and boron nanoparticles produced through green synthesis were characterized. In trials conducted to determine the effective dose against diseases that cause significant product losses during storage, the highest inhibition rate against *Botrytis cinerea* was recorded in BOR2 (1000 ppm) and BAKIR2 (2000 ppm) treatments, with 91.36% inhibition. In *Monilinia* spp. tests, nano-chitosan exhibited the highest antifungal efficacy with 93.5% inhibition, followed by 2000 ppm copper oxide nanoparticles (92%) and 1000 ppm boron nanoparticles (90.7%). In strawberries, weight loss increased as storage progressed, with BAKIR2 identified as the most effective treatment in slowing weight reduction. Decay was not observed only in the KİTOSAN and BOR2+KİT groups. The BOR1+KİT treatment comparatively better preserved fruit firmness; total phenolic content generally declined, while total monomeric anthocyanin levels increased during the later stages of storage. Vitamin C retention was found to be more pronounced particularly in boron and chitosan combinations. In cherry samples, CHITOSAN effectively limited weight loss. Soluble solids content (SSC) increased under BAKIR1+KİT and BAKIR2+KİT treatments. Increases in pH were restricted by BAKIR2+KİT and BOR2+KİT, while decreases in titratable acidity (TA) were partially controlled by KİTOSAN, BAKIR2, BOR1+KİT, and BOR2+KİT treatments. Firmness initially increased on day 7 of storage but subsequently declined, and respiration rate rose over time. L* and hue values decreased, whereas total phenolic content (TPC) and total antioxidant capacity (TAC) tended to increase during the later storage stages. Total monomeric anthocyanin (TMA) content increased markedly by the end of storage. Although vitamin C levels declined overall, they remained close to the control in KİTOSAN and certain boron treatments. The findings demonstrate that chitosan acts as an effective barrier in limiting moisture and quality losses, while copper and boron–

chitosan combinations provide complementary contributions toward maintaining targeted quality parameters.

Keywords: Green Synthesis, Nanotechnology, Phytochemical, Postharvest, Sustainable Agriculture



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME	i
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	7
2.1. Çilek ve Kirazda Yapılan Muhafaza Çalışmaları	7
2.2. Nanoteknolojinin Bahçe Bitkilerinde Kullanımı	11
2.2.1. Nano gübre	12
2.2.2. Nano-bitki büyüme uyarıcısı	13
2.2.3. Vazo ömrü nanomalzemeler	14
2.2.4. Nanofilmler/kaplamalar	15
2.3. Bor ve Bakır Nanopartikülleri ile Yapılan Çalışmalar	17
2.3.1. Bor nanopartikül ile yapılan çalışmalar	17
2.3.2. Bakır nanopatikül ile yapılan çalışmalar	18
2.4. Çilek ve Kirazda Nanopartikül ile Yapılan Muhafaza Çalışmaları	19
2.4.1. Çilekte nanopartikül ile yapılan muhafaza çalışmaları	19
2.4.2. Kirazda nanopartikül ile yapılan muhafaza çalışmaları	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1 Materyal	23
3.1.1 İndirgeyici ajan	23
3.1.2 Fungal kültürler	24
.....	24

3.1.3 Muhafazada kullanılan bitki materyali	24
3.2 Yöntem	25
3.2.1 İndirgeyici ajan eldesi.....	25
3.2.2. Nanopartiküllerin karakterizasyonu	25
3.2.3. Bakır oksit (CuONP) nanopartikül	26
3.2.4. Bor (BNP) nanopartikül	26
3.2.5. Nano kitosan (ChNP)	26
3.2.6. SEM analizi	26
3.2.7. Nanopartiküllerin etkin dozlarının belirlenmesi.....	27
3.2.8. Meyve Örneklerinin Hasat ve Kaplama İşlemi	29
3.2.9. Meyvelerin muhafazası	31
3.2.10. Muhafaza süresince yapılan ölçüm ve analizler	31
3.2.11. Verilerin değerlendirilmesi	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Bakır oksit (CuO) Nanopartiküllerin Karakterizasyonu	36
4.1.1. UV-Vis spektrofotometrik analiz.....	36
4.1.2. XRD Analizi	37
4.1.3. SEM analizi ve EDX analizi.....	38
4.2. Bor (BN NP) Nanopartiküllerin Karakterizasyonu.....	40
4.2.1. UV-Vis spektrofotometrik analizi.....	40
4.2.2. XRD analizi	41
4.2.3. SEM analizi	42
4.2.4. EDX analizi	43
4.3. Kitosan Nanopartiküllerin Karakterizasyonu.....	44
4.3.1. UV-Vis spektrofotometrik analiz.....	44
4.3.2. XRD analizi	45
4.3.3. SEM analizi	45
4.3.4. EDX analizi görüntü.....	46
4.4. Nanopartiküllerin İn Vitro Koşullarda Fungal Kökenli Bazı Depo Hastalıkları Üzerine Etkin Dozlarının Belirlenmesi	47
4.5. Belirlenen Etkin Dozların Çilek Meyvelerine Uygulanması Sonucunda Muhafaza Performansına Etkileri	60

4.6. Belirlenen Etkin Dozların Kiraz Meyvelerine Uygulanması Sonucunda Muhafaza Performansına Etkileri	81
5. SONUÇ.....	99
6.KAYNAKLAR	101
7.ÖZGEÇMİŞ.....	124



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4. 1. İn-vitro koşullarında petrilere çilekte kurşuni küf hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları	51
Çizelge 4. 2. İn-vitro koşullarında petrilere çilekte monilya hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları	52
Çizelge 4. 3. İn-vitro koşullarında çilekte kurşuni küf hastalığına karşı kullanılan CuO-NP ve B-NP EC50 (ppm) değerlerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 4. 4. İn-vitro koşullarında kirazda monilya hastalığına karşı kullanılan CuO-NP ve B-NP EC50 (ppm) değerlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 4. 5. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan <i>B. cinerea</i> 'ya karşı denenen CuO nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri.....	55
Çizelge 4. 6. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan <i>B. cinerea</i> 'ya karşı denenen Bor nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri.....	56
Çizelge 4. 7. Kirazda monilya hastalığına neden olan <i>Monilinia spp.</i> 'ye karşı denenen CuO nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri.....	57
Çizelge 4. 8. Kirazda monilya hastalığına neden olan <i>Monilinia spp.</i> 'ye karşı denenen bor nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri	58
Çizelge 4. 9. Çilek meyvesinde nanopartikül uygulamalarına ait detaylar.....	60
Çizelge 4. 10. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin ağırlık kaybı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	61
Çizelge 4. 11. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin SÇKM (%) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	62
Çizelge 4. 12. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin pH değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	63
Çizelge 4. 13. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin titre edilebilir asitlik (TA) içeriği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	64
Çizelge 4. 14. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin sertliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	65
Çizelge 4. 15. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin solunum oranı (nmol CO ₂ kg ⁻¹ s ⁻¹) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	66

Çizelge 4. 16. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin L* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	67
Çizelge 4. 17. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin a* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	68
Çizelge 4. 18. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin b* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	69
Çizelge 4. 19. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin kroma değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	70
Çizelge 4. 20. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin hue açısı değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	71
Çizelge 4. 21. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam fenolik madde içeriği ($\mu\text{g GAE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	72
Çizelge 4. 22. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam antioksidan kapasitesi ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	73
Çizelge 4. 23. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam monomerik antosiyanin ($\mu\text{g plg-3-glu g}^{-1}$) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	74
Çizelge 4. 24. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin çürüme oranı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	75
Çizelge 4. 25. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin bireysel fenolik (mg kg^{-1}) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	78
Çizelge 4. 26. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin C vitamini ($\text{mg}/100\text{g}$) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	80
Çizelge 4. 27. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin ağırlık kaybı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	81
Çizelge 4. 28. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin SÇKM (%) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	82
Çizelge 4. 29. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin pH değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	83
Çizelge 4. 30. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin asitliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	84
Çizelge 4. 31. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin sertliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	85

Çizelge 4. 32. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin solunum oranı ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	86
Çizelge 4. 33. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin L^* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	87
Çizelge 4. 34. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin a^* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	88
Çizelge 4. 35. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin b^* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	89
Çizelge 4. 36. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin kroma değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	90
Çizelge 4. 37. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin hue açısı değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	91
Çizelge 4. 38. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam fenolik madde içeriği ($\mu\text{g GAE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	92
Çizelge 4. 39. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam antioksidan kapasitesi ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi.....	93
Çizelge 4. 40. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam monomerik antosiyanin ($\mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	94
Çizelge 4. 41. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin bireysel fenolik (mg kg^{-1}) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	96
Çizelge 4. 42. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin C vitamini (mg/100g) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3. 1. İndirgeyici ajan için kullanılan kiraz ağacı yaprağı (Orijinal).....	23
Şekil 3. 2. Fungal kültürler <i>Botrytis cinerea</i> (Solda) <i>Monilinia spp</i> (Sağda) (Orijinal) .	24
Şekil 3. 3. Çalışmada kullanılan bitki materyali (Orijinal).....	25
Şekil 3. 4. Etki doz belirleme çalışmaları (Orijinal)	27
Şekil 3. 5. Meyveleri kaplama işlemleri	30
Şekil 3. 6. Depolama işlemleri.....	31
Şekil 4. 1. CuO NP'lerin UV-vis spektrumu.....	36
Şekil 4. 2. CuO NP'lerin XRD analizi.....	38
Şekil 4. 3. CuO NP'lerin SEM analizi	39
Şekil 4. 4. CuO NP'lerin EDX analizi	40
Şekil 4. 5. BN NP'lerin UV-vis spektrumu.....	41
Şekil 4. 6. BN NP'lerin XRD analizi.....	42
Şekil 4. 7. BN NP'lerin SEM analizi	43
Şekil 4. 8. BN NP'lerin SEM analizi	43
Şekil 4. 9. Nanokitosan UV-vis spektrumu.....	44
Şekil 4. 10. Nanokitosan XRD analizi	45
Şekil 4. 11. Nanokitosan SEM analizi	46
Şekil 4. 12. Nanokitosan EDX analizi	47
Şekil 4. 13. B-NP' ün 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm dozlarında petrilerde <i>B. cinerea</i> ' yı engelleme oranları.....	48
Şekil 4. 14. B-NP'ün 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm dozlarında petrilerde <i>Monilinia spp.</i> 'yi engelleme oranları.....	48
Şekil 4. 15. CuO-NP' ün 0,1, 1,15, 25, 50, 75,100 ppm dozlarında petrilerde <i>B. cinerea</i> ' yı engelleme oranları	49
Şekil 4. 16. CuO-NP'ün 0.1, 1.0, 15, 25, 50, 75,100 ppm dozlarında petrilerde <i>Monilinia spp.</i> 'yi engelleme oranları.....	49
Şekil 4. 17. CuO-NP' ün 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında petrilerde <i>B. cinerea</i> ' yı engelleme oranları.....	50

Şekil 4. 18. CuO-NP'ün 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında petrilerde <i>Monilinia spp.</i> yi engelleme oranları.....	50
Şekil 4. 19. İn-vitro koşullarında petrilerde çilekte kurşuni küf hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları	51
Şekil 4. 20. İn-vitro koşullarında petrilerde kirazda <i>monilya</i> hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları	52
Şekil 4. 21. <i>Botrytis cinerea</i> 'nın miselyal gelişiminin bakır ve bor nanopartikül solüsyonlarına karşı duyarlılıklarının karşılaştırılması (EC ₅₀ değerleri)	53
Şekil 4. 22. <i>Monilinia spp.</i> 'nin miselyal gelişiminin bakır ve bor nanopartikül solüsyonlarına karşı duyarlılıklarının karşılaştırılması (EC ₅₀ değerleri).....	54
Şekil 4. 23. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan <i>B. cinerea</i> 'ya karşı uygulanan CuO nanopartikül uygulamaları	55
Şekil 4. 24. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan <i>B. cinerea</i> 'ya karşı uygulanan Bor nanopartikül uygulamaları	56
Şekil 4. 25. Kirazda monilya hastalığına neden olan <i>Monilinia spp.</i> 'ye karşı uygulanan CuO nanopartikül uygulamaları.....	57
Şekil 4. 26. Kirazda monilya hastalığına neden olan <i>Monilinia spp.</i> 'ye karşı uygulanan bor nanopartikül uygulamaları.....	58

1. GİRİŞ

Kiraz ve çilek sahip oldukları tat özellikleri ve aroma bileşikleri sebebiyle her yaş grubu tüketiciler tarafından beğenilerek tercih edilen meyvelerdir. Birçok araştırmacı kiraz ve çileğin, sağlıklı beslenmedeki önemi kanıtlanmış ve üzerine olumlu etkileri bulunan vitaminler, mineraller, (Bingöl ve ark., 2022) polifenoller, antosiyaninler gibi antioksidan (Aglar ve ark., 2022) özellik gösteren biyoaktif bileşiklerce zengin olduğunu ifade etmiştir (Yan ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2019). İnsanlarda artan sağlıklı ve dengeli beslenme bilinci, bu meyvelere olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Kiraz ve çilek ülkemizde üretimi yoğun olarak yapılan ve günden güne yetiştiricilik potansiyeli artan meyve türleridir. Türkiye kiraz üretim miktarı Dünya Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) verilerine göre 736.791 ton, çilek üretim miktarı ise 676.818 tondur. Dünya kiraz üretimi miktarında Türkiye ilk sırada yer almasına rağmen kiraz ihracatı yapan ülkeler sıralamasında 3. sırada yer almaktadır (FAO, 2023). Benzer şekilde çilek üretiminde Türkiye 4. sırada yer alırken, ihracatta 13. ülke konumundadır (FAO, 2023). Her iki meyve türünde de ülkemiz üretim miktarı ile orantılı olacak ihracat rakamlarına ulaşamamıştır. Bu durumun nedenleri arasında kalıntı miktarları, meyve kalitesi, ambalajlama ve pazarlama problemleri, tüketici ülkelere olan uzaklık ve hasat sonrası kayıplar sıralanabilir. Kiraz ve çileğin albenisini artıran ürüne has renk, tat, aroma ve meyve eti sertliği gibi özelliklerin korunması pazarlama değeri açısından önem arz etmektedir. Ancak her iki ürün de hem klimakterik özellik göstermemeleri sebebiyle erken hasat seçeneklerinin sınırlı olması hem de mantari hastalıklara duyarlı olmaları ve hasat sonrası solunum hızlarının yüksek olmasından dolayı hızlı bir şekilde bozulup pazar değerlerini kaybetmektedirler (Yan ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2019; Błaszczyk ve ark., 2022).

Meyve ve sebzelerin depolanması, üretici ile tüketici arasında önemli bir köprüdür. Ürünlerin depolama süresi tür ve çeşitlere göre değişmektedir. Depoda kalma süresini olumsuz yönden etkileyen bazı faktörler vardır. Hasat sırasında meydana gelen yaralanmalar, taşınma ortamının elverişsiz olması, ürünün olgunluk düzeyleri ve uygun olmayan depo koşulları gibi faktörler ürünün depoda kalma süresini etkilemektedir. Uygun olmayan depo koşullarında yaşanan kayıpların başlıca nedeni olarak muhafaza

ortamının iklimsel özellikleri (sıcaklık ve bağıl nem) ve mantari hastalıkların depo içerisinde yayılımı ön plana çıkmaktadır. Hasat sonrası meyve ve sebzeler solunum yapmaya devam ederler. Deponun iklimsel özelliklerine bağlı olarak solunum hızı artar, olgunlaşma devam eder akabinde ürünlerin depo süresi kısalmaya ve çürümeler meydana gelir. Depoda ciddi ekonomik kayıplara neden olan *Monilinia* spp. ve *Botrytis cinerea* önemli fungal hastalık etmenleridir. Funguslar meyve ve sebzelere hem arazi ortamında hem de depo ortamında zarar verebilir. Depo ortamında ürün kayıplarına neden olan bu funguslara karşı birçok fungusit ve korumaya yönelik uygulamalar yapılmaktadır. Son zamanlarda kalıntı sorununun yaşanması, ekonomik girdilerin artmasıyla bu yöntemlerden zorunlu bir şekilde vazgeçilmektedir. Araştırmacılar depo koşullarında ürünlerin fungal etmenlere karşı direncini artıracak uygulamaların hem insan sağlığı üzerine olumsuz bir etkisinin olmaması hem de ürünlerin muhafaza performanslarına katkı sağlayacak alternatif yollar arayışı içerisinde (González-Estrada ve ark., 2019; Shokri ve ark., 2025) .

Hasat sonrası kayıpları önleyebilmek için araştırmacılar birçok farklı yöntem üzerinde çalışmışlardır (Polash ve ark., 2022; Menaka ve Lekshmi, 2022; Kaarunya ve ark., 2022; Rasouli ve ark., 2025; Karimi Dehbkari ve ark., 2025). Bu yöntemler arasında olgunluğu geciktirici, meyve sertliğini ve kabuk direncini artırıcı hasat öncesi uygulamalar olduğu gibi, ön soğutma işlemleri, soğukta muhafaza, kontrollü ve modifiye atmosfer koşullarda muhafaza, büyüme düzenleyiciler ve yenilebilir materyaller ile meyvelerin kaplanması gibi uygulamalar bulunmaktadır. Fungal patojenler, bitkilerin tüm büyüme evrelerinde ve meyvelerin hasat sonrası işlenmesi sırasında mikrobiyal bozulmalara yol açarak önemli ekonomik kayıpların ana nedenlerindendir. Bu bozulma ve fungal bulaşlara karşı alınan önlemlerden biri de yenilebilir kaplama materyallerinin kullanımıdır. Kitosan (Ruan ve ark., 2022), nişasta (Lima ve ark., 2022), pektin (Priyadarshi ve ark., 2022), pullulan (Ghosh ve ark., 2022), selüloz (Dave ve ark., 2017) ve soya proteini (Zhang ve ark., 2022a) son dönemlerde yaygın olarak kullanılan yenilebilir kaplama materyalleridir (Ranjith ve ark., 2022). Yenilebilir kaplama materyallerinin ekonomik, çevre dostu ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisinin olmaması istenir. Bu kategoride değerlendirilen ıstakoz, yengeç ve karides gibi kabuklu deniz canlılarının dış iskeletinde bulunan kitinin deasetilasyonu yoluyla elde edilen kitosan, antioksidan ve antimikrobiyal

özellik gösteren önemli bir polimerdir (Tokatlı ve Demirdöven, 2015). Kitosan uygulamaları meyve ve sebzelerin polifenol oksidaz enzimini inhibe ederek esmerleşmeyi kontrol altına almakta ve renk değerlerini en iyi şekilde muhafaza etmektedir. Ayrıca solunum ve ağırlık kaybını en aza indirerek meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmaktadır (Tokatlı ve Demirdöven, 2020). Son yıllarda yapılan çalışmalarla farklı boyutlarda kitosan kullanılarak uygulamanın etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir (Kou ve ark., 2019; Eldib ve ark., 2020; Kassem ve ark., 2022; Elabd ve ark., 2025).

Nanoteknoloji, küçük partikül boyutu, antimikrobiyal özellikler, UV koruması, artan stabilite ve raf ömrü, serbest radikal süpürücü nitelikleri ve uzun ömürlü olması gibi olumlu nitelikleri nedeniyle ilaç, gıda ve kozmetik gibi sektör ürünlerinin geliştirme sürecinin entegre bir parçası haline gelmiştir. Birçok alana konu olan nanoteknoloji, son yıllarda tarımsal alanlarda da değerlendirilmeye başlanmıştır. Araştırmacılar son gelişmelerle birlikte çevre dostu, düşük maliyetli, kolay sentezlenebilir yöntemlerle nanopartikül oluşum üzerine yoğunlaşmışlardır (Ahmad ve ark., 2019; Korkmaz ve ark., 2022). Nanopartikül üretiminde uzun zamandır kullanılan fiziksel, kimyasal teknolojiler sayesinde yüksek çözünürlüğe sahip küçük partiküller, kısa sürede üretilebilmesine rağmen toksik içeriklerinin yüksek olması, partikül kararlılıklarının iyi olmaması ve pahalı olması nedeniyle yeni teknolojiler arayışını gerekli kılmıştır. Sonuçta, çevre dostu, toksik madde içeriği az, canlı hücrelerden nanopartikül üretimi esasına dayanan “yeşil nanoteknoloji” terimi ortaya çıkmıştır (Narayanan ve Sakthivel, 2010).

Yeşil nanoteknoloji kapsamında özellikle yeşil bitki ekstraktları ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bu anlamda birçok yeşil bitki ekstraktları nanopartikül üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmasıyla (Krishnavaj ve ark., 2010), canlı hücrelerin metal iyonlarını indirgeyerek toksik metallerin toksisitelerini azalttıkları bildirilmiştir (Saifuddin ve ark., 2008).

Bitkiler gelişimleri için makro ve mikro besin elementlerine ihtiyaç duyar. Mikro besin elementleri içerisinde bulunan bor, bitki hormonlarının düzenlenmesi, hücre bölünmesi, hücre duvarının oluşumu ve şekerin taşınması gibi birçok önemli olayda rol almaktadır. Literatürde bor elementi ile yapılan çalışmalar hasat önu yaprak uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan birçok çalışmada hasat öncesi bor uygulamalarının bitkiler

üzerine dölleme ve meyve tutumu (İkinci ve Aldanmaz, 2022), hücre duvarının oluşması (Namlı ve ark., 2022), meyvelerde şekil bozuklukları ve meyve eti sertliğinin artırılması (Gholamnejad ve ark., 2022) gibi önemli etkilerinin yanında funguslar başta olmak üzere bazı hastalık ve zararlılara karşı tolerans (Bi ve ark., 2022), önleyici ve tedavi edici (Estevez-fregoso ve ark., 2021) katkılarının olduğu belirlenmiştir. Bor içeren bileşikler de içerisine alan antifungus özelliğine sahip doğal ürünlerdeki tüm kimyasal bileşikler veya mikozları tedavi etmek için kullanılan farmakolojik ajanları kapsar. Bazı tavaborole etken maddeye sahip ilaçlar, Amerika Birleşik Devletleri gıda ve ilaç idaresi (FDA)'nin insanlarda kullanım için lisans verdiği ve enfekte hastalar için kayda değer faydalar sağladığı belirlenen bor içeren bileşikler arasında yer almaktadır (Jackson ve ark., 2020). Bor ürünü olan bileşiklerin taze ürünlerde kalıntı sorunundan muaf tutulması önerilmekte, uygun şekilde kullanıldığında çevresel yönden sorun teşkil etmeyeceği vurgulanmaktadır. Bor, borik asit formunda suda çözünebilen, antiseptiklerin, insektisitlerin ve fungisitlerin içeriğinde bulunan ve bitki gelişimine yardımcı olan temel bir mikro besin elementidir (Soylu ve ark., 2022). Ayrıca farklı meyve türlerinde hasat öncesi bor uygulamalarının, hasat sonrası muhafaza süresince meyve kalitesine olumlu katkılarının olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Khalaj ve ark., 2016; Mohebbi ve ark., 2020). Yapılan literatür taramalarında bor elementinin nanopartikül boyutunda sınırlı sayıda ve hasat öncesi yaprak uygulamaları olarak kullanıldığı, hasat sonrası hem bor elementinin hem de bor nanopartikül uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı çalışmalara rastlanmamıştır.

Bitkiler için önemli olan bir diğer besin elementi ise bakırdır. Bakır tarımda antifungal özelliğinden dolayı birçok bitkide fungusit olarak kullanılmaktadır. Bakır ile hasat öncesi tatlı patates (Bonilla-Bird ve ark., 2018), çilek (Eshghi ve ark., 2014), domates (Shen ve ark., 2020), karpuz (Borgatta ve ark., 2018), soya fasulyesi (Deng ve ark., 2022) gibi farklı türlerde yapılan çalışmalarda besin elementi alınımları, fungal gelişimi önlemede olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu türlerde yapılan çalışmalarda araştırmacılar genellikle bakır, bakır bazlı nanokitosan ve bakır nanopartikül kullanılmasıyla meyve ve sebzelerin muhafaza performansları üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Son yıllarda mikroorganizmaların çeşitli antibiyotiklere dayanıklılık geliştirmesi ve bu nedenle çok basit hastalıklarla mücadelenin güçleşmesi güncel olarak tartışılan önemli

konulardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle bilim insanları çeşitli tekniklerle üretilen nanopartiküllerin çok düşük oranlarının gösterdiği yüksek etkileri, dokulara yüksek penetrasyon kabiliyetleri ve küçük moleküllerin iletim demetlerinde çok daha kolay taşınımları, hedef doku ya da moleküllere bağlanarak diğer dokulara zarar vermeme özellikleri nedeniyle etkili bir çözüm olacağını bildirmektedirler (Ghassan ve ark., 2013). Fungal patojenler, bitkilerin bütün büyüme evrelerinde ve meyvelerin hasat sonrası işlenmesi sırasında önemli ekonomik kayıpların ana nedenleri arasındadır. *Monilinia spp.* ve *Botrytis cinerea* gibi fungal hastalık etmenleri en gelişmiş hasat öncesi ve hasat sonrası teknolojileri uygulandığında bile, bahçe veya hasat sonrası depolarda meyvelerde ciddi zarara neden olabilmektedirler (Spadaro ve ark., 2004). Son zamanlarda yapılan birçok araştırma, gümüş (Özdemir ve Doğru, 2022), bakır (Youssef ve ark., 2017; Hasanin, ve ark., 2022), kitosan (Babae, 2022) ve çinko oksit (Singh, 2022) gibi çeşitli nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitelerini ortaya koymuştur. Bakır nanopartiküllerin, gram pozitif bakterilere, standart ve klinik suşlara karşı ve metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* dahil olmak üzere gümüş nanopartiküller ve bazı antibiyotiklerle karşılaştırıldığında yüksek aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Kruk ve ark., 2015). Ayrıca bu partiküller *Candida* türlerine karşı da antifungal aktivite sergilemiştir. CuO nanopartiküllerinin yapraktan uygulamaları, oomyceteslerden *Phytophthora* türlerinin de büyümesini sınırlamıştır (Giannousi ve ark., 2013). Kombine bakır-kitosan kolloidleri, yeni nesil bakır bazlı biyo-pestisit olarak kullanılmaktadır (Brunel ve ark., 2013). Kitosan bazlı bakır nanomalzemeler, fungus önleyici, antibakteriyel ve ayrıca bitki büyümesini teşvik edici ajanlar olarak da kullanılmıştır (Hardy ve ark., 2004; Jaiswal ve ark., 2012, Saharan ve ark., 2013, Saharan ve ark., 2015).

Bu tez çalışmasında, kiraz yapraklarından yeşil sentez yöntemiyle elde edilen bakıroksit nanopartikül, bor nanopartikül, nanokitosan, bakıroksit nanopartikül + nanokitosan ve bor nanopartikül + nanokitosan biyokompozitlerinin; *Monilinia spp.* ve *Botrytis cinerea* fungal patojenlerine karşı antifungal etkinlikleri, farklı doz aralıklarında hem in vitro hem de in vivo koşullarda değerlendirilmiştir.

Elde edilen uygun dozlar daha sonra çilek ve kiraz meyvelerine kaplama yöntemiyle uygulanmış ve bu biyokompozitlerin hasat sonrası muhafaza performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Literatürde, bakıroksit nanopartikül ve nanokitosanın antifungal

etkilerine dair çeşitli çalışmalar bulunsa da, bu iki maddenin kombine kullanımına yönelik araştırmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca, bor nanopartikülünün tek başına ya da bor temelli nanokitosan biyokompozitleri formunda kullanımına dair antifungal etkinlik çalışmaları literatürde neredeyse yoktur. Bu durum, çalışmanın hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan önemli bir boşluğu doldurduğunu ve özgünlük taşıdığını göstermektedir.

Farklı metal nanopartiküllerin sentezlenmesi ve bu nanopartiküllerin bireysel ya da kombine olarak meyve kaplamasında kullanılması üzerine yapılan çalışmalarda, genellikle ya nanopartiküllerin mikroorganizmalara karşı etkileri in vitro koşullarda test edilmekte ya da daha önce etkili olduğu bilinen kaplama materyallerinin meyve-sebze muhafazası üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Ancak bu tez çalışması, süreci en başından ele alarak nanopartikül sentezi, antifungal doz tayini ve gerçek meyve uygulamalarını kapsayan daha bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Sentezlenen nanopartiküllerle kaplanan meyvelerin oral yolla alındığında toksik etki oluşturabileceği düşünülse de, bitki özütü kullanılarak elde edilen nanopartiküllerin partikül büyüklüğü genellikle 40–60 nm aralığında olup, bu aralık hücresel alım için optimal sınırların dışındadır. Ön çalışmalarda elde edilen nanopartiküllerin boyutunun 49–87 nm arasında olduğu belirlenmiştir. Literatürde 10 nm altı nanopartiküllerin toksisite riski daha yüksek olduğu belirtilmiş (Vishwakarma ve ark., 2010); ancak bu çalışmada kullanılan partikül boyutlarının bu riskin dışında olduğu ve meyvenin yıkanması durumunda yüzeyden kolaylıkla uzaklaştırılabileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması hem yeni nesil kaplama materyallerinin sentezlenmesini hem de bunların antifungal etkinliklerinin ve muhafaza performanslarının test edilmesini hedefleyen özgün ve kapsamlı bir çalışmadır. Tez, yalnızca akademik bilgiye katkı sunmakla kalmayıp aynı zamanda uygulamaya dönük çözüm önerileri ile hasat sonrası kayıpların azaltılmasına yönelik pratik bir yaklaşım sunmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Çilek ve Kirazda Yapılan Muhafaza Çalışmaları

Çilek ve kiraz, yüksek su içeriğine sahip, raf ömrü kısa meyveler arasında yer almakta ve bu nedenle hasat sonrası dönemde kalite kayıplarına son derece hassastır. Meyve sertliği, renk değişimi, mikrobiyal gelişim, C vitamini kaybı ve fenolik bileşiklerdeki değişimler gibi kalite kriterleri, uygun muhafaza teknikleri ile korunabilmektedir. Bu kapsamda birçok çalışma, farklı ön işlem teknikleri, yenilebilir kaplamalar, atmosfer koşulları ve sıcaklık kontrolü gibi muhafaza stratejilerini değerlendirmiştir.

Ağlar ve ark. (2017), ‘0900 Ziraat’ kiraz çeşidinde hasat öncesi Parka ve hasat sonrası modifiye atmosfer ambalajlama (MAP) uygulamalarının, meyve kalitesi ve biyoaktif bileşiklerin korunmasına etkilerini incelemişlerdir. Soğuk muhafaza ve raf ömrü süresince ağırlık kaybı MAP uygulamalarıyla önemli düzeyde azaltılmış, çürüme oranları ise Parka, MAP ve Parka+MAP uygulamalarında kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, bu uygulamalar meyve eti sertliğini korumada etkili olmuş; özellikle Parka ve Parka+MAP gruplarında yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. C vitamini içeriği MAP ve Parka+MAP gruplarında daha iyi korunmuş, toplam fenolik madde miktarı ise soğuk depolama süresince özellikle Parka+MAP uygulamalarında daha yüksek seviyelerde kalmıştır. Ancak raf ömrü boyunca toplam fenolikler kontrol grubunda daha fazla tespit edilmiştir. Antosiyanin içeriği analizlerinde genel olarak kontrol grubunun daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, Parka ve MAP kombinasyonunun, kiraz meyvesinde tüketici tercihlerini doğrudan etkileyen doku kalitesini korumada etkili olabileceğini bildirmişlerdir.

Güler ve ark. (2019), ‘0900 Ziraat’ kiraz çeşidinde soğuk depolama ve raf ömrü süresince aminoetoksivinilglisin (AVG) ve modifiye atmosfer paketleme (MAP) uygulamalarının kalite özelliklerine etkisini incelemiştir. Tüm uygulamalarda, kontrol grubuna kıyasla daha düşük ağırlık kaybı ve çürüme oranları gözlemlenmiştir. Özellikle MAP uygulaması bu parametrelerin korunmasında daha etkili bulunmuştur. AVG ve MAP uygulamaları, meyve sertliği, renk açısı, titrasyon asitliği, C vitamini, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite açısından pozitif etkiler sağlamıştır. AVG+MAP kombinasyonu,

soğuk depolama boyunca kalite kayıplarını en aza indirerek, meyve kalitesini korumada etkili bir strateji olarak öne çıkmıştır. Öte yandan, kontrol grubunda daha yüksek toplam monomerik antosiyanin seviyeleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, AVG ve MAP uygulamalarının birleştirilmesinin kiraz meyvesinin hasat sonrası muhafazasında etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Shehata ve ark. (2020), çilek meyvesinde raf ömrünü uzatmak amacıyla limon, portakal ve mandalina yağlarının etkisini incelemişlerdir. 18 gün süren soğuk muhafaza boyunca, uçucu yağ uygulamaları meyvelerde çürüme oranını düşürmüş, C vitamini, toplam fenolik ve antioksidan aktiviteyi artırmıştır. Ayrıca duyu özellikler de iyileşmiş ve ürün kabulü yükselmiştir. Uygulamalar, kalite kayıplarını geciktirerek çileklerin depolama süresini uzatmada etkili bulunmuştur.

Luo ve ark. (2020), *Laminaria japonica* kaynaklı fucoidan (FL) kaplamasının, çilek meyvesinde antioksidan kapasite ve antioksidan bileşenlerin soğuk depolama süresince bozulma kinetiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Katmanlı kaplama yöntemiyle uygulanan FL'nin, fenolik bileşikler ve askorbik asit içeriklerinin yanı sıra genel antioksidan kapasitenin bozulma hızını belirgin şekilde yavaşlattığı görülmüştür. FL uygulaması, antioksidan bileşiklerin yarı ömrünü artırarak kaliteyi korumuş, bu durum yüksek korelasyon katsayılarıyla da desteklenmiştir. Sonuç olarak, FL kaplaması çilekte antioksidan kapasiteyi koruyarak muhafaza süresini uzatmada etkili bulunmuştur.

Faizy ve ark. (2021), MeJA uygulamalarının kiraz meyvelerinde hasat zamanının ertelenmesi ve meyve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, MeJA uygulamaları meyve ağırlığını korumuş, çatlama oranını azaltmış ve gecikmeli hasatta C vitamini, toplam fenolik, flavonoid, antosiyanin ve antioksidan aktiviteyi artırmıştır. Depolama süresince, MeJA uygulanan meyvelerde ağırlık kaybı ve solunum hızı daha düşük, biyoaktif bileşik içerikleri ise daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, MeJA'nın hem hasat zamanı yönetiminde hem de kalite korumada etkili olabileceği belirtilmiştir.

Öztürk ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada hasat öncesi gibberellik asit (GA_3) ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) ile hasat sonrası modifiye atmosfer paketlenme (MAP) uygulamalarının kiraz meyvesinin soğuk muhafazası süresince kalite özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, GA_3+CaCl_2 (MAP ortamında) ve $CaCl_2$ (MAP

olmadan) uygulamaları, ağırlık kaybını ve çürümeyi azaltmıştır. Ayrıca, bu uygulamalar meyve sertliğini, C vitamini düzeyini ve antioksidan aktiviteyi koruma açısından etkili bulunmuştur. CaCl_2 , toplam flavonoid düzeyini yüksek tutarken, GA_3 uygulanan meyvelerde bazı biyoaktif bileşiklerin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, GA_3 ve CaCl_2 uygulamalarının hasat öncesi uygulamalar olarak meyve sertliğini korumada faydalı olabileceğini göstermektedir.

Afonso ve ark. (2023), kiraz meyvesinin soğuk muhafaza sürecinde kalite kayıplarını azaltmak amacıyla, bitkisel özütler (*Mentha piperita*, *Satureja montana*, *Thymus vulgaris*), Aloe vera ve kitosan içeren yenilebilir kaplamaların etkisini araştırmışlardır. Meyveler 2°C 'de 14 gün, ardından 20°C 'de 3 gün süreyle muhafaza edilmiştir. Özellikle *Satureja montana* (SMA) ve *Thymus vulgaris* (TVA) özütleriyle hazırlanan kaplamalar; ağırlık ve sertlik kaybını azaltmış, olgunlaşma indeksinde gecikme sağlamış ve antioksidan aktiviteyi artırmıştır. Bu kaplamalar, meyvenin biyoaktif bileşen içeriğini ve duysal kalitesini korurken, olumsuz bir etki göstermemiştir. Sonuçlar, SMA ve TVA kaplamalarının kirazın hasat sonrası kalitesini korumada etkili, doğal ve yenilikçi bir yöntem olabileceğini ortaya koymuştur.

Çezik ve Saraçoğlu (2024), hasat sonrası dönemde 'Monterey' çilek çeşidinin farklı meyve sapı uzunlukları (0, 5 ve 10 cm) ve kalsiyum klorür (CaCl_2 ; %0, 2 ve 4) uygulamalarının, soğuk muhafaza sürecindeki kalite değişimleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Meyveler, CaCl_2 solüsyonuna daldırıldıktan sonra $1.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %90 bağıl nemde 21 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Çalışma süresince, ağırlık kaybının zamanla arttığı, ancak 5 cm sap uzunluğuna sahip meyvelerde bu kaybın en az olduğu belirlenmiştir. Çürüme oranları açısından en iyi sonuçlar, 0 ve 5 cm sap uzunluğundaki meyvelerde, ayrıca CaCl_2 uygulamaları arasında da %2'lik dozun en etkili olduğu rapor edilmiştir. Çözünür katı madde miktarının depolama süresince azaldığı, fenolik bileşikler ve diğer fitokimyasalların ise uygulamalara ve sap uzunluklarına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak, 0 ve 5 cm sap uzunluğu ve %2 CaCl_2 uygulaması, kalite parametrelerinin korunmasında etkili bulunmuş ve önerilmiştir.

Orman ve ark. (2024) tarafından yürütülen çalışmada, çilek meyvesine farklı konsantrasyonlarda (0, 1.0, 1.5 ve 2.0 mM) uygulanan spermidin uygulamalarının hasat

sonrası meyve kalitesi ve biyokimyasal bileşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Spermidin uygulaması; meyvelerde ağırlık kaybı, çürüme oranı, suda çözünür kuru madde, titre edilebilir asitlik, pH oranı ve solunum hızındaki değişimleri önemli ölçüde engellemiştir. Çalışmada, 2.0 mM spermidin uygulamasının malik asit ve klorojenik asit gibi temel organik ve fenolik bileşikler en iyi koruyan doz olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, 2 mM spermidin dozunun çilek meyvesinin raf ömrünü uzatmada ve biyokimyasal değişimleri azaltmada etkili bir muhafaza stratejisi olabileceğini ortaya koymuştur.

Eroğul ve ark. (2024) tarafından yürütülen çalışmada, hasat sonrası uygulanan farklı konsantrasyonlardaki kalsiyum klorür (CaCl_2) uygulamalarının çilek meyvesinin (Albion cv.) fiziksel kalite parametreleri ve biyoaktif bileşen içerikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Meyveler %2, %4 ve %6 CaCl_2 ile muamele edilerek 0 ± 0.5 °C ve 90 ± 5 bağıl nem koşullarında 15 gün süreyle depolanmış ve her 5 günde bir analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince ağırlık kaybı, çürüme oranı, çözünür katı madde içeriği, asitlik, pH, solunum hızı, çeşitli organik asitler (malik, sitrik, askorbik, fumarik, oksalik, süksinik, tartarik) ve fenolik bileşikler (kateşin, klorojenik, ferulik, gallik, o-kumarik, p-kumarik, protokateşik, kuersetin, rutin, şiringik) değerlendirilmiştir. Sonuçlar, CaCl_2 uygulamalarının meyve kalitesini ve biyoaktif bileşenleri korumada etkili olabileceğini ortaya koymuştur.

Çolak ve ark. (2025) yaptıkları çalışmada, kiraz meyvesine hasat sonrası farklı dozlarda spermidin (0.5, 1.0 ve 1.5 mM) uygulamış ve meyveleri 30 gün boyunca soğukta muhafaza etmişlerdir. Kontrol grubunda ise herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Depolama boyunca, ağırlık kaybı, çürüme oranı, pH, suda çözünür kuru madde (SSC) ve solunum hızı gibi parametrelerde artış; buna karşılık titre edilebilir asitlikte azalma gözlenmiştir. Uygulamalar arasında, 1.5 mM spermidin dozu, fenolik bileşikler, organik asitler ve C vitamini seviyelerinin korunmasında en etkili doz olarak öne çıkmıştır. Özellikle süksinik asit, meyvede baskın organik asit olarak belirlenmiş ve kontrol grubunda 30. gün sonunda ciddi oranda azalmıştır. Benzer şekilde, galik asit, kuersetin ve rutin gibi bireysel fenolik bileşiklerde de spermidin uygulamaları koruyucu etki göstermiştir. Bu sonuçlar, spermidin uygulamalarının kiraz meyvesinin raf ömrünü

uzatma ve besin içeriğini koruma açısından etkili bir hasat sonrası yöntem olabileceğini ortaya koymuştur.

Patil ve ark. (2025) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda uygulanan hidroksipropil metilselüloz (HPMC; %1.0, %1.5, %2.0) ve metil selüloz (MC; %1.0, %1.5, %2.0) kaplamalarının, ‘Winter Dawn’ çilek çeşidinin soğukta muhafaza süresince kalite özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Meyveler 4 ± 1 °C ve %85–90 bağıl nem koşullarında 12 gün boyunca depolanmıştır. Çalışmada; ağırlık kaybı, çürüme oranı, sertlik, suda çözünen katı madde, askorbik asit, fenolik bileşikler, flavonoidler, antioksidan aktivite ve renk gibi birçok kalite parametresi değerlendirilmiştir. %1.0 MC kaplaması, özellikle pektin metilesteraz aktivitesini azaltarak meyve kalitesini koruma ve raf ömrünü uzatma açısından en etkili uygulama olarak öne çıkmıştır. Sonuçlar, %1.0 MC uygulamasının, çileğin hem besin değerini hem de fizyolojik özelliklerini koruyarak 12 güne kadar raf ömrünü uzatabildiğini göstermiştir.

2.2. Nanoteknolojinin Bahçe Bitkilerinde Kullanımı

Nanoteknoloji, modern tarım uygulamaları içinde giderek daha fazla ön plana çıkmakta ve tarımsal verimliliğin artırılmasında büyük umut vaat ederek gelecekteki gıda güvenliğine katkı sağlamaktadır. Bahçecilikte, hasat edilen meyve ve sebzelerin kalite kayıplarını önlemek ve bozulmalarını en aza indirmek oldukça zorlu bir süreçtir. Bu bağlamda, çeşitli nanomalzemeler; ürün verimliliğini artırma, raf ömrünü uzatma, hasat sonrası kayıpları azaltma ve ürün kalitesini iyileştirme konularında yüksek potansiyel sunmaktadır. Özellikle antimikrobiyal özelliklere sahip nanomalzemelerin, hasat sonrası ürünlerde ya da ambalaj malzemelerinde nanofilm olarak kullanımı; sebze ve meyvelerin depolanması ve taşınması sürecinde etkili bir koruma sağlamaktadır. Ayrıca bu tür nanoyapılar, kesme çiçeklerin canlılığını artırmakta ve estetik değerini korumaktadır. Tarımda kullanılan nanogübreler, hedefe yönelik, kontrollü ve yavaş salınım özellikleri sayesinde bitkilerde vejetatif büyümeyi, çiçeklenmeyi ve tozlaşmayı desteklemekte; meyve ağaçlarında ve sebzelerde verim ve kaliteyi önemli ölçüde artırmaktadır. Benzer şekilde, formüle edilmiş nanopestisitler, hedef organizmalar üzerinde yüksek etki gösterirken çevreye daha az zarar vermektedir. Öte yandan, geliştirilen nanosensörler sayesinde tarla koşullarında bitki büyümesi, hastalık ve zararlı tespiti gibi parametreler

gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, bu da hassas tarım uygulamaları için büyük avantaj sunmaktadır. Toprak nemi, pestisit kalıntısı, mikroorganizma yükü gibi birçok faktör nanosensörler aracılığıyla kolaylıkla analiz edilebilmekte ve böylece ürün kalitesi ile gıda güvenliği artırılabilir (Rana ve ark.,2021).

2.2.1. Nano gübre

Trujillo-Reyes ve ark. (2014), demir (Fe/Fe_3O_4) ve bakır (Cu/CuO) nanoparçacıklarının marul bitkisinin fizyolojisi ve besin içeriği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Nano-demir uygulamaları fizyolojik parametrelerde belirgin bir değişiklik yaratmazken, nano-bakır kök uzunluğu, su içeriği ve kuru madde miktarını azaltmıştır. Nano- Cu/CuO köklerde daha fazla birikim göstermiş, CAT enzim aktivitesini artırırken APX'yi düşürmüştür. Ayrıca Cu, Al ve S miktarlarını artırmış; Mn, P, Ca ve Mg içeriklerini azaltarak bitkinin besin değerlerini değiştirmiştir.

Moghaddasi ve ark. (2017), kaplı ve kaplanmamış çinko oksit nanoparçacıklarının (ZnO NP) farklı toprak yapılarında (organik madde içerikli ve içeriksiz) biyoyararlanımı ve fitotoksitesini incelemiştir. Düşük dozlarda (<100 mg/kg) ZnO NP'ler pozitif etkiler gösterirken, yüksek dozda (1000 mg/kg) özellikle organik gübre içermeyen toprakta sürgün kuru maddede %52 azalma gibi fitotoksik etkiler gözlenmiştir. Buna karşılık, aynı doz CM ile zenginleştirilmiş toprakta %35'lik artış sağlamıştır. Nanoparçacıklar, geleneksel ZnO 'ya kıyasla daha fazla çinko birikimi sağlamış, özellikle kök uçlarında deformasyonlara ve sitoplazmada kümelenmelere neden olmuştur. Çalışma, topraktaki organik maddenin ZnO NP'lerin etkilerini önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Ahmed ve ark. (2023), domates bitkilerinde çinko ve çinko oksit nanopartiküllerinin yapraktan uygulanmasının büyüme, verim, besin alımı ve meyve kalitesi üzerine etkilerini araştırmış ve ZnO nanopartiküllerinin klasik çinko gübresine göre bitki gelişimi ve ürün kalitesi üzerinde daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, nanogübrelerin yüksek verimlilikte besin taşıma kapasitesi ile ilişkilendirilmiştir.

Hmmam ve ark. (2025), yeşil sentezli NPK nano-gübrelerin 'Picual' zeytin çeşidinde büyüme, verim ve yağ kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. 2000, 3000 ve 4000 mg/L dozlarında yapraktan uygulanan NPKNF'ler, özellikle 4000 mg/L dozunda, meyve iriliği,

et/çekirdek oranı, yağ verimi ve çiçeklenme gibi parametrelerde önemli gelişmeler sağlamıştır. Yağdaki toplam fenolik bileşik içeriğinde bir miktar azalma gözlenmiş olsa da (örn. 4000 mg/L: 277.11 mg/kg; kontrol: 350.51 mg/kg), tüm yağ örnekleri sızma zeytinyağı olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, uygulamalar düşük verim zamanında sezonunda verimi artırarak periyodisite etkisini azaltmıştır. Bu sonuçlar, NPKNF'nin zeytin üretiminde kalite ve verimi artırmak adına umut vadeden bir uygulama olduğunu göstermektedir.

Chauhan ve ark. (2025), elma ağaçlarında farklı oranlardaki geleneksel azot gübresi (üre) ile nano-azot (nano-N) uygulamalarının fizyolojik ve verim özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. %70 ve %60 oranında önerilen azot dozları ile iki kez %0.5 nano-N yapraktan uygulama, en olumlu sonuçları vermiştir. Bu tedaviler meyve tutumu, verim, antioksidan aktivite ve flavonoid içeriğinde belirgin artış sağlarken; meyve dökümünü %12.90–15.18 oranında azaltmıştır. Pembe tomurcuk ve taç yaprağı dökülme evrelerinde yapılan nano-N uygulamalarının, daha düşük azot dozlarıyla birlikte yüksek yoğunluklu elma bahçelerinde verimliliği artırmada etkili olduğu belirtilmiştir.

2.2.2. Nano-bitki büyüme uyarıcısı

Cañas ve ark. (2008), fonksiyonelleştirilmiş ve fonksiyonelleştirilmemiş tek duvarlı karbon nanotüplerin (SWCNT) altı farklı kültür bitkisinin (lahana, havuç, hıyar, marul, soğan, domates) kök uzamasına etkilerini incelemiştir. Fonksiyonelleştirilmemiş nanotüpler domateste kök gelişimini engellerken, soğan ve hıyarda pozitif etkiler göstermiştir. Fonksiyonelleştirilmiş nanotüpler ise marulda kök uzamasını sınırlamıştır. Diğer türlerde ise belirgin bir etki gözlenmemiştir. Elektron mikroskobu görüntüleri, nanotüplerin kök yüzeyine tutunduğunu ancak hücre içine alınmadığını göstermiştir. Bu çalışma, karbon nanotüplerin bitki türüne ve yüzey özelliklerine bağlı olarak farklı toksikolojik etkiler gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Zuverza-Mena ve ark. (2016), gümüş nanoparçacıkların turp filizlerinin (*Raphanus sativus*) fizyolojisi ve besin değeri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Beş gün boyunca 0, 125, 250 ve 500 mg/L nAg uygulanan fidelerde, çimlenme etkilenmemiş ancak özellikle 500 mg/L dozda kök ve sürgün uzunluğu sırasıyla %47.7 ve %40 azalmıştır. Aynı dozda fidelerde su içeriği düşmüş, Ag birikimi artmış ve Ca, Mg, B, Cu, Mn ve Zn miktarları

azalmıştır. IR spektroskopisi, lipid, protein ve hücre duvarı bileşenlerinde yapısal değişiklikler göstermiştir. Bulgular, yüksek dozda gümüş nanoparçacık uygulamasının büyüme ve besin içeriğini olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymuştur.

Faizan ve ark. (2018), ZnO nanopartiküllerinin domates bitkilerinde fotosentetik etkinlik, klorofil içeriği ve antioksidan savunma sistemleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu nanoparçacıkların strese karşı bitkisel dayanıklılığı artırarak fotosentetik performansı iyileştirdiğini göstermiştir.

Ali ve ark. (2025), çinko oksit (ZnO) uygulamalarının farklı ekim zamanı ve yerleriyle birlikte bitki verimi ve bazı fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. En yüksek tohum verimi 2.5 ppm ZnO ile Ekim ayında elde edilirken, 5 ppm ZnO bitki boyu ve kök gelişimini artırmıştır. Korelasyon analizleri, verim ile çimlenme oranı ve boğum sayısı arasında güçlü ilişkiler göstermiştir. Çalışma, ZnO'nun uygun dozlarda uygulanmasının bitki gelişimini ve stres toleransını artırabileceğini ortaya koymuştur.

Hong ve ark. (2025), nano-TiO₂ (rutil) uygulamasının ıspanakta ışık altında kloroplast yaşlanmasına etkisini incelemiştir. %0.25 nano-TiO₂ ile muamele edilen yapraklarda, ışığa maruz kalma süresi uzadıkça oksijen salımı kontrol grubuna göre daha yüksek kalmış ve yaşlanma etkileri geciktirilmiştir. Nano-TiO₂, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitelerini artırmış, serbest radikal birikimini ve MDA seviyesini azaltarak kloroplast zarının bütünlüğünü korumuştur. Bu sonuçlar, nano-TiO₂'nin ışık stresine karşı koruyucu rol oynayabileceğini göstermektedir.

2.2.3. Vazo ömrü nanomalzemeler

Lü ve ark. (2010), kesme gül çiçeklerinde nano-gümüş (NS) uygulamasının vazo ömrüne etkisini incelemiştir. 50 ve 100 mg L⁻¹ dozlarında yapılan 1 saatlik uygulamalar, vazo ömrünü uzatmış, su kaybını azaltmış ve gövde iletkenliğini korumuştur. Ayrıca, NS uygulamaları terlemeyi azaltarak yapraklardaki stoma açıklığını küçülmüş ve su dengesini iyileştirmiştir.

Li ve ark. (2012) kesme güllerin vazo ömrünü uzatmak amacıyla uygulanan nano-gümüş (NS), su alımını artırmış ve sap uçlarında bakteri kaynaklı ksilem tıkanıklığını azaltmıştır. 50 mg/L NS dozunun dört farklı bakteri türüne karşı %100'e yakın antibakteriyel etki

gösterdiği saptanmıştır. Elektron mikroskopuyla yapılan incelemelerde, NS uygulanan çiçeklerde bakteri birikiminin belirgin şekilde azaldığı gözlenmiştir. Sonuçlar, NS'nin kesme çiçeklerin raf ömrünü uzatmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Amingad ve ark. (2017), kesme gül çiçeklerinin vazo ömrünü uzatmak amacıyla nanogümüş içeren çözeltilerin su ilişkileri ve mikrobiyal yük üzerine etkilerini değerlendirmiştir. 'Taj Mahal' çeşidi güller, 50 ppm nanogümüş çözeltisine yerleştirildiğinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamalar, su alımını artırmış, su kaybını azaltmış ve mikrobiyal gelişimi baskılamıştır. Bu çalışma, nanogümüşün kesme çiçeklerde hasat sonrası bozulmayı geciktirmede etkili bir teknoloji olduğunu ortaya koymuştur.

AleKasir ve ark. (2017), kesme gül ('High ve Magic' çeşidi) çiçeklerinde yapılan çalışmada, nano-gümüş (NS) uygulamalarının (0, 25, 75, 125 mg/L) ve %0, %2, %3 sukroz kombinasyonlarının vazo ömrü ve bazı fizyolojik parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. En uzun vazo ömrü ve en yüksek çiçek açma oranı, 75 mg/L NS + %2 sukroz uygulamasında elde edilmiştir. 125 mg/L NS ise sukroz olsun ya da olmasın, en düşük sap ucu bakteri seviyesini sağlamıştır. NS uygulamaları, su alımını, taze ağırlık korunmasını, çiçek çapını ve Fv/Fm oranını iyileştirmiştir. Kontrol grubu (sadece saf su) en kısa vazo ömrünü göstermiştir. NS uygulamaları, özellikle sukroz ile birlikte, kesme güllerin raf ömrünü belirgin şekilde uzatmıştır.

Gün (2025), MeJA, lavanta yağı ve gümüş nanoparçacık içeren nanofiberlerin, kesme güllerin vazo ömrü ve kalite üzerine etkilerini incelemiştir. Nanofiber membranlar, antibakteriyel özellik göstererek su alımını artırmış, taze ağırlık kaybını azaltmış ve enzim aktivitelerini yükselterek kaliteyi korumuştur. En etkili uygulamalar 500 mg/L NF+MeJA+AgNP ve 100 mg/L NF+MeJA olarak belirlenmiş; toksisite ise yüksek dozlarda gözlenmiştir. Sonuçlar, nanofiber teknolojisinin kesme çiçeklerin raf ömrünü uzatmakta etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

2.2.4. Nanofilmler/kaplamalar

Shahbazi (2018), *Mentha spicata* (nane) yağı (%0.2) içeren kitosan (CH) ve karboksimetil selüloz (CMC) kaplamalarının çiçeklerde mikrobiyal, fiziksel ve duyuşal

kaliteyi korumadaki etkilerini incelemiştir. CH + MSO %0.2 ve CMC + MSO %0.2 uygulamaları, *Listeria monocytogenes*'de yaklaşık 3.7–3.9 log azalma sağlamış; ağırlık kaybını, mikrobiyal çoğalmayı sınırlayarak duyu kaliteyi korumuştur. Bu kaplamalar, taze meyveler için etkili bir biyolojik ambalaj seçeneği olarak öne çıkmıştır.

Ghosh ve Ghosh (2020), muz gövdesinden elde edilen selüloz temelli biyobozunur ambalaj malzemelerinin siyah üzüm depolama kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Selülozdan türetilen nanonüfuz edici nanoselüloz, polivinil alkol (PVA) ile birleştirilerek (%5) ambalaj filmi geliştirilmiştir. Bu nanofilm, 4 °C'de 12 gün boyunca üzümün ağırlık kaybını (%67.67), pH'ını (4.02), sertliğini (8.14 N), çözünabilir katı madde içeriğini (17.01 °Brix) ve titre edilebilir asitliğini (%0.99) korurken mikrobiyal gelişimi önlemiştir. Çalışma, muz psödostem kökenli nanofilmlerin üzüm gibi meyvelerin raf ömrünü uzatmada etkili, çevre dostu bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Sami ve ark. (2021), hıyarların raf ömrünü uzatmak amacıyla kitosan, TiO₂ nanoparçacıkları ve sodyum tripolifosfat (STP) içeren nano-kaplamaların etkilerini değerlendirmiştir. Uygulamalar; ağırlık kaybını azaltmış, özellikle Cu-Chitosan-TDN-ST uygulaması 3. haftada en düşük ağırlık kaybı (%3.01) ve en yüksek sertlik (55.12 N/mm) değerlerini sağlamıştır. Kaplamalar ayrıca suda çözünür katı maddeyi düşürmüş, pektin ve asit içeriğini artırmıştır. STP ilavesiyle antimikrobiyal etkinlik belirgin şekilde artmış ve 21. gün sonunda en düşük mikrobiyal yük (3.67 CFU/g) elde edilmiştir. Çalışma, bu tür kombine nano-kaplamaların salatalıkların raf ömrünü etkin şekilde uzatabileceğini ortaya koymuştur.

Shi ve ark. (2024), elektro-eğrilmiş polimer nanolif filmlere farklı aktif ajanlar (kekik yağı, klorojenik asit, natamisin, metil jasmonat) ekleyerek böğürtlenin hasat sonrası raf ömrünü artırmayı amaçlamıştır. Uygulanan nanofilmler, antimikrobiyal ve antioksidan etki göstermiştir. Özellikle kekik yağı içeren nanofilm (OPP), görünüm bozulması, çürüme oranı, yumuşama ve ağırlık kaybını en az düzeyde tutarak böğürtlenin raf ömrünü en etkili şekilde uzatmıştır.

2.3. Bor ve Bakır Nanopartikülleri ile Yapılan Çalışmalar

2.3.1. Bor nanopartikül ile yapılan çalışmalar

Meier ve ark. (2020), Ca-borat NPs'in (+B / -B) koşullarında marul ve kabakta yapraktan uygulanmasını değerlendirmiş ve Ca-B NPs, bor eksikliği altında büyüme ve fizyolojik performansı (gaz değişimi, fotosentetik pigmentler) iyileştirmiş, bitki dokularında B birikimini artırmıştır. Araştırmacılar, nano-boyutta iyon salımı/taşıyım kinetiği ve yaprak yüzeyinde daha iyi tutunma ile etkinliğin açıklandığını belirtmiştir.

Beniwal ve ark. (2024), 'Winter Dawn' çilekte nano-üre (1.5%) + ZnSO₄ (0.4–0.6%) + bor (0.4–0.6%) kombinasyonlarının büyüme, verim ve kaliteyi (TSS, C vitamini) artırdığını göstermiş; en iyi sonuç 1.5% nano-üre + 0.6% ZnSO₄ + 0.6% bor uygulamasında rapor edilmiştir. Çalışma, nano-formülasyonların besin taşınımını ve yaprak alımını iyileştirerek üretim ve kalite parametrelerini birlikte optimize edebildiğini önermektedir.

Dhiman ve ark. (2024), patatesten yapraktan nano-bor (50 mg L⁻¹) uygulamasının yumru çatlama oranını anlamlı biçimde düşürdüğünü, toplam verimi ve fotosentetik pigmentleri (klorofil, karotenoidler) artırdığını bildirmiştir; nano-bor klasik bor kaynaklarına (boraks/borik asit) göre daha iyi performans sergilemiş, fitotoksisite gözlenmemiştir. Araştırmacılar etkinin, mikrodозda daha homojen yaprak yayılımı ve yavaş salınımla borun kullanım verimliliğinin artmasına bağlandığını tartışmıştır.

Goswami ve ark. (2025), 'Anand Roma' domateste 9 uygulamayı karşılaştırmış; nano-boron 100 ppm yapraktan püskürtme (40, 55, 70. günler) bitki boyu, meyve sayısı, ortalama meyve ağırlığı ve hektar verimini üst düzeye taşıırken, yaprak bor düzeyi de en yüksek bulunmuştur. 200–400 ppm'de ve toprak uygulamalarında kazanımlar daha sınırlıdır. Nano-boronun yüzey etkileşimi yaprak penetrasyonu ile besin kullanım etkinliğini artırdığını vurgulamıştır.

Xu ve ark. (2025), bor eksikliğini gidermek amacıyla salatalık bitkilerinde nano boyuttaki bor nitrür (nano-BN) uygulamasını incelemiştir. Topraktan 10 mg/kg dozunda uygulanan nano-BN, taze ağırlığı %15.8 artırmış; toksisite göstermeden besin takviyesi sağlamıştır. Ayrıca büyümeyi teşvik eden fitohormonları artırmış, rizosferde organik madde ve

mikrobiyal aktiviteyi iyileştirmiştir. Metagenomik analizler, nano-BN'nin azot fiksasyonu ve karbon döngüsüyle ilişkili genleri artırdığını ortaya koymuştur. Sonuçlar, nano-BN'nin tarımda sürdürülebilir bir gübre alternatifi olabileceğini göstermektedir.

2.3.2 Bakır nanopatikül ile yapılan çalışmalar

Meena ve ark. (2020a), domateste Cu-kitosan nanoparçacık kaplamasının meyve yüzeyinde nano-ağ oluşturarak ağırlık kaybını, çürüme oranını ve asitlik düşüşünü sınırladığını, suda çözünür kuru madde ve duyusal kaliteyi daha iyi koruduğunu göstermiştir. Mekanizma, antimikrobiyal Cu(II) etkisi + kitosanın gaz/buhar bariyeri ve oksidatif stres modülasyonu ile açıklanmıştır.

Yan ve ark. (2023), kitosan + CuO NPs ($500 \mu\text{g mL}^{-1}$) nanokompozit kaplamanın mangoda çürüme gelişimini baskıladığını, sertlik, C vitamini ve renk stabilitesini kontrole kıyasla daha iyi koruduğunu; solunum/etilen üretimini düşürdüğünü rapor etmiştir. Önerilen etki, CuO'nun geniş spektrum antimikrobiyal aktivitesi ve kitosanın yarı-geçirgen bariyer işlevidir.

Feyzi Laeen ve ark. (2024), üzüm (*Vitis vinifera* cv. 'Shahroodi') meyve çürüklüğüne neden olan *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum*'a karşı ZnO, CuO ve SiO₂ nanoparçacıklarının etkisini araştırmıştır. Nano-ZnO ve nano-SiO₂, *A. niger* ve *B. cinerea* enfeksiyonlarını, nano-ZnO ve nano-CuO ise *P. expansum*'a bağlı çürümeyi önemli ölçüde azaltmıştır. Nano-ZnO uygulaması, meyve görünümünü iyileştirmiş, bazı gruplarda fenolik, antosiyanin ve antioksidan seviyelerini artırmıştır. En olumlu sonuçlar nano-çinko oksit ile elde edilmiştir.

Yan ve ark. (2025), *Ficus carica* meyvesinden sentezlenen CuO nanoparçacıklarla zenginleştirilmiş kitosan esaslı nano kaplama filmi (CSC) geliştirmiştir. Geliştirilen film, kitosan filmine kıyasla su buharı, oksijen ve CO₂ geçirgenliğini sırasıyla %71.78, %38.03 ve %43.12 oranında azaltırken; opaklık, gerilme direnci ve kopma uzaması gibi mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirmiştir. *Alternaria alternata*'ya karşı antifungal etkinliği %78.27 artmıştır. Domates meyvelerinde uygulandığında, 24 günlük depolama sonunda hastalık gelişimini, solunum hızını, etilen üretimini ve ağırlık kaybını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca meyvelerin askorbik asit, toplam fenol ve flavonoid içeriği korunmuş;

kabukta bakır birikimi artmıştır. CSC filmi, çevresel olarak da avantajlı olup toprakta tamamen parçalanma süresi CS filmine göre 56 gün daha uzun sürmüştür. Sonuçlar, CSC kaplamanın domateslerin raf ömrünü uzatmada ve kaliteyi korumada etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Che ve ark. (2025), kuersetin/bakır nanoparçacıklarını (QC NPs) sodyum aljinat (SA) matrisiyle kaplamaya entegre ederek ‘Shine Muscat’ üzümünün muhafazasında test etmiştir. 0.05 mg/mL’de *E. coli* ve *S. aureus*’a karşı %99.99 düzeyinde antibakteriyel etki göstermiştir. SA + QC NP kaplama, depolama sırasında ağırlık kaybını kontrolün %10.40’ına karşı %8.08’e düşürmüş, sertliği ve titrasyon asitliğini daha iyi korumuş, görsel bozulma başlangıcını geciktirmiş ve depolama süresini uzatmıştır. Araştırmacılar, etkinliğin antioksidan aktivite ve antibakteriyel bariyer etkisinin birleşimiyle ortaya çıktığını ileri sürmüşlerdir.

2.4. Çilek ve Kirazda Nanopartikül ile Yapılan Muhafaza Çalışmaları

2.4.1 Çilekte nanopartikül ile yapılan muhafaza çalışmaları

Eshghi ve ark. (2014), bakır içeren ve içermeyen nanokitosa (50–110 nm) kaplamaların çilek meyvelerinin fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. 20 gün boyunca 4 °C’de saklanan çileklerde, her iki nanochitosan uygulaması da ağırlık kaybını azaltmış, sertliği korumuş ve solunum oranındaki artışı yavaşlatmıştır. Antioksidan aktivitedeki azalma, kontrol grubuna göre nanochitosan kaplanan meyvelerde daha yavaş ilerlemiştir. Antosiyanin içeriği 12. güne kadar artmış, özellikle kaplamalı örneklerde korunmuştur. Bakır yüklü nanokitosa, askorbik asit içeriğini daha fazla düşürürken; bakır içermeyen kaplama bu kaybı en aza indirmiştir. Ayrıca her iki kaplama, polifenol oksidaz ve peroksidaz aktivitelerini baskılamış; kontrol grubunda ise bu enzim aktivitelerinde belirgin artış gözlenmiştir. Mantar kaynaklı çürüme ve görsel bozulma, nanokitosa kaplamalarla önemli ölçüde azalmıştır. Duyusal değerlendirmede, tüketici kabulü olumsuz etkilenmemiştir; en iyi sonuçlar ise genel aroma ve görünüm açısından bakır içermeyen nanochitosan ile elde edilmiştir.

Martínez-González ve ark. (2020), çileklerin raf ömrünü ve antioksidan kapasitesini korumak amacıyla kitosa nanoparçacıkları (CSNPs) ve propolis (P) içeren yenilebilir

kaplamaların etkisini değerlendirmiştir. En iyi sonuçlar CS + CSNPs + %10 P uygulamasında görülmüş; bu uygulama en düşük ağırlık kaybını (%9.77), CS + CSNPs + %20 P ise en yüksek sertliği (4.96 N) sağlamıştır. %10, %20 ve %30 propolisli kaplamalar, fenolik bileşenleri, flavonoidleri ve DPPH ile ölçülen antioksidan aktiviteyi (sırasıyla 28.49 mg GAE g⁻¹, 554.61 µg quercetin g⁻¹, %92.48 DPPH) muhafaza etmiştir. Ayrıca kaplamalar, meyvenin duysal özelliklerini olumsuz etkilememiştir.

Ali ve ark. (2022), çileklerin (cv. Festival) raf ömrünü uzatmak için 0.5% kitosan (Ch), guava yaprağından türetilmiş kitosan nanopartikül (Gl-ChNps) ve lazer (1.3 mW/cm²) + Gl-ChNps kombinasyon uygulamasının etkilerini araştırmıştır. 12 gün boyunca 10 °C'de depolanan meyvelerde, kombinasyon uygulaması fungal çürümeyi tamamen engellemiş, ağırlık kaybını %27.35'ten %4.68'e düşürmüş ve C vitamini (81.1 mg/100g) ile antosiyanin içeriğini (42 mg/100g) en yüksek düzeyde korumuştur. Uygulama, renk, TSS, TA ve pH değişimini yavaşlatarak meyve tazeliğini muhafaza etmiş, bu sonuçlar ChNP'lerin gaz değişimini sınırlayan yarı geçirgen bir bariyer olarak işlev gördüğünü ortaya koymuştur.

Taha ve ark. (2022), çilek meyvelerinin hasat sonrası ömrünü uzatmak amacıyla nişasta-bazlı gümüş nanoparçacık (St-AgNPs) kaplamalarının etkisini araştırmıştır. Kaplama, meyvelerdeki ağırlık kaybı, çürüme ve mikrobiyal gelişimi azaltırken; toplam asitlik ve antosiyanin içeriğini artırmıştır. Gümüş partiküllerinin yıkanmayla %98.86-%99.10 oranında uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Kaplama, çileklerin raf ömrünü oda sıcaklığında 2 günden 6 güne, soğukta ise 8 günden 16 güne uzatmıştır.

García-García ve ark. (2023), karides iskeletlerinden elde edilen kitosan ve ZnO nanoparçacıklarından oluşan nanokaplamanın çileklerin raf ömrü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaplama, meyve yüzeyine homojen şekilde uygulanmış ve 8 günlük depolama süresince tazeliğin korunmasını sağlamıştır. ZnO ile kitosan sinerjik etki göstererek mikrobiyal yükü önemli ölçüde azaltmıştır. Sonuçlar, kaplamanın çileğin görünüm, pH, renk, tekstür ve mikrobiyolojik kalitesini koruyarak tüketime uygunluğunu sürdürdüğünü ortaya koymuştur.

Sani ve ark. (2024), çileklerin raf ömrünü uzatmak amacıyla, zencefil ve sarımsak özütü içeren demir oksit (Fe₃O₄) nanoparçacıklı (%1, %2, %3) kitosan (CH) kaplamalar

geliştirmiştir. 3% Fe_3O_4 + 1.5% CH kombinasyonu ile kaplanan meyveler, %6 ağırlık kaybı ve %13.68 enfeksiyon oranı ile en iyi sonucu vermiştir. Bu uygulama, yüksek askorbik asit (55.81 mg/100g), antioksidan aktivite (%82.89) ve fenolik bileşik içeriği ile meyve kalitesini korumuş; oda sıcaklığında saklama süresince çileklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmiştir. Sonuçlar, Fe_3O_4 NPs ile zenginleştirilmiş CH kaplamaların çileklerin raf ömrünü uzatmada umut verici bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

2.4.2. Kirazda nanopartikül ile yapılan muhafaza çalışmaları

Afra ve Naseri (2018), tatlı kiraz meyvesinin raf ömrünü artırmak amacıyla %0, %0.03, %0.06 ve %0.09 çinko oksit nanoparçacıkları (ZnO-NP) ile yapılan kaplamaların etkisini değerlendirmiştir. 2 ± 1 °C sıcaklık ve 90 ± 5 nem koşullarında saklanan meyvelerde, 15 gün sonunda %0.09 ZnO-NP uygulamasında en düşük çürüklük indeksi gözlemlenmiştir. Uygulamalar, kontrol grubuna göre daha yüksek fenolik bileşik ve PAL enzimi aktivitesi sağlamıştır. Sonuç olarak, ZnO-NP kaplamalarının kirazın raf ömrünü 30 güne kadar uzattığı belirtilmiştir.

Lin ve ark. (2022), gümüş nanoparçacıklar (AgNPs) ile yüklenmiş ve 1-MCP çözeltisi püskürtülerek hazırlanmış antibakteriyel taze tutucu kompozit bir kağıt geliştirmiştir. Bu kağıt, kirazların muhafazasında kullanılmıştır. En iyi sonuç, 0.05 g 1-MCP içeren kağıtla elde edilmiş; bu koşulda ağırlık kaybı %1.93 oranında azalmış, sertlik %27.7 artmış, çözünür katı madde oranı %25 yükselmiş ve raf ömrü 4 günden 12 güne çıkarılmıştır. Malzeme çevre dostu, toksik olmayan, kolay hazırlanabilir ve meyve muhafazası için umut vadeden bir yöntem olarak öne çıkmıştır.

Bizymis ve ark. (2023), yenilebilir film formülasyonlarına gümüş nanoparçacıklarının (AgNP) eklenmesinin mikrobiyal kontrol ve kiraz meyvelerinin raf ömrüne etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, kitosan (CH), selüloz nanokristalleri (CNC) ve beta-siklodekstrin (CD) (%50–%37.5–%12.5) ile formüle edilen yenilebilir filmlere %5, %10 ve %15 oranlarında AgNP eklenmiştir. Soğuk depolama koşullarında kiraz meyveleri üzerinde uygulanan bu filmler, meyvelerin özellikle renk, sertlik ve toplam mikrobiyal yük açısından daha iyi korunduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, AgNP ile

zenginleştirilmiş CH-CNC-CD bazlı yenilebilir filmler, kiraz gibi hassas meyvelerde raf ömrünü uzatmada ve kaliteyi korumada etkili bulunmuştur.

Shahedi ve ark. (2024), kirazların 4 °C’de depolanması sırasında Balangu tohumu müsilağı (BM) ve jelatin (Ge) bazlı kaplamalara dereotu esansiyel yağı (DEO) (%0, %1, %2) ve çinko oksit nanoparçacıkları (ZnO-np) (%0, %0.5) ilave edilmesinin kalite parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. En etkili formülasyon olan %2 DEO + %0.5 ZnO-np içeren kaplama, ağırlık kaybı, sertlik, titrasyon asitliği, askorbik asit, TSS, antosiyanin, fenolik içerik ve antioksidan aktivitedeki değişimleri önemli oranda yavaşlatmıştır. Ayrıca, bu kaplama solunum hızını düşürerek bozulmayı geciktirmiş ve sap kurumasi ile kararmayı azaltmıştır.

Shao ve ark. (2025), tatlı kirazların raf ömrünü uzatmak amacıyla antisolvent yöntemiyle hazırlanan natamisin nanoparçacıklarını içeren kitosan kaplamayı değerlendirmiştir. Nanoparçacık formundaki natamisin çözünürlüğü 1 mg/mL’ye ulaşmış ve bu da antifungal etkinliği artırmıştır. Hazırlanan kaplama meyve rengini korumuş, sertlik, TSS ve TA’daki azalmayı yavaşlatmıştır. En düşük çürüme oranı %10.1 ile kontrol grubuna göre %66.4 daha düşük olmuş ve 35 gün boyunca çürüme gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, natamisin nanoparçacıklı kitosan kaplamanın kirazların kalite ve raf ömrünü anlamlı şekilde iyileştirdiğini göstermektedir.

Mao ve ark. (2025), *Bacillus velezensis* Q-84’ten elde edilen lipopeptit (LP) ve kitosanla stabilize edilmiş gümüş nanoparçacıkları (AgCS NP) içeren bir kaplama geliştirmiştir. LP ve AgCS NP’nin kombinasyonu, tekil kullanımlarına göre antibakteriyel etkiyi önemli ölçüde artırmış (%75–87.5 MIC düşüşü). Bu bileşenlerle hazırlanan PVA/LP/AgCS NP kompozit kaplama, fiziksel stabilite, bariyer özellikleri, antioksidan ve antimikrobiyal etkinlik göstermiştir. Kirazlara uygulandığında çürüme oranını %88.5 azaltmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada, ‘222O604’ nolu ve ‘Bakır ve Bor Bazlı Biyonanokompozitlerin Geliştirilmesi ve Kitosan Yardımıyla Çilek ve Kiraz Meyvelerinin Muhafaza Performansının Artırılması’ başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiş olan nanopartikül materyalleri kullanılmıştır.

3.1.1 İndirgeyici ajan

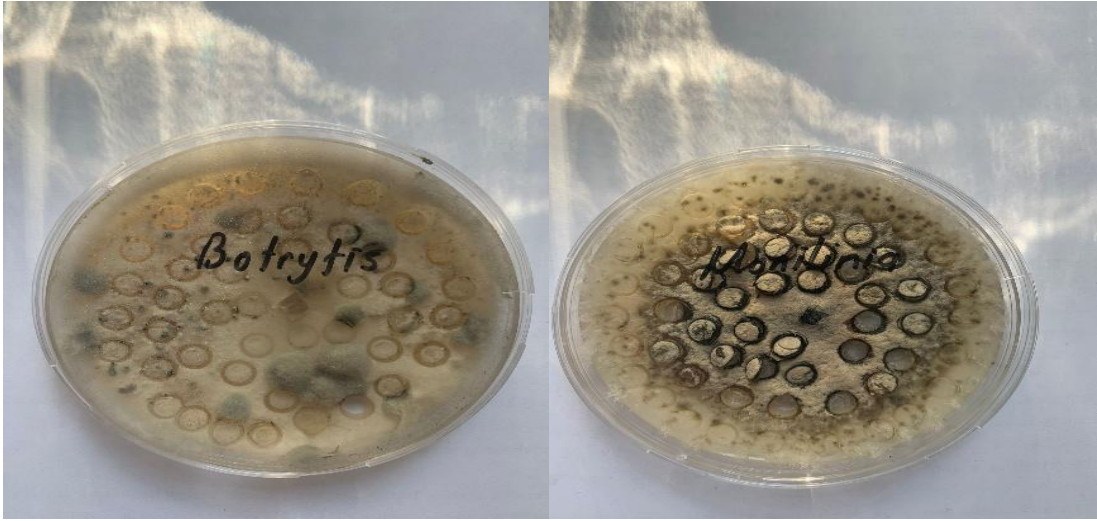
Nanopartiküllerin sentezinde kiraz ağacı yaprak özütü indirgeyici ajan olarak kullanılmıştır. İndirgeyici ajan olarak kullanılan kiraz ağacı yaprakları Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü’ ne ait meyve bahçesinde yer alan bünyesinde bulunan Ma x Ma 14 (*Prunus mahaleb* x *Prunus avium*) anacı üzerine aşılanmış 15 yaşlı 0900 Ziraat çeşidine ait (*Prunus avium* L.) ağaçlardan elle toplanmıştır. Havanın serin olduğu bir zaman diliminde, hastaliksız, yarasız ve zedelenmemiş sağlıklı yapraklar ağacın dört bir yanından olacak şekilde saplarıyla birlikte toplanmıştır.



Şekil 3. 1. İndirgeyici ajan için kullanılan kiraz ağacı yaprağı (Orijinal)

3.1.2 Fungal kültürler

Testler de kullanılan fungal izolatlar (*Monilinia* spp. ve *Botrytis cinerea*) Ankara Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Mikroorganizma Kültür Koleksiyonu'nda bulunan izolatlar arasından seçilmiştir. Çalışmada kullanılan *Monilinia* spp. izolatu kiraz bitkisinden (TAGEM-BS-12/08-01/02-18 nolu projeden) ve *B. cinerea* izolatu ise çilek bitkisinden (TAGEM-BS-12/08-10/02-26 nolu projeden) elde edilmiştir. Bu izolatlar deneme süresince saf kültür olarak +4°C'de veya uzun süreli olarak -20°C'de saklanmıştır.



Şekil 3. 2. Fungal kültürler *Botrytis cinerea* (Solda) *Monilinia* spp. (Sağda) (Orijinal)

3.1.3 Muhafazada kullanılan bitki materyali

Kullanılmış olan çilek meyveleri 'Monterey' çeşidi olup, kontrollü serada topraksız tarım koşullarında üretim yapan bir özel sektör kuruluşundan temin edilmiştir. Kiraz meyveleri ise Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü'ne ait meyve öeyve bahçesinde yer alan bünyesinde bulunan Ma x Ma 14 (*Prunus mahaleb* x *Prunus avium*) anacı üzerine aşılanmış 15 yaşlı '0900 Ziraat' çeşitleri (*Prunus avium* L.) ağaçlarından hasat edilmiştir. Her iki tür için de meyvelerin yetiştiricilik dönemlerinde standart kültürel uygulamalar çalışma ekibi kontrolünde yapılmıştır.



Şekil 3. 3. Çalışmada kullanılan bitki materyali (Orijinal)

3.2 Yöntem

Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin elde edilme yöntemleri ve karakterizasyonu;

3.2.1 İndirgeyici ajan eldesi

Toplanan kiraz ağacı yaprakları saf suda yıkayıp kuruladıktan sonra sıvı azot ile etkileştirilerek küçük parçalara ayrılıp -18°C 'de stok olarak saklanmıştır. Deneyler stoktan alınan kurutulmuş yapraklar kullanılarak kurulmuştur. 8 g parçalanmış yaprak kuru numuneleri 100 mL saf suda 8 saat 60°C de ekstrakte edilmiştir. Süre sonunda kaba süzgeç kağıdından süzölmüştür. Süzöntü içerisinde kalan bitki kalıntılarını uzaklaştırmak için 10,000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenerek özütler hazırlanmıştır.

3.2.2. Nanopartiküllerin karakterizasyonu

Elde edilen nanopartiküllerin UV-vis(UV-görünür spektrofotometri), XRD-powder (X-ışını kristalografisi) analizleri Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirildi. STEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDX (enerji dağılım X-ışını spektrometresi) analizleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümünde gerçekleştirilmiştir. UV-vis(UV-görünür

spektrofotometri) analizi; SHIMADZU marka, UV-2600 MKM K8367model cihazda yapılmıştır. XRD-powder (X ışını kristalografisi) analizleri; PANalytical marka, EMPYREAN model cihazda yapılmıştır. STEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDX (enerji dağılım X-ışını spektrometresi) analizleri; TESCAN marka, MAIA3 XMU model cihazda yapılmıştır.

3.2.3. Bakır oksit (CuONP) nanopartikül

CuO-NP'lerin sentezi için, 50 ml sulu 4 mM bakır klorür dihidrat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve 2 ml yaprak özütünün optimize edilmiş konsantrasyon oranı ile muamele edilip ve manyetik karıştırıcıda 2 saat boyunca 80°C'de ısıtmaya tabi tutulmuştur. Karışıma 1 M sodyum hidroksit damla damla eklenmiştir. Çökelti solüsyonu daha sonra 10,000 rpm'de 15 dakika santrifüjlenip ve tekrar tekrar deiyonize su ile yıkanarak, bir fırında 60°C'de bir gece kurutularak karakterize edilmiştir (Amin ve ark., 2021).

3.2.4. Bor (BNP) nanopartikül

BNP'lerin üretimi için, 30 mL yaprak özütü içerisine 10 mg bor nitrür eklenerek ultrasonik banyoda 30°C'de bir gün boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Ertesi gün çözelti 15,000 rpm'de 60 dakika santrifüj edilerek süpernatant atılmıştır. Çöken kısım kurutularak karakterize edilmiştir (Deshmukh, 2019).

3.2.5. Nano kitosan (ChNP)

El-Naggar ve ark. (2022) de yaptıkları çalışmaya göre nanokitosan sentezlenmiştir. Buna göre 100 mL yaprak özütüne yaklaşık 1.0 g kitosan ilave edilerek 50 °C'de yaklaşık bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti 10,000 rpm'de 15 dakika santrifüjlenip çöktürülerek üst kısım dekante edilip etüvde kurutulmuştur. Elde edilen madde SEM, EDX ve XRD ile karakterize edilmiştir.

3.2.6. SEM analizi

Kaplama işleminden sonra nanopartiküllerin çilek ve kiraz meyveleri üzerine tutulumlarını ve partikül büyüklüğünü belirlemek için elektron mikroskobu (SEM)'de (Tescan Maia3 XMU) taranarak karakterize edilmiştir (Korkmaz, 2019).

3.2.7. Nanopartiküllerin etkin dozlarının belirlenmesi

Çalışma kapsamında, yeşil sentez yöntemiyle elde edilen bakır oksit nanopartiküller (CuO-NP) ve bor nanopartiküllerinin (B-NP), *Monilinia* spp. ve *Botrytis cinerea* fungal etmenlerine karşı antifungal etkinlikleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, CuO-NP'ler sırasıyla 0.1, 1.0, 15, 75, 100, 200, 500, 1000 ve 2000 ppm; B-NP'ler ise 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm dozlarında uygulanmıştır. İn vitro koşullarda yürütülen bu denemeler sonucunda, her bir nanopartikül türü için antifungal aktivitesi yüksek bulunan en az iki doz belirlenmiş; bu dozlar, nano boyutta kitosan ile kombine edilerek meyve yüzeylerine kaplama materyali olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. 4. Etkin doz belirleme çalışmaları (Orijinal)

Nanopartiküllerin *B. cinerea*'nın ve *Monilinia spp.*'nin misel gelişimi üzerine antifungal etkisi

CuO-NP, B-NP Nano kitosan, Bakır bazlı kitosan biyokompozit ve Bor bazlı kitosan biyokompozitlerin antifungal aktivitesi, seçilen bitki patojeni funguslara karşı Kirby-Bauer disk difüzyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Etmenlerin tek spor kültürleri, 7–10 gün boyunca 25°C'de Potato Dextrose Agar (PDA) ortamında geliştirilmiştir.

Nanopartikül solüsyonları, PDA besi ortamına dahil edilmeden önce homojen bir dağılım sağlayabilmek için Transonic 420 (Elma, Almanya) sonikatör ile 30 dakika süreyle sonikasyona tabi tutulmuştur. Beş farklı konsantrasyona sahip Bor nanopartikülü 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm (Huang ve Snapp, 2009), farklı konsantrasyonlara sahip Bakır oksit nanopartikülü 0,1, 1,15, 25, 50, 75,100, 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında 100 ml PDA içinde iyice karıştırılarak steril 90 mm'lik petri kaplarına (20 ml petri-1) dökülmüştür. Kontrol petrilere ise sadece PDA besi ortamı dökülmüş ve steril saf su püskürtülmüştür. 7-10 günlük kültürlerden steril mantar delici yardımıyla 5 mm çapında misel diskler alınarak PDA besi yeri içeren her bir petri kabının ortasına yerleştirilmiştir. İnoküle edilen petriler 24±1°C sıcaklıkta 7 gün boyunca 12 saat karanlık ve aydınlık koşullarda inkübe edilmiştir. Denemeler beş tekrarlı olarak yürütülmüştür. Her bir nanopartikülün konsantrasyonlarının bulunduğu petrilere misel gelişimi günlük takip edilmiş, misel gelişim Vernier kumpas ölçeği kullanılarak ölçülmüş ve kontrol uygulamasına göre misel büyümesinin inhibisyonu yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Bliss, 1934).

Her bir solüsyon için izolatlara ait % engelleme değerleri ile varyans analizi yapılmış ve muameleler arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testiyle analiz edilmiştir. Tüm istatistiksel analizler MINITAB Release 14 paket programı yardımıyla yürütülmüştür. Nanopartikül solüsyon dozları ile miseliyal gelişim arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile incelenmiş ve doz-gelişme doğru denklemleri hesaplanmıştır. Bu doğru denklemlerine göre solüsyonların funguslara karşı EC50 dozları belirlenmiştir.

$$\text{Yüzde büyüme inhibisyonu} = \frac{C-T}{C} * 100$$

C=Kontroldeki koloninin çapı (her iki köşegenin ortalaması)

T=Uygulamadaki koloninin çapı (her iki köşegenin ortalaması)

İn-vivo koşullarda bakır np, bor np, nano kitosan, bakır bazlı kitosan biyokompozit ve bor bazlı kitosan biyokompozit'lerin antifungal aktivitesinin belirlenmesi

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlı olarak kurulmuştur. PDA besi yerinde geliştirilen yedi günlük Botrytis cinerea kültüründen 1x10⁵ konidia/ml spor

süspansiyonu hazırlanmıştır. Çilek ve kiraz meyveleri %1.0' lik sodyum hipoklorit ile steril edilmiş ardından 3 defa steril saf su ile durulanmıştır. Steril meyveler farklı konsantrasyonlardaki petri çalışmalarında etkili bulunan bakır NP (500, 1000 ve 2000 ppm etkili dozu ve iki alt dozu), bor NP (250,500,1000 ppm etkili dozu ve iki alt dozu) nano kitosan (%1) nanopartikül, bakır-kitosan (2000 ppm), bor-kitosan (1000 ppm) ve fungusit (65,82 g/l Metalik bakıra eşdeğer bakır sülfat / Elma depo hastalıklarına karşı *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp., ve *Monilinia* spp. ruhsatlı tek fungusit / 125 ml/100 l su) solüsyonlarına daldırılmış ve meyveler oda sıcaklığında 2 saat süre ile kurutulmuştur. Daha sonra çilekler ve kirazlar hazırlanan spor süspansiyonlarına daldırılarak patojenle inokule edilmiştir. Her muamele 3 tekrardan ve her tekrar 20 meyveden oluşmuştur. Tekerrürlerin her biri, içine steril nemli kurutma kağıtları yerleştirilmiş bir plastik kutuya alınarak kapatılmıştır. Meyveler hem 7 gün boyunca 22°C ve yüksek bağıl nemde inkübe edilmiştir. Ayrıca kontrol için nanopartikül solüsyonu uygulanmamış steril meyveler kullanılmış ve meyvelere steril saf su püskürtülmüştür (Al-Dhabaan ve ark., 2017). Kitosan ve fungusit ise pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. Değerlendirmede Meena ve ark. (2020b)'da belirtilen hastalık değerlendirme yaklaşımı temel alınmış ve çalışma koşullarına uyarlanarak 1–4 arası modifiye bir hastalık şiddeti skalası kullanılmıştır. Meyveler yüzeydeki çürüme oranı ve semptom gelişimine göre; 1 = belirti yok (sağlıklı meyve), 2 = hafif çürüme (%1–10), 3 = orta düzey çürüme (%11–25), 4 = şiddetli çürüme (>%25 ve/veya sporlanma) şeklinde puanlanmıştır. Her tekerrürdeki tüm meyveler söz konusu skala ile değerlendirilmiş ve hastalık şiddeti yüzdesi Townsend ve Heuberger (1943)'e dayanan formül kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçların istatistiki değerlendirmesinde Minitab programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır.

$$\text{Hastalık Şiddeti (\%)} = \frac{\sum(n * v)}{Z * N} * 100$$

n: Hastalık skorundaki meyve sayısı

v: Hastalık şiddeti skoru

Z: Ölçeğin en yüksek skoru

N: Toplam meyve sayısı

3.2.8. Meyve Örneklerinin Hasat ve Kaplama İşlemi

Meyvelerin hasat tarihleri yetiştiricilik periyodu boyunca kontrol edilerek çilekte meyve kabuk rengi 2/3 oranında kızardığında kirazlar için SÇKM ölçümleri yapılmış ve %14-%15 oranına ulaştığında hasat tarihleri belirlenmiştir. Her iki yetiştiricilik yapılan lokasyon da uygulamaların yapılacağı laboratuvara yakın mesafede olup, meyveler sabah erken saatte hasat edilerek akabinde ön soğutma işlemi için Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait soğuk hava deposunda 4°C'de 6 saat ön soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön soğutma işleminden sonra kaplama materyali uygulan laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvara getirilen ürünler taşınma sırasında hasar görmediklerinden emin olunması için hızlı bir şekilde kontrol edilmiştir. Kontrol edilen ürünler daha önceden dozları belirlenmiş olan nanopartikül solüsyonlarına meyvelerin bütün yüzeyi temas edeceği şekilde daldırma yöntemi kullanılarak batırılmıştır. Daldırma işlemi 2 dakika sürmüştür. Belirlenen dozlar ışığında meyvelere CuO-NP, Bor-NP, nano kitosan (ChNP), bakır oksit bazlı kitosan (CuONP-ChNP) ve bor bazlı kitosan (BNP-ChNP) uygulanmıştır. Daldırma sonrası kaplama materyallerinin kuruması için 10 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kuruyan meyveler şeffaf 1000 gramlık 110/190/95 (en/ boy/ yükseklik) ebatlarında, alt kısmında 4 adet 0.7 mm çapında, üst kapağında ise 12 adet deliği bulunan şalelere yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 5. Meyve kaplama işlemleri (Orijinal)

3.2.9. Meyvelerin muhafazası

Yürütülmüş olan çalışmada, deneme 3 tekerrürlü her tekerrürde 1 şale ve her şalede 1000 g meyve bulunacak şekilde dizayn edilmiştir. Kiraz için her bir uygulamada 18 adet, çilekte her bir uygulama için 15 adet şale kullanılmıştır. Bu işlemler sonrasında meyveler soğuk depoya transfer edilmiştir. Soğuk depoya sevk edilen kiraz meyveleri 35 gün boyunca, $0.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ve $\%90 \pm 5$ bağıl nem koşullarında muhafaza edilmiştir. Muhafaza süresince 0, 7, 14, 21, 28 ve 35. günlerde meyve kalite parametrelerine ait ölçüm ve analizler yapılmıştır. Çilek meyveleri ise 20 gün boyunca, $1.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ve $\%90 \pm 5$ bağıl nem koşullarında muhafaza edilmiştir. Muhafaza süresince 0, 5, 10, 15 ve 20. günlerde meyve kalite parametrelerine ait ölçüm ve analizler yapılmıştır. Meyvelerin depolanacağı soğuk odalar, -5 ila $+10^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklığı muhafaza eden, nem kontrolü yapılabilen, 25 m^3 hacme sahip depolardır.



Şekil 3. 6. Depolama işlemleri (Orijinal)

3.2.10. Muhafaza süresince yapılan ölçüm ve analizler

Ağırlık kaybı oranı (%)

Soğuk muhafazanın başlangıcında ve her bir analiz döneminde, her bir tekerrüre ait meyvelerin (her bir tekerrürü için=1000 g meyve) 0.01 g'a duyarlı teraziyle tartılması ve elde edilen değerlerin aşağıdaki formülde yerine konulması ile belirlenip ve % olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{\text{Başlangıç ağırlık} - \text{Son ağırlık}}{\text{Başlangıç ağırlık}} * 100$$

Çürüme oranı (%)

Çürüme oranının belirlenmesi için ayrılan meyveler (her bir tekerrür için= 1000 g meyve) üzerinden tespit edilmiştir. Başlangıçta her bir uygulamaya ait tekerrürlerdeki meyve sayısı belirlenip ve her bir analiz tarihinde her bir tekerrürde, meyvenin yüzeyindeki ilk tespit edilen misel gelişim belirtileri çürümüş meyve olarak kabul edilmiştir. Çürüme oranı, çürümüş meyve sayısının başlangıçtaki meyve sayısından çıkarılarak, çıkan sayının toplam meyve sayısına oranlanması sonucu tespit edilerek % olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Çürüme oranı (\%)} = \frac{\text{Toplam meyve sayısı} - \text{Sağlam meyve sayısı}}{\text{Toplam meyve sayısı}} * 100$$

Solunum oranı

Oda koşullarında 2.0 L'lik gaz sızdırmaz ortamda bekletilen meyvelerin (yaklaşık 100 g) dış ortama verdiği CO₂ miktarı, bir dijital karbondioksit analizatörü ile ölçülmesi neticesinde elde edilen değerler, kavanozlara konulan meyvelerin ağırlık ve hacimleri esas alınarak nmol CO₂ kg⁻¹ s⁻¹ olarak ifade edilmiştir (Ozturk ve ark., 2022).

Meyve kabuk rengi

Meyve kabuk rengi CIE L*, a* ve b* cinsinden belirlenmiştir. Meyvelerde renk özelliklerine ait değerler, bir renk ölçer (Minolta, model CR-400, Tokyo, Japonya) vasıtasıyla, soğukta muhafazanın her bir analiz döneminde, her bir uygulamaya ait her bir tekerrürde belirlenen 20 meyvenin ekvatorial kısmından bir ölçüm alınması ile belirlenmiştir. Hazırlanan skalaya göre a* değeri kırmızılık-yeşillik, b* değeri ise sarılık-mavilik olarak ifade edilmektedir. Kroma değeri= (a*²+b*²)^{1/2}, hue açısı değeri ise h°= tan⁻¹ x b*/a* formülü ile belirlenmiştir (McGuire, 1992).

Meyve sertliği

Meyve sertliği her tekerrürde 10 adet meyvenin ekvatorial kısmının 2 farklı yanağından olacak şekilde Agrost a®100 Field dijital sertlik ölçer ile ölçümler yapılmıştır. Değerler (%) olarak ifade edilmiştir.

Suda çözünür kuru madde miktarı

Her bir tekerrürden alınan 10 meyve öncelikle saf su ile temizlenmiş ve bir bez ile kurulanmıştır. Daha sonra kiraz örnekleri için çekirdekleri çıkarılmış ve elle sıkılarak meyve suyu elde edilmiş ve bir tülbentten geçirilmiştir. Elde edilen meyve suyu örneğinden yeterince alınarak, dijital refraktometrede (PAL-1, McCormick Fruit Tech. Yakima, ABD) okumalar yapılmış ve değerler % olarak ifade edilmiştir.

Titre edilebilir asitlik

Meyvelerin titre edilebilir asitliğini belirlemek amacıyla, püre haline getirilmiş örneklerden 5.0 g tartılarak üzerine 95 mL saf su ilave edilmiştir. Hazırlanan çözelti, pH 8.1 değerine ulaşana kadar 0,1 mol L⁻¹ sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile titre edilmiştir. Titrasyonda harcanan NaOH miktarı esas alınarak, çilek örneklerinde sitrik asit, kiraz örneklerinde ise malik asit cinsinden hesaplama yapılmış ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

C vitamini

Vitamin C içeriği, yeterince meyve suyu örneğine batırılan askorbik asit kiti reflektometre (Merck RQflex plus 10) vasıtasıyla mg 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Toplam fenol tayini

Toplam fenol miktarı Singleton ve Rossi (1965) de tarif edildiği üzere Folin-Ciocalteu's kimyasalı kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla homojenize edilen püre aseton, su ve asetik asit (70:29.5:0.5) çözeltisi kullanılarak bir saat boyunca tüpler içerisinde ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Folin-Ciocalteu's kimyasalı ve saf su karıştırılarak 8 dakika bekletilmiştir. Daha sonra %7'lik sodyum karbonat ilave edilmiş ve iki saat inkübasyondan sonra mavimsi bir renk alan çözeltinin absorbansı spektrofotometrede 750 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit cinsinden µg gallik asit eşdeğer/g taze meyve olarak hesaplanmıştır.

Toplam Antioksidan Kapasitesi

Meyvelerin antioksidan kapasiteleri Özgen ve ark. (2006) tarafından tavsiye edilen ve bitkisel materyaller için sık kullanılan TEAC (Trolox eşdeğer antioksidan kapasitesi) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

TEAC analizi için (Özgen ve ark., 2006) 7 nm ABTS (2,2'-Azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 2,45 mM potasyumbisülfat ile karıştırılarak karanlık ortamda 12-16 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu solüsyon 20 mM sodium asetat (pH 4,5) bafuru ile spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda $0,700 \pm 0,01$ absorbans olacak şekilde sadeleştirilmiştir. Nihayetinde 30 µL ekstrakt 2.97 mL hazırlanan bakır karıştırılarak absorbance 10 dakika sonra spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri Trolox (10–100 µmol/L) standart eğim çizelgesi ile hesaplanarak µmol Trolox eşdeğeri/g yaş ağırlık olarak sunulmuştur.

Toplam monomerik antosiyanin

Meyvelerdeki toplam antosiyanin pH farkı metodu kullanılarak belirlenmiştir (Giusti ve ark., 1999). Kiraz meyvelerinden elde edilen ekstraktlar pH 1,0 ve 4,5 bafurlarında hazırlanarak 520 ve 700 nm boylarında ölçülmüştür. Toplam antosiyanin miktarı elde edilen absorbans değerleri [(A520–A700) pH 1,0 - (A520–A700) pH 4,5], formülleri ile hesaplanmıştır. Değerler siyanidin 3-glikozit (cy-3-glu) olarak belirtilmiştir. Çilek meyvelerinden elde edilen ekstraktlar pH 1,0 ve 4,5 bafurlarında hazırlanarak 533 ve 700 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Toplam antosiyanin miktarı elde edilen absorbans değerleri [(A533–A700) pH 1,0 - (A533–A700) pH 4,5] formülleri ile hesaplanmıştır. Değerler pelargonidin-3- glikozit (pel-3-glu) olarak belirtilmiştir.

Bireysel fenolik bileşikler

Homojen olarak seçilmiş taze meyve örnekleri hassas bir şekilde birer gram olarak tartılıp ve 6 saat süreyle bir test tüpü içerisinde metil alkol (5 mL) ile ekstrakt elde edilmiştir. Elde edilen süzüntü yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) ile analiz edilmiştir (Thermo-Scientific, Ultimate 300). HPLC sistemi UV detektör ve kuvaterner solvent dağıtım sistemi ile teçhiz edilip ve 280 nm'de okumalar yapılmıştır. Analitler, bir Phenomenex Kromasil (Phenomenex, Torrance, ABD) 100A C18 (250 mm × 4.60 mm, 5

µm) kolon ile ayrılmıştır. Klon sıcaklığı bir su banyosu kullanarak 26 °C’de tutulmuş, mobil faz %2.5 formik asit (B) içeren su ve asetonitrilden (A) oluşturulmuştur. Mobil faz akış oranı dakikada 1 mL’de tutulmuş ve 20 µL örnek enjekte edilip, elde edilen pik alanlarının sonuçları ışığında mg kg⁻¹ olarak ifade edilmiştir. Araştırmada bireysel fenolik bileşikler olarak 4-aminobenzoik asit, klorojenik asit, ferulik asit, rutin, kafeik asit, p-kumarik asit, (+)-kateşin, (-)-epikateşin, p-hidroksibenzoik asit ve protokateşuik asit incelenmiştir. Çilekte 4-aminobenzoik asit, protokateşuik asit, 4-hidroksibenzoik asit, kateşin, klorojenik asit, kafeik asit ve ferulik asit saptanırken; kirazda 4-aminobenzoik asit, protokateşuik asit ve 4-hidroksibenzoik asit tespit edilmiştir.

3.2.11. Verilerin değerlendirilmesi

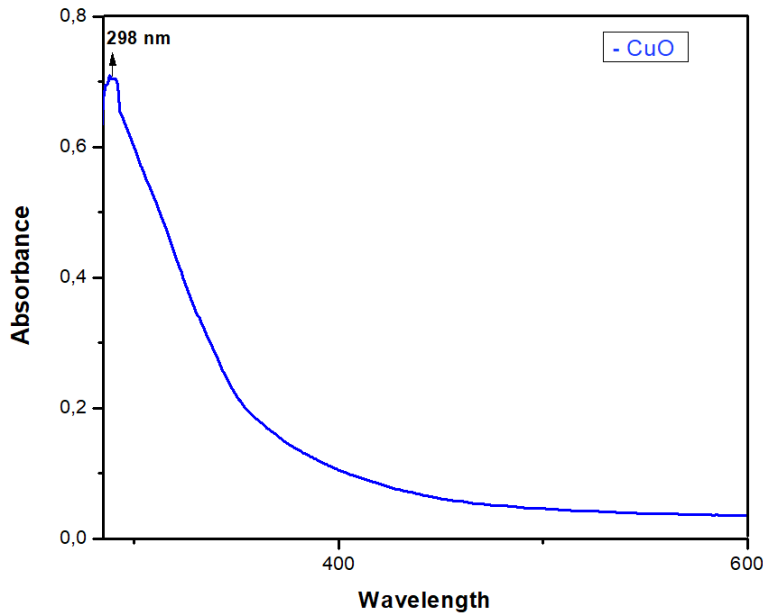
Deneme neticesinde elde edilen veriler SAS paket programı kullanılarak varyans analizine tabii tutulduktan sonra uygulama ortalamaları arasındaki farkın önemli olup olmadığı p<0.05 düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bakır oksit (CuO) Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

4.1.1. UV-Vis spektrofotometrik analiz

CuO nanopartiküllerinin (NP) UV-vis spektrumları, genellikle 200 ila 800 nanometre (nm) arasında değişen bir dalga boylarında absorpsiyon gösterir. Bu absorpsiyon, nanopartiküllerin boyutlarına, şekillerine, dispersiyon durumlarına ve çevresel etkilere bağlı olarak değişebilir. Genellikle, CuO NP'leri küçüldükçe, plazmonik etkilerin artması nedeniyle UV-vis spektrumlarında bir kayma ve genişleme görülür (Mott ve ark., 2007; Mandava ve ark., 2017; Bukhari ve ark., 2021). İndirgeyici ajan olarak kullanılan kiraz yaprağı özütü sonucunda CuO-NP'lerin 200-800 nm aralığında UV-görünür spektrofotometri ile doğrulanmıştır. Nanopartiküllerin varlığı, yüzey plazmon rezonans (SPR) spektrumlarında CuO-NP'lerin varlığını gösterir ve 298 nm'lik bir absorpsiyon zirveleri (Şekil 4.1.) gözlenmiştir. Literatürde de farklı absorbanslarda (277 nm, 451 nm) CuO-NP'lerin oluşumunu gösteren çalışmalarda mevcuttur (Kütük ve ark., 2022).



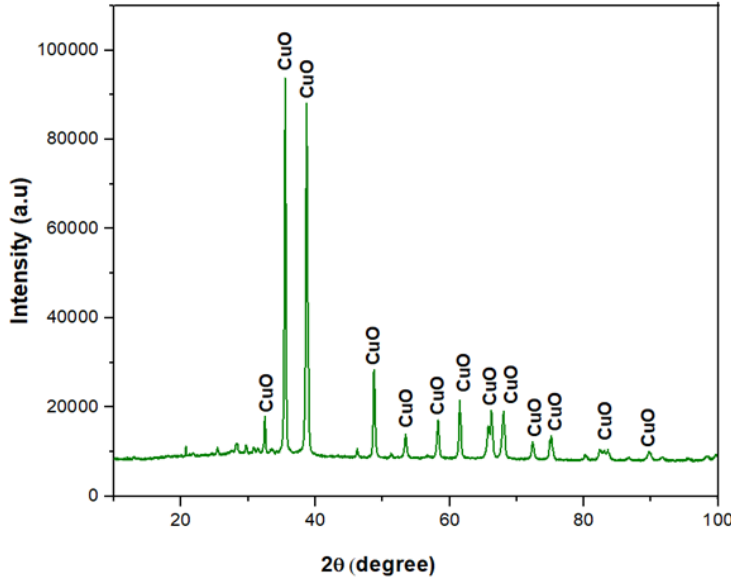
Şekil 4. 1. CuO NP'lerin UV-vis spektrumu

4.1.2. XRD Analizi

XRD (X-ışını kırınımı) analizi sonuçları NP'lerin genellikle kristal yapılarının ve fazlarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu analizde elde edilen veriler, NP'lerin kristal yapısının belirlenmesinde ve kristal yapı parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

XRD analizinde CuO NP'leri genellikle karakteristik CuO kristal yüzeylerine sahip zirveler gözlenmektedir. Bu zirveler, JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) veritabanına göre belirlenmektedir. CuO'nun tipik kristal yüzeyleri arasında (002), (111), (200), (202), (020), (113), (022) ve (310) gibi indeksler bulunmaktadır.

Kiraz yaprağı özütü kullanılarak üretilen CuO-NP'ler de gözlenen 32.54° , 35.56° , 38.68° , 48.72° , 53.41° , 58.39° , 61.50° , 66.23° , 68.15° , 72.35° , 75.07° , 82.90° ve 89.70° 2θ değerlerine sahip belirgin XRD zirveleri gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). XRD spektrumlarında gözlenen tepe noktaları, 98-062-8616 numaralı JCPDS kartından alınan referans verileriyle yakından uyumlu olduğu bulundu (Paramparambath ve ark., 2021; Sudha ve ark., 2021; Sajna ve ark.,2023). Tüm piklerin keskin bir şekilde tanımlanması elde edilen NP'lerin kristallik saflığının yüksek olduğunu göstermektedir (Sajna ve ark.,2023). Bu XRD verileri ayrıca CuO-NP'lerin boyutları hakkında bilgi sağlamaktadır. Scherrer denklemi yöntemi ile CuO-NP'lerin partikül boyutu 26nm olarak hesaplanmıştır.



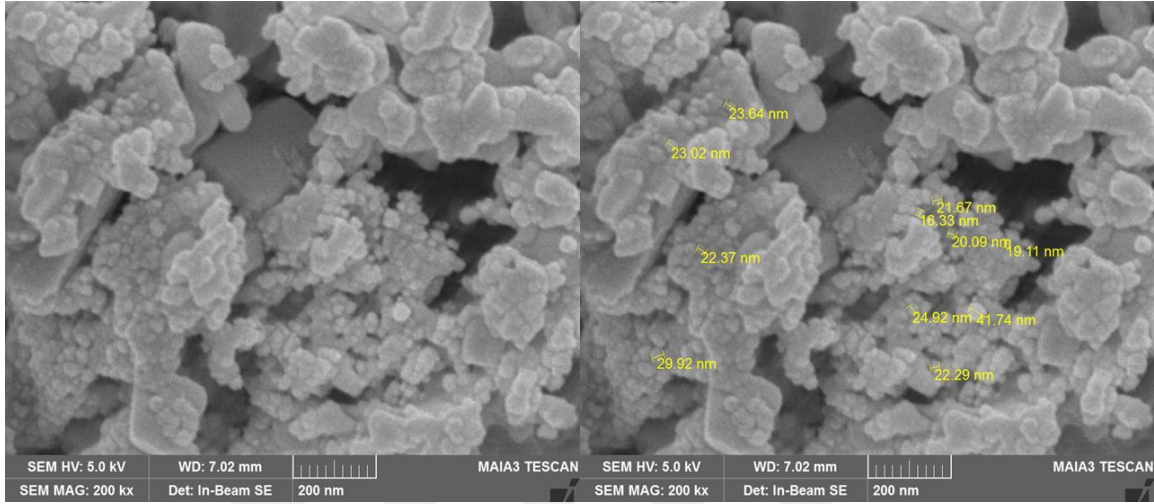
Şekil 4. 2. CuO NP'lerin XRD analizi

4.1.3. SEM analizi ve EDX analizi

Nanopartiküllerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi genellikle nanopartiküllerin morfolojisini, boyutunu ve dağılımını belirlemek için kullanılmaktadır. SEM analizi, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak nanopartiküllerin şekillerini ve yapılarını görsel olarak değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır (Mott ve ark., 2007; Mandava ve ark., 2017; Bukhari ve ark., 2021). CuO-NP'lerin SEM görüntüleri genellikle küresel (Alhalili, 2022), çubuksal (Pee ve ark., 2007) veya dentritik (Qiu ve ark., 2009) yapılar göstermektedir. Bu yapılar, sentez yöntemine, çözelti koşullarına ve başlangıç malzemelerine bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, hidrotermal yöntemler genellikle küresel CuO-NP'lerine yol açarken, termal ayrışma yöntemleri daha çubuksal veya dendritik yapılar oluşturabilmektedir. SEM analizi ayrıca CuO-NP'lerinin boyut dağılımını da belirleyebilmektedir. Bu dağılım genellikle nanopartiküllerin çapı veya uzunluğu üzerinden hesaplanmaktadır. Bu bilgiler, CuO-NP'lerinin sentez koşullarını optimize etmek ve belirli uygulamalar için uygun morfolojileri seçmek için önemlidir.

Kiraz yaprağı özütü ile hazırlanan CuO-NP'ler, Şekil 4.3.'teki SEM görüntüsünde gösterildiği gibi küresel bir morfolojiye sahip olduğu bulunmuştur. CuO NP'lerin bitkisel sentezinin, hemen hemen homojen boyutta nispeten küçük yarı küresel parçacıklar

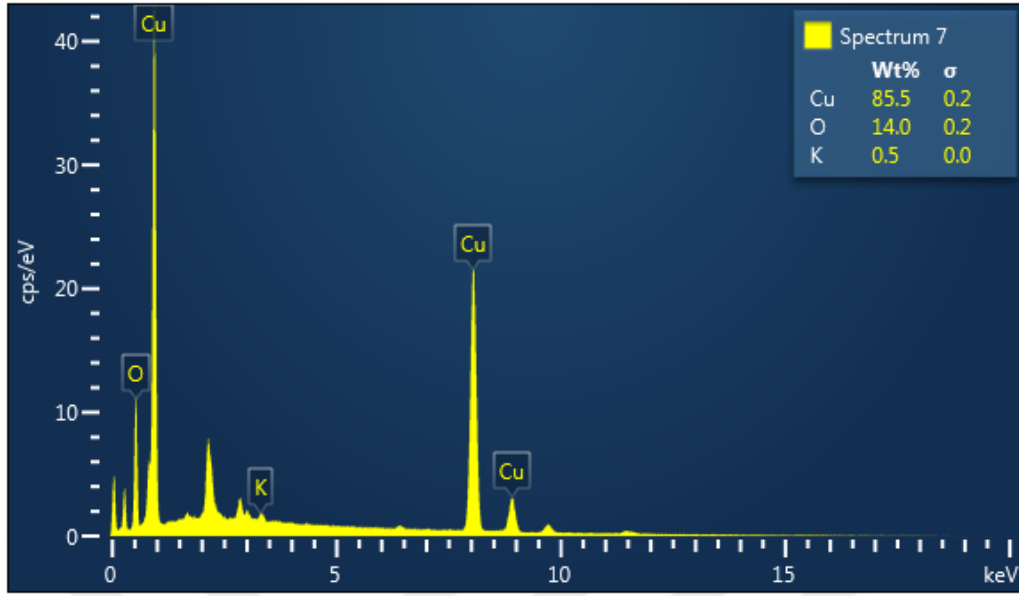
ürettiği bulunmuştur. Sentez sürecinde bitkisel materyallerin kullanılması, sentezlenen NP'lerin hafif topaklanmasıyla açıklanabilir. Literatürde bitkisel özütlerden sentezlenen CuO-NP'lerin elde edilen bulgularla önceki bulgular tutarlı olarak küresel bir şekle sahip olduğu bulunmuştur (Ijaz ve ark., 2017; Tavakoli ve ark., 2019).



Şekil 4. 3. CuO NP'lerin SEM analizi

NP'lerin EDX analizi genellikle nanopartiküllerin kimyasal bileşimini ve elementel bileşimini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu analiz, NP'lerin içerdiği elementlerin yüzdelelerini ve moleküler oranlarını belirlemek için önemlidir.

CuO NP'lerin EDX spektrumları genellikle bakır (Cu) ve oksijen (O) zirvelerini içermektedir. Bu zirveler, CuO'nun varlığını ve yoğunluğunu göstermektedir. Bu analiz ayrıca NP'deki diğer elementlerin (safsızlıkların) varlığını da belirleyebilmektedir. Kiraz yaprağı tarafından üretilen NP'ler için optik absorpsiyon bandı zirvesi Şekil 4.4.'te görülmektedir. CuO NP'lerin emilmesi için tipik olan 0 ila 9 keV aralığında olduğu bulunmuştur. Gözlemlenen bileşen CuO olduğu ve bitki kaynaklı olduğu düşünülen çok az miktarda safsızlıkların olduğu görülmüştür. EDX spektrumu birden fazla zirve veya dalgalanma elde edilen NP'lerin bitki safsızlıklarıyla heterojen bir karışıma sahip da görülmüştür. Literatürde yeşil sentezle elde edilen CuO NP'lerin EDX spektrumları ile uyumlu olduğu da görülmüştür (Ijaz ve ark., 2017; Tavakoli ve ark., 2019).

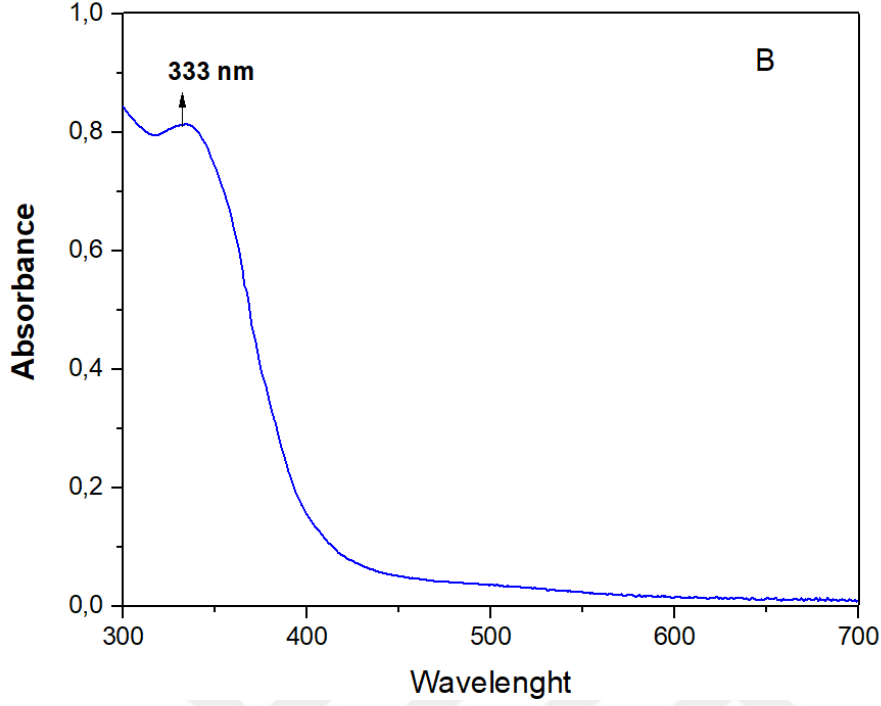


Şekil 4. 4. CuO NP'lerin EDX analizi

4.2. Bor (BN NP) Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

4.2.1. UV-Vis spektrofotometrik analizi

BN NP'lerinin optik absorbans spektrumları, 200-800 nm dalga boyu aralığında UV-görünür bir spektrofotometre kullanılarak kaydedilmiştir (Şekil 4.5.). BN NP'lerin ana absorbans zirveleri 315-445 nm aralığında 333 nm de maksimum absorbans gözlenmiştir. Bu da BN NP'lerin oluşumunu kanıtlamaktadır. Literatürde de bitki özütleri ile elde edilen BN NP'lerin de UV-vis maksimum absorbans pikleri 300-400nm arasında görülmüştür (Deshmukh ve ark., 2019).

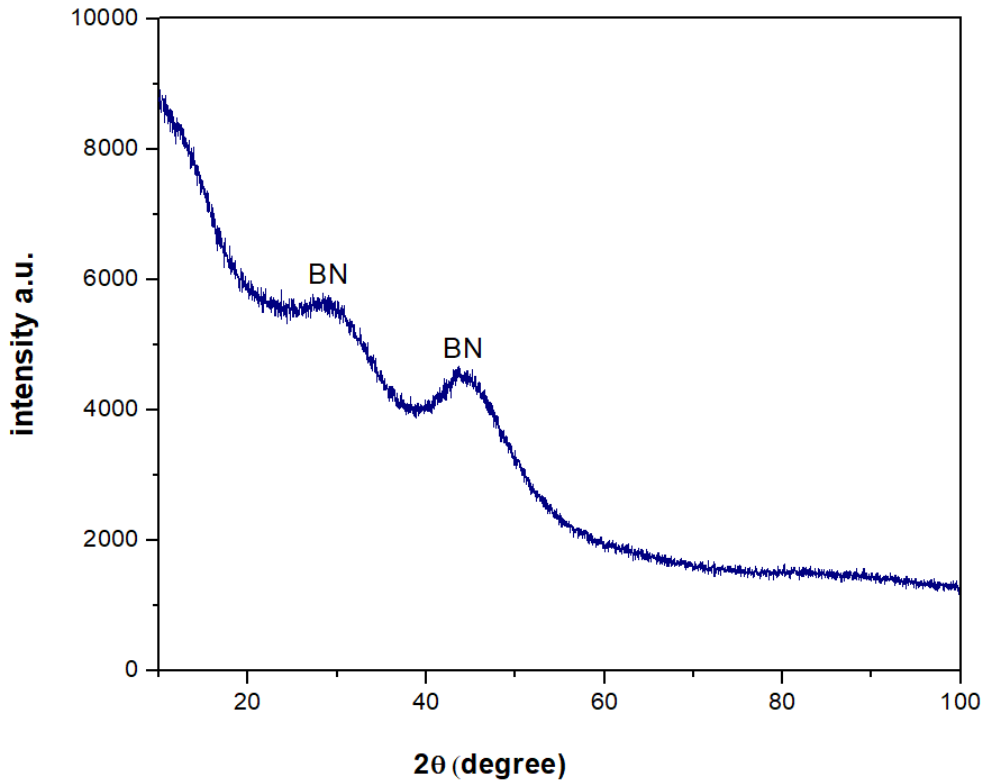


Şekil 4. 5. BN NP'lerin UV-vis spektrumu

4.2.2. XRD analizi

Elde ettiğimiz X-Işını kırınım (XRD) deseni, hazırlanan BN NP'lerin yapısal bilgileri hakkında bize bilgi vermektedir. $2\theta=30,46^\circ$ ve 44° 'deki bir dizi kırınım tepe noktasıyla karakterize edilmiştir (Şekil 4.6.). Literatürde Deshmukh ve ark. (2019) yeşil sentez yöntemiyle sentezlenen H-BN sentezlerinde daha keskin ve $2\theta= 26.7^\circ, 41.6^\circ, 55.1^\circ, 58.5^\circ$ ve 75.9° de bir dizi kırınım zirveleriyle h-BN nanopartiküllerin oluşumu gözlenmiştir. Şekil 4.6' daki XRD analizinde gözlemlenen zirvelerde keskin bir tepe gözlemlenirse, bu maddenin kristalin bir yapıya sahip olduğu anlamına gelmektedir. Aksi takdirde yüzeyin amorf bir doğası olduğu sonucuna varılmaktadır (Bernard ve ark., 2005; Ghodke ve ark., 2021). BN'nin altıgen fazını oluşturmak ve bu fazın karakteristik özelliklerini, öncül sıralı BN'nin XRD modelinde tespit etmek oldukça zorlu bir süreçtir. Turbostratik-BN (tBN) ve amorf-BN (a-BN) gibi iki düzensiz BN fazı genellikle tanımlanmaktadır (Thomas ve ark., 1963; Toutois ve ark., 2006; Salles ve ark., 2010). t-BN, (002) katmanlarının rastgele istiflenme dizisini ve bu katmanların c ekseninde yönelim bozukluğunu sergilemektedir. Diğer yandan, a-BN atomik düzeyde düzensiz bir yapıyı temsil

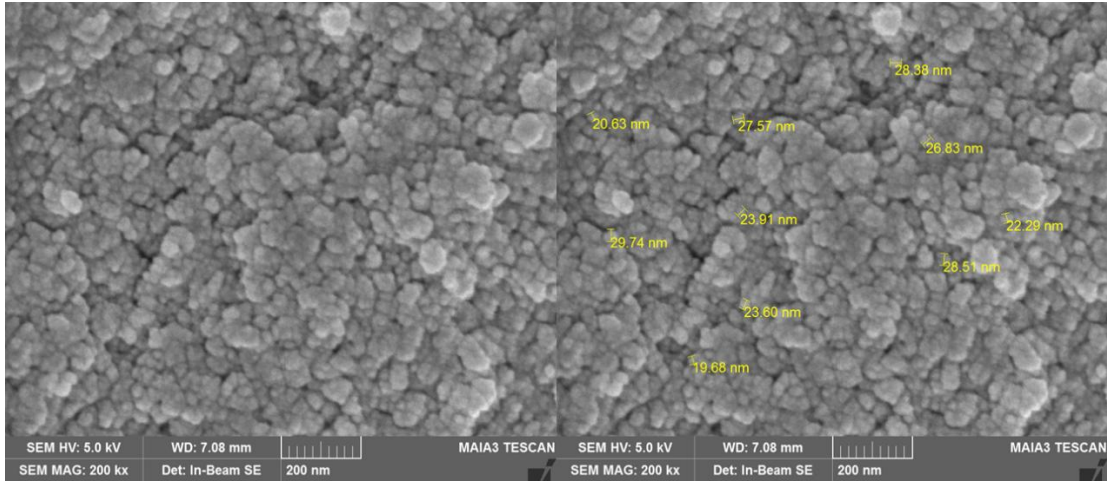
etmektedir. Bu fazların XRD desenleri, BN'nin kinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Salles ve ark., 2016). Bu, bozrazin (BZ)'den türetilmiş tozların durumudur. Bir örnek olarak, tozların XRD deseni, BN'nin Bragg açılarına önemli ölçüde kayan genişlemiş (002) tepe noktaları ve dağınık (100 ve 110) tepe noktaları göstermiştir (Salles ve ark., 2009). Bizim elde ettiğimiz maddenin XRD analizinden anlaşılabacağı üzere amorf yapıda bir BN NP sentezlediğimiz rapor edilmiştir.



Şekil 4. 6. BN NP'lerin XRD analizi

4.2.3. SEM analizi

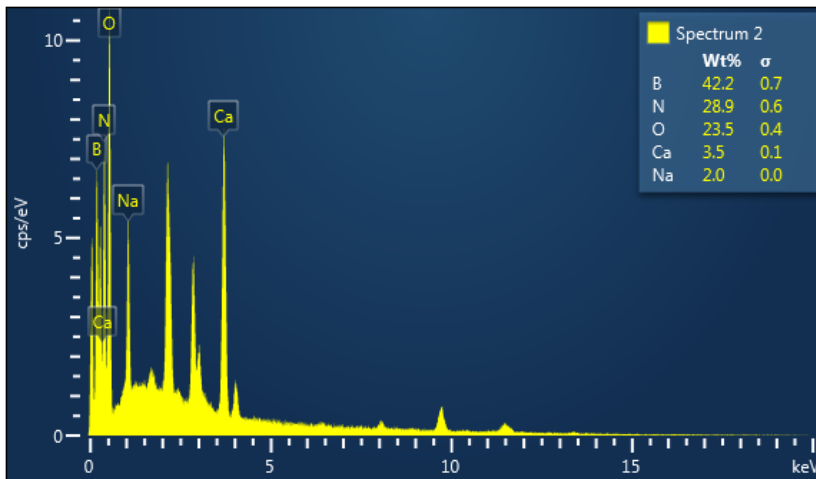
Kiraz yaprak özütü ile hazırlanan amorf BN NP'lerin tipik SEM görüntüsü Şekil 4.7' de görülmektedir. Amorf BN NP'lerin küresel morfolojiside ve aglomera olduğu rapor edilmiştir. 200 kx büyütmede alınan nanopartiküllerin 19 ile 29 nm arasında değişik büyüklüklere sahip olduğu da görülmektedir. Benzer çalışmalar Wang ve ark. (2013) ve Salles ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir.



Şekil 4. 7. BN NP'lerin SEM analizi

4.2.4. EDX analizi

BN tozundan ve kiraz yaprak özütü kullanılarak hazırlanan amorf-BN NP'lerin element haritalama sonucu Şekil 8'de gösterilmektedir. EDS spektrumu ve element haritalama sonuçları, BN tozunun B'den (%42.2) ve N (%28.9) oluştuğunu göstermektedir. Spektrumda bu B ve N dışında bitki özütünden geldiği düşünülen Ca, Na safsızlıklarına da rastlanmıştır. Aynı şekilde oksijen pikide safsızlık ve yüzey oksidasyonuna atfedilebilir. Benzer sonuçlar bitki sentezi ile elde edilen BN çalışmalarında da rastlanmıştır (Deshmukh ve ark., 2019).



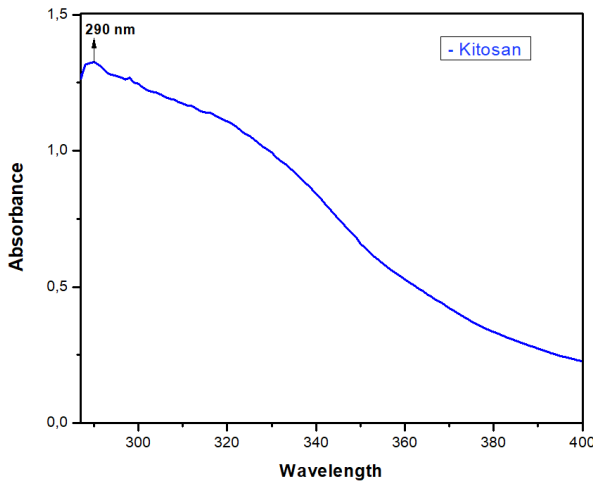
Şekil 4. 8. BN NP'lerin SEM analizi

4.3. Kitosan Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Kitosan karides ve diğer kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarında bulunan ve kozmetikten gıda endüstrisine, tıptan tarım bilimlerine kadar çok yönlü kullanım alanına sahip doğal bir biyopolisakkarittir. Nanokitosan, genellikle antibakteriyel, antifungal ve antioksidan özellikleri nedeniyle çeşitli endüstriyel ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Dutta ve ark., 2022).

4.3.1. UV-Vis spektrofotometrik analiz

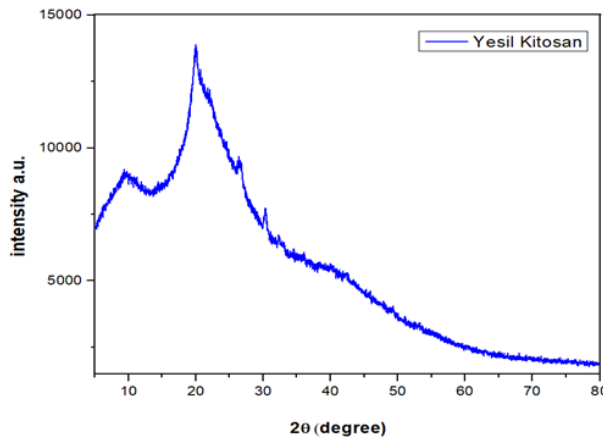
Kiraz yaprağının sulu ekstraktı, önemli ölçüde kitosan NP'lerin oluşma potansiyeli gösterdi. Şekil 4.9'da sulu ekstraktın kitosan azaltma potansiyeli olarak 290 nm'de maksimum zirvesinin gözlemlenmesiyle doğrulanmıştır. Kitosan NP'lerin UV-görünür spektrumu 200-350 nm arasında değişmektedir. Bu tür geniş absorpsiyon tepe noktaları veya bantları CO grubunun oluşumundan kaynaklanmaktadır (Vaezifar ve ark., 2013). Oh ve ark. (2016), iyonik jelasyon yöntemiyle üretilen kitosan NP'lerin UV-görünür spektrumunun, bandı 320 nm'de kaydettiğini ve fitopatojenik bakterilere karşı antibakteriyel aktiviteye sahip olduğunu saptamışlardır. Normal şartlarda saf kitosan parçacıklarının UV-görünür spektrumu 339 nm olduğu rapor edilmiştir (Ria ve ark., 2017). Kitosan NP'lerin bu tür UV-vis varyasyonları, sentez işlemi için izlenen yöntem ve sentezleme parametreleriyle doğrudan ilişkili bulunmuştur (Thamilarasan ve ark., 2018).



Şekil 4. 9. Nanokitosan UV-vis spektrumu

4.3.2. XRD analizi

Sentezlenen kitosan NP'lerin kristalliğini belirlemek için XRD analizi yapılmıştır. Şekil 10 da elde edilen XRD kırınım desenleri görülmektedir. Elde edilen zirveler kitosan NP'lerin oluşumunu temsil eden çeşitli karakteristik zirve noktalarının varlığını ortaya çıkarmıştır. Tepe noktaları 9.62° , 20.01° , 26.43° ve 30.32° açılarında (2θ) yerleştirilmiştir. Bu da kitosan NP'lerin kristalitesini işaret etmektedir. Benzer bir XRD kırınım modeli *Penaeus semisulcatus* kullanılarak kitosan nano hazırlanmasında rapor edilmiştir (Thamilarasan ve ark., 2018).

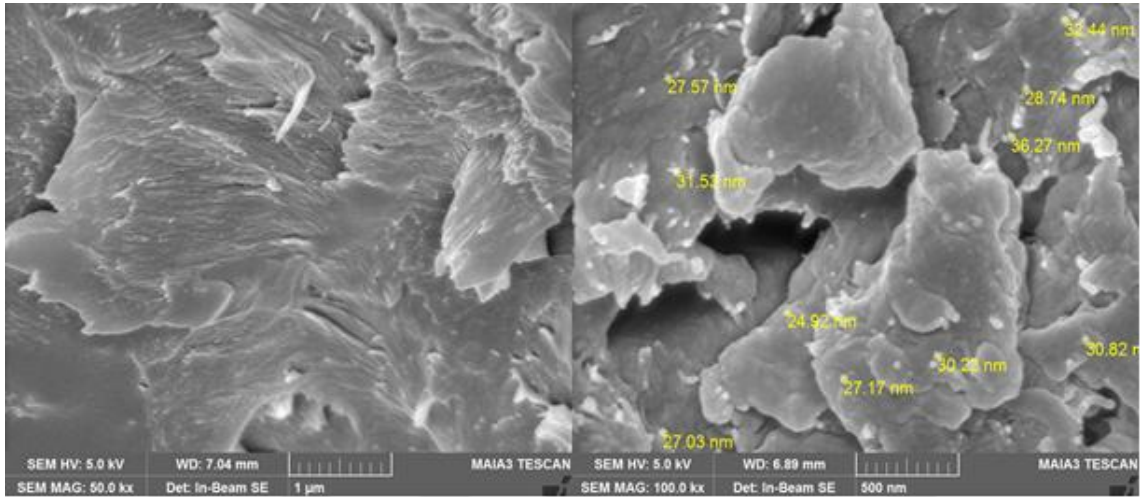


Şekil 4. 10. Nanokitosan XRD analizi

4.3.3. SEM analizi

Şekil 4.11'de kiraz yaprak özütü ile sentezlenen kitosan nanopartiküllerinin yüzey morfolojisi gösterilmiştir. Kitosan doğal bir polimerdir. Polimerlerin nanoboyuta indirgenmesi diğer metallerin nanoboyuta indirgenmesinden farklılık gösterir. Kitosan molekülünün doğal morfolojisi pul şeklindedir (Duraismy ve ark., 2022). Şekil 4. 11 de biyojenik olarak sentezlenen kitosan nanopartiküllerin SEM görüntüsü görülmektedir. Kiraz yaprak özütü ile sentezlenen kitosan NP'lerin küresel şekle sahip olduğu, 24-36 nm arasında değişen farklı boyutlardaki NP'lerin aglomere olarak bütünleşik bir yapı sergiledikleri görülmektedir. NP'lerdeki bu aglomerasyon; çözelti ortamındaki NP'leri toplamak için santrifüjlenmesi sonucu asıltı halindeki partiküllerin birleşerek çökmesi sonucu oluşmaktadır. Literatürde *Achyranthes aspera* bitki özütü tarafından sentezlenen kitosan NP'lerin de yuvarlak şekle sahip olduğu rapor edilmiştir (Duraismy ve ark.,

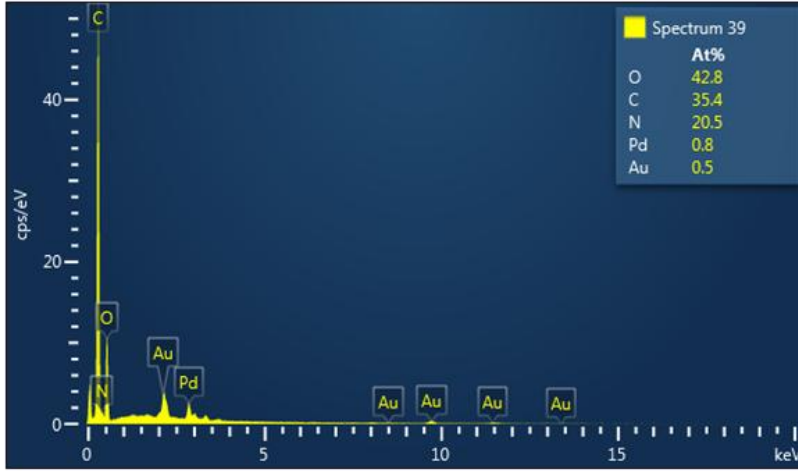
2022). Benzer şekilde Manne ve ark. (2020), boyutları 90-110 nm arasında değişen küresel şekilli CNP'lerin, *Pterocarpus arsupium*'un ekstraktı ile sentezlendiğini bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada 200-350 nm boyutunda küresel şekilli kitosan NP'lerin bitki ekstraktları tarafından sentezlendiğini bildirmiştir (İlk ve ark., 2017). Kitosan NP'lerin boyutu ve şekli, kullanılan konsantrasyona ve kitosan NP'lerin üretimi için takip edilen sentezleme parametrelerine (reaksiyon süresi gibi) dayanmaktadır.



Şekil 4. 11.Nanokitosan SEM analizi

4.3.4. EDX analizi görüntü

Biyojenik olarak sentezlenen kitosan NP'lerin daha fazla karakterizasyonu için, element türleri, dağılımları ve konsantrasyonları hakkında hızlı bir şekilde bilgi üretebilen EDX analizi yapılmıştır. Şekil 4.12'de EDX analizi sonucu elde edilen kitosan NP'lerin element bileşimleri görülmektedir. Kitosan NP'lerin EDX spektrumları, kitosanın C (karbon), O (oksijen) ve N (azot)'tan olmak üzere üç elementin varlığını doğruladı. Böyle bir bileşim kitosanın ana elementel bileşenini temsil eder. *Pelargonium graveolens* yaprak ekstraktı kullanılarak kitosan NP'lerin sentezinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir (El-Naggar ve ark., 2022). C, O ve N pikleri dışındaki pikler EDX analizi alınırken numune kaplamadan kaynaklanan piklerdir.

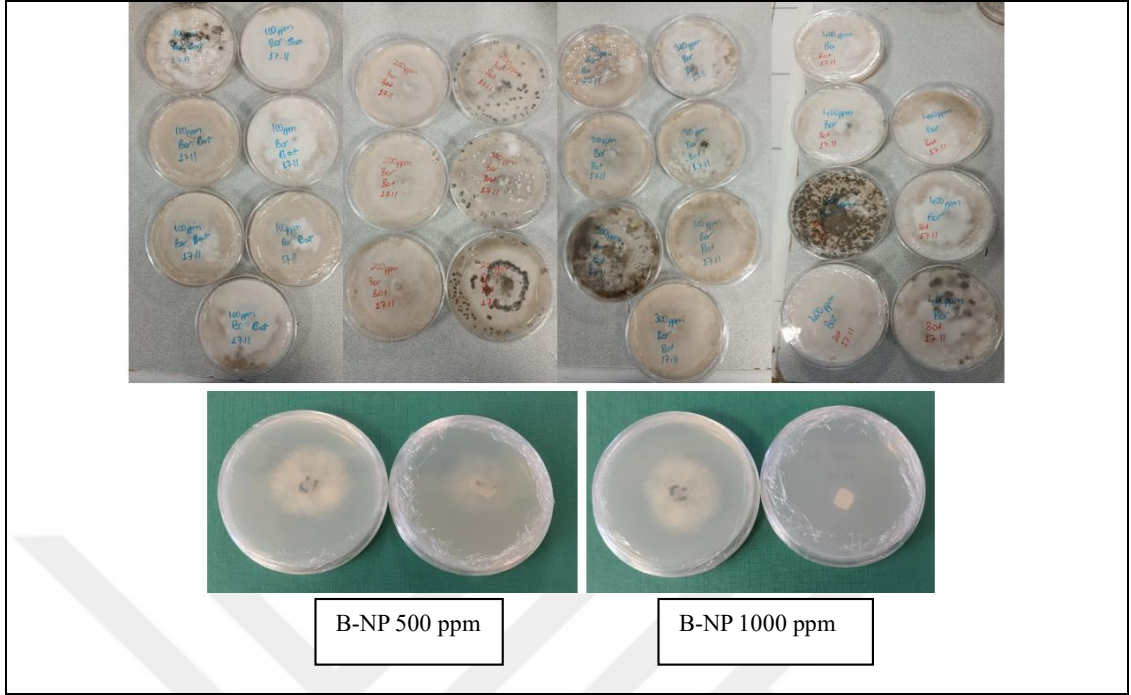


Şekil 4. 12. Nanokitosan EDX analizi

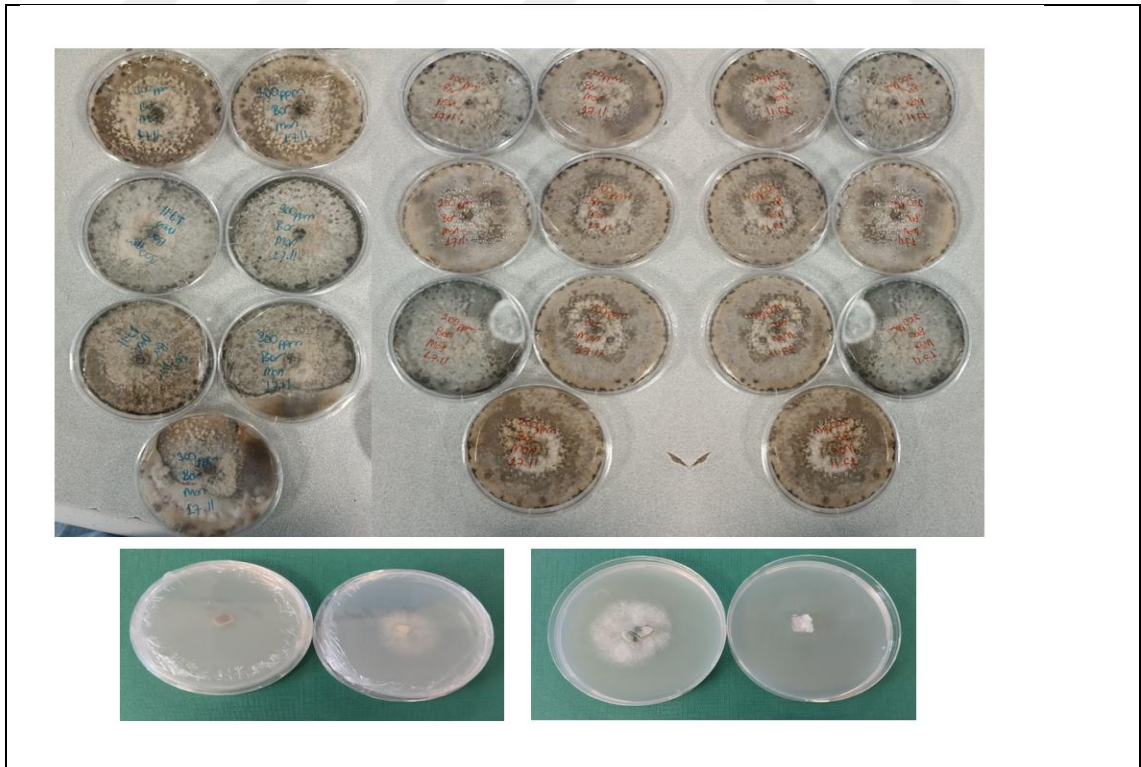
4.4. Nanopartiküllerin İn Vitro Koşullarda Fungal Kökenli Bazı Depo Hastalıkları Üzerine Etkin Dozlarının Belirlenmesi

İn-vitroda CuO-NP, B-NP ve Nano kitosan biyokompozitlerin antifungal aktivitesi, *Botrytis cinerea* ve *Monilinia spp.*’ ye karşı Kirby-Bauer disk difüzyon yöntemi ile petrilerde 5 farklı deneme kurularak değerlendirilmiştir

Etkili dozları belirleme çalışmalarında altı farklı konsantrasyona sahip Bor nanopartikülü 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm (Huang ve Snapp, 2009) denenmiş ve en etkili dozlar 500 ve 1000 ppm olmuştur (Şekil 4.13; Şekil 4.14).



Şekil 4. 13. B-NP' ün 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm dozlarında petrilere *B. cinerea*'yı engelleme oranları



Şekil 4. 14. B-NP'ün 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 ppm dozlarında petrilere *Monilinia* spp.'yı engelleme oranları

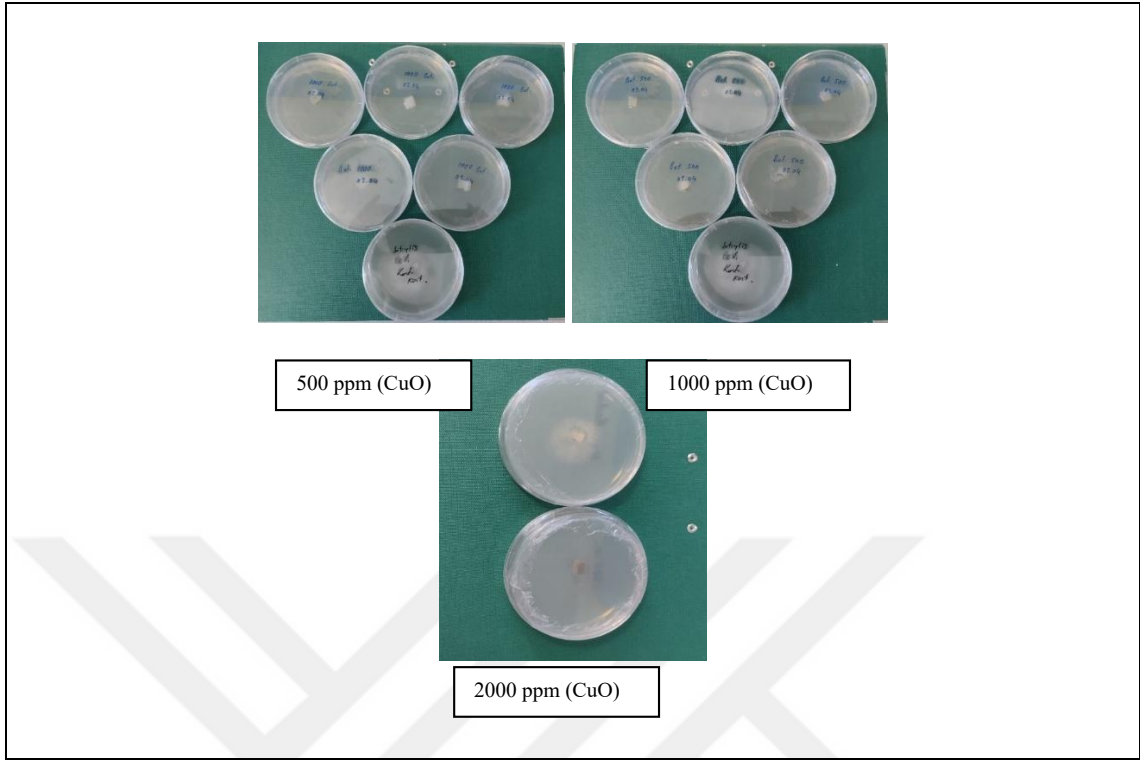
Etkili doz belirleme çalışmalarında 7 farklı konsantrasyona sahip Bakır oksit nanopartikülü 0,1, 1,15, 25, 50, 75 ve 100 ppm dozlarında petrilerde denenmiş olup nanopartikül dozlarının hiçbirini engellememiş ve kontrol ile aynı sonucu vermiştir (Şekil 4.15; Şekil 4.16). Daha sonra etkili doz belirleme çalışmaları 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında denenmiş ve etkili sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.17, Şekil 4.18).



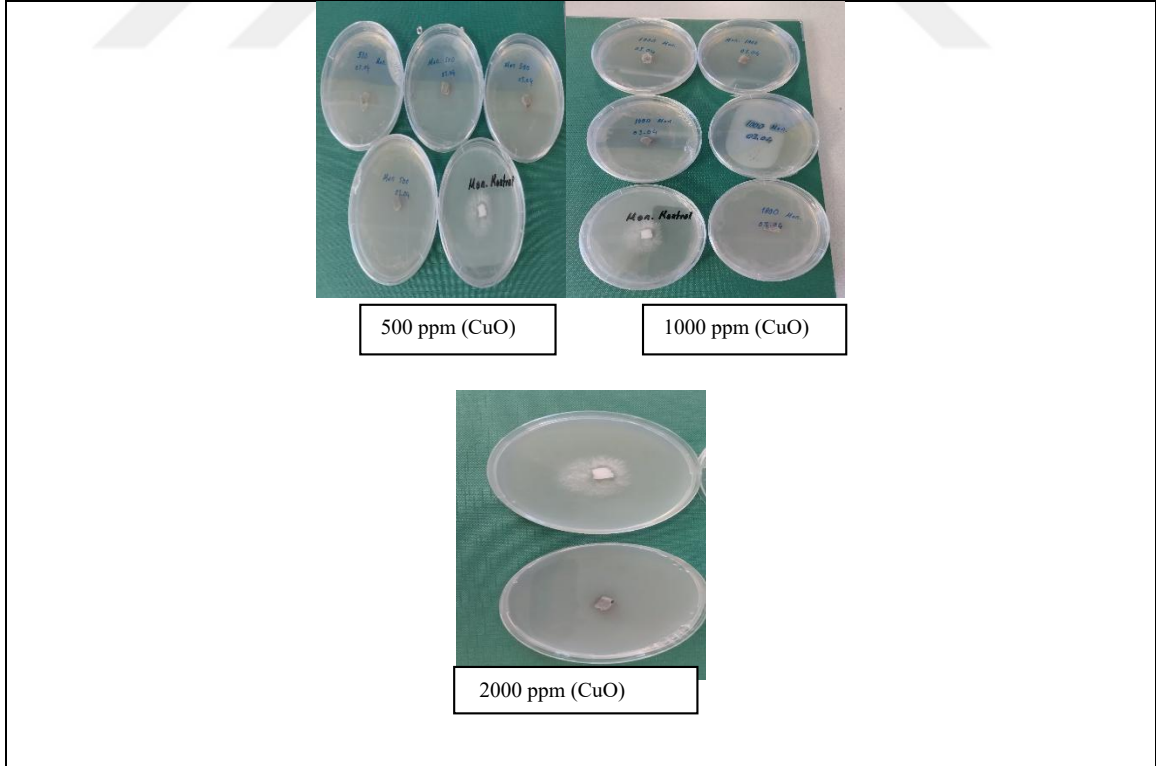
Şekil 4. 15. CuO-NP' ün 0.1, 1.0,15, 25, 50, 75,100 ppm dozlarında petrilerde *B. cinerea*'yı engelleme oranları



Şekil 4. 16. CuO-NP' ün 0.1, 1.0, 15, 25, 50, 75,100 ppm dozlarında petrilerde *Monilinia* spp.'yi engelleme oranları



Şekil 4. 17. CuO-NP' ün 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında petrilerde *B. cinerea*' yi engelleme oranları



Şekil 4. 18. CuO-NP' ün 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında petrilerde *Monilinia* spp' yi engelleme oranları

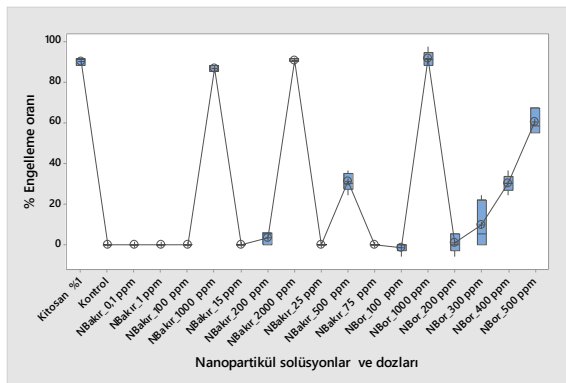
Farklı nanopartiküllerin *B. cinerea*'nın miselyal gelişimini engellemesi üzerine etkileri incelendiğinde, en yüksek etkiyi gösteren nanopartiküller, sırasıyla %91.36 engelleme oranı ile Bor nanopartikül 1000 ppm doz ile etkili olurken, %90,85 engelleme oranı ile Bakır oksit nanopartikülde 2000 ppm en etkili doz olmuştur. Pozitif kontrol olarak kullanılan Nano Kitosan %90.14 oranında etki göstererek Bakır ve Bor nanopartiküllerle aynı etki grubunda yer almıştır (Çizelge 4.1, Şekil 4.19).

Çizelge 4. 1. İn-vitro koşullarında petrilerde çilekte kurşuni küf hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları

Nanopartikül solüsyonları ve dozları**	% Engelleme oranı*
Bakır oksit nanopartikül (CuO-NP)	
0,1 ppm	0,00±0,00 E*
1.0 ppm	0,00±0,00 E
15 ppm	0,00±0,00 E
75 ppm	0,00±0,00 E
100 ppm	0,00±0,00 E
200 ppm	3,54±3,24 DE
500 ppm	31,10±4,52 C
1000 ppm	86,58±1,67 A
2000 ppm	90,85±1,36 A
Bor nanopartikül (B-NP)	
100 ppm	1,16±2,60 E
200 ppm	1,03±4,71 DE
300 ppm	9,98±11,48 DE
400 ppm	30,33±4,33C
500 ppm	60,52±6,18B
1000 ppm	91,36±3,74 A
Nano Kitosan % 1	90,14±1,52 A
Kontrol	0,00±0,00 F

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır(p=0,00).

**± değerler standart hatayı (SH) göstermektedir.



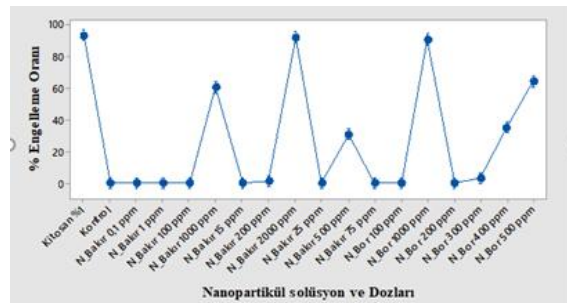
Şekil 4. 19. İn-vitro koşullarında petrilerde çilekte kurşuni küf hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları

Farklı nanopartiküllerin *Monilinia spp.*'nin miselyal gelişimini engellemesi üzerine etkileri incelendiğinde, en yüksek etkiyi gösteren nanopartiküller, sırasıyla %93.5 engelleme oranı ile Nano kitonsan, %92 engelleme oranı ile 2000 ppm bakır oksit nanopartikül ve %90.7 engelleme oranı ile 1000 ppm Bor nanopartikül en etkili dozlar olmuştur. (Çizelge 4.2, Şekil 4.20.).

Çizelge 4. 2. İn-vitro koşullarında petrilerde çilekte monilya hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları

Nanopartikül solüsyonları ve dozları**	% Engelleme oranı*
Bakır oksit nanopartikül (CuO-NP)	
0.1 ppm	0.00±0.00 D
1.0 ppm	0.00±0.00 D
15 ppm	0.00±0.00 D
75 ppm	0.00±0.00 D
100 ppm	0.00±0.00 D
200 ppm	1.2±1.22 D
500 ppm	31.1±2.77 C
1000 ppm	61.0±1.59 B
2000 ppm	92.0±0.62 A
Bor nanopartikül (B-NP)	
100 ppm	0.00±0.00 D
200 ppm	0.00±0.00 D
300 ppm	3.2±1.52 D
400 ppm	35.4±5.72 C
500 ppm	64.6±2.35 B
1000 ppm	90.7±0.91 A
Nano Kitonsan % 1	93.5±1.51 A
Kontrol	0.00±0.00 D

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır(p=0.05). **± değerler standart hatayı (SH) göstermektedir

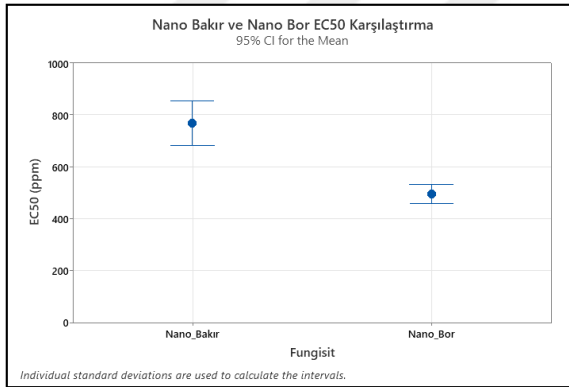


Şekil 4. 20. İn-vitro koşullarında petrilerde kirazda monilya hastalığına karşı denenen nanopartikül solüsyonların % engelleme oranları

Nanopartikül solüsyon dozları ile miseliyal gelişim arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile incelenmiş ve doz-gelişme doğru denklemleri hesaplanmıştır. Bu doğru denklemlerine göre solüsyonların fungusa karşı EC₅₀ dozları belirlenmiş ve çizelge 3’ de verilmiştir. B. cinerea’ nın misel gelişiminin nanopartiküllere duyarlılığı EC₅₀ değerleri üzerinden incelendiğinde, etkili bakır nanopartikül dozunun 767,3 ppm ve bor nanopartikül dozunun ise 495,7 ppm EC₅₀ değerinin üzerinde etkili konsantrasyona sahip dozlar olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4. 3. İn-vitro koşullarında çilekte kurşuni küf hastalığına karşı kullanılan CuO-NP ve B-NP EC₅₀ (ppm) değerlerinin karşılaştırılması

Nanopartiküller ve dozları**	%EC ₅₀ değerleri ± Sh*
CuO-NP %50 EC	767,3±68, A
B-NP % 50 EC	495,7±29,2 B



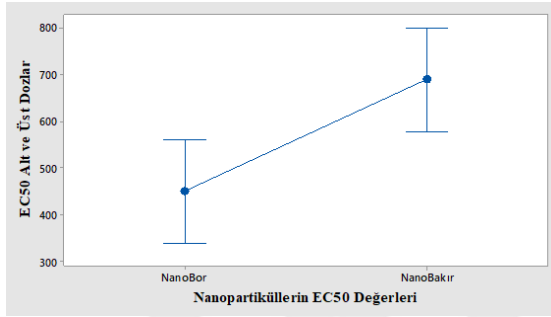
Şekil 4. 21. *Botrytis cinerea*’nın miseliyal gelişiminin bakır ve bor nanopartikül solüsyonlarına karşı duyarlılıklarının karşılaştırılması (EC₅₀ değerleri)

Nanopartikül solüsyon dozları ile miseliyal gelişim arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile incelenmiş ve doz-gelişme doğru denklemleri hesaplanmıştır. Bu doğru denklemlerine göre solüsyonların fungusa karşı EC₅₀ dozları belirlenmiş ve çizelge 4.4’de verilmiştir. *Monilinia spp.*’nın misel gelişiminin nanopartiküllere duyarlılığı EC₅₀ değerleri üzerinden incelendiğinde, etkili bakır nanopartikül dozunun 450.3 ppm ve bor nanopartikül dozunun ise 689.0 ppm EC₅₀ değerinin üzerinde etkili konsantrasyona sahip dozlar olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4. 4. İn-vitro koşullarında kirazda monilya hastalığına karşı kullanılan CuO-NP ve B-NP EC₅₀ (ppm) değerlerinin karşılaştırılması

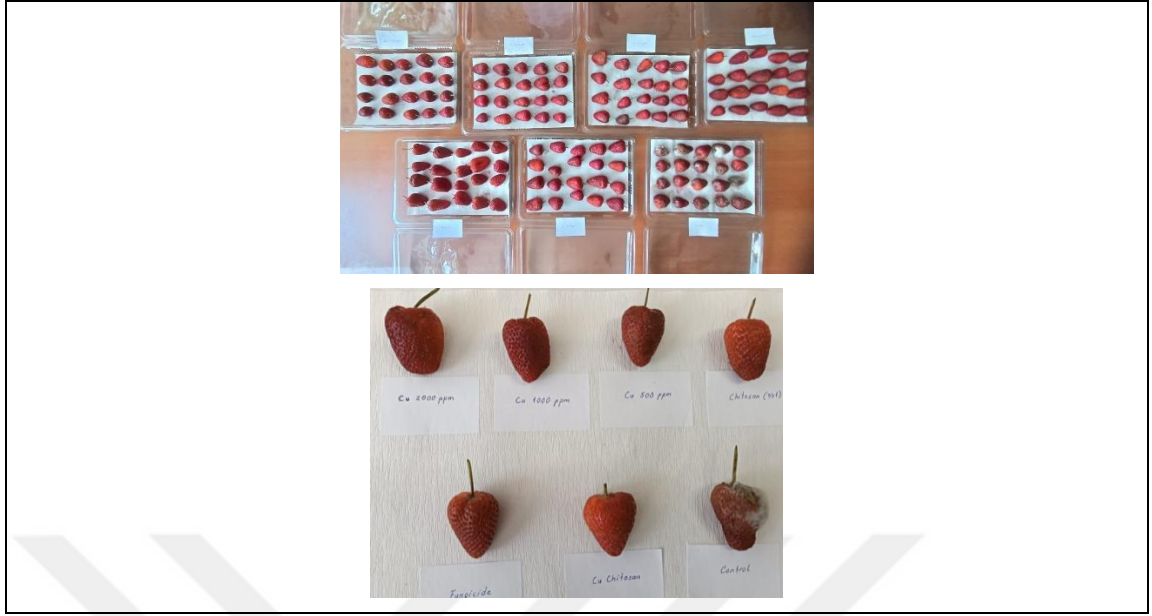
Nanopartiküller ve dozları**	%EC ₅₀ değerleri ± SH*
CuO-NP %50 EC	450.3 ± 38.2 A
B-NP % 50 EC	689.0 ± 41.9 B

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p=0,00).



Şekil 4. 22. Monilinia spp.'nin miselyal gelişiminin bakır ve bor nanopartikül solüsyonlarına karşı duyarlılıklarının karşılaştırılması (EC₅₀ değerleri)

CuO-NP, B-NP Nano kitosan, Bakır bazlı kitosan biyokompozit ve Bor bazlı kitosan biyokompozitlerin çilek meyveleri üzerindeki antifungal aktivitesini belirleme çalışmalarında, petri denemlerinde etkili bulunan dozlarla denemeler yürütülmüştür. Denemelerde CuO-NP için en etkili doz olan 2000 ppm ve iki alt dozu olan 1000 ve 500 ppm dozları kullanılmıştır. Sırasıyla en yüksek etkiyi %97,08 oranıyla 2000 ppm CuO-NP+Kitosan %1, %96,66 oranıyla Kitosan %1 ve %96,25 etki oranıyla 2000 ppm CuO-NP dozu göstermiş ve istatistiki olarak aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4.5, Şekil 4.23).



Şekil 4. 23. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan *B. cinerea*'ya karşı uygulanan CuO nanopartikül uygulamaları

Çizelge 4. 5. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan *B. cinerea*'ya karşı denenen CuO nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri

Nanopartikül solüsyonları	Hastalık şiddeti (%) **± SH*	Etki (%)± SH*
500 ppm CuO-NP	35.83±5.20 C	64.17±5.20 D
1000 ppm CuO-NP	21.50±1.33 C	78.50±1.32 C
2000 ppm CuO-NP	3.75±2.50 E	96.25±2.50 A
1000 ppm CuO-NP+Kitosan %1	13.000±1.00 D	87.00± 1.00 B
2000 ppm CuO-NP+Kitosan %1	2.91±0.75 E	97.08±0.72 A
Kitosan%1	3.33±0.72 E	96.66±0.72 A
Fungisit (0,62 g)	6.67±1.91 DE	93.33±1.91 AB
Kontrol	100.0 ±0.00 A	

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır(p=0,00)

**± değerler standart hatayı (SH) göstermektedir.

B-NP için ise en etkili doz olan 1000 ppm ve iki alt dozu olan 500 ve 250 ppm dozları meyve denemelerinde kullanılmıştır. Nano kitosan %1 ve bor bazlı kitosan biyokompozit 500 ve 1000 ppm dozlarında kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak fungusit ve negatif kontrol kullanılmıştır. Deneme sonuçları değerlendirildiğine sırasıyla en yüksek etkiyi %97.08 oranıyla 1000 ppm B-NP+Kitosan %1, %96.25 etki oranıyla Kitosan %1, %95.42 oranıyla 1000 ppm B-NP ve %92.17 oranıyla fungusit göstermiş ve istatistiki olarak etki grubunda yer almışlardır (Çizelge 4.6, Şekil 4.24).



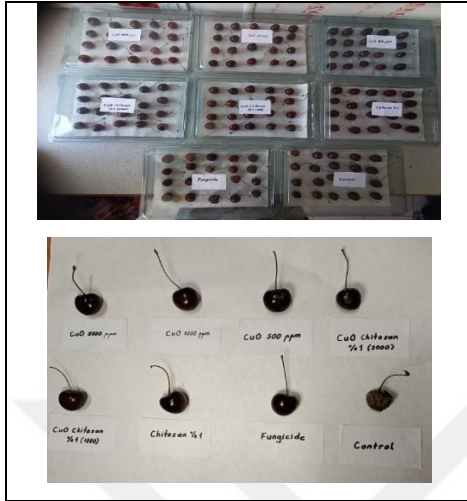
Şekil 4. 24. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan *B. cinerea*'ya karşı uygulanan Bor nanopartikül uygulamaları

Çizelge 4. 6. Çilekte kurşuni küf hastalığına neden olan *B. cinerea*'ya karşı denenen Bor nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri

Nanopartikül solüsyonları	Hastalık Şiddeti (%) **± SH*	Etki (%)± SH*
250 ppm B-NP	40.67 ± 1.15 B	59.33±1.15 D
500 ppm B-NP	24.50±4.82 E	75.50±4.82 C
1000 ppm B-NP	4.58±1.91 E	95.42±1.91 A
500 ppm B-NP+Kitosan %1	17.67± 1.15 D	82.33 ±1.15 B
1000 ppm B-NP+Kitosan %1	2.91±0.75 E	97.08±0.72 A
Kitosan%1	3.75±2.50 E	96.25±2.50 A
Fungisit (0,62 g)	7.08±1.44 E	92.17± 1.44 A
Kontrol	100.0 ±0.00 A	

CuO-NP, B-NP nano kitosan, bakır bazlı kitosan biyokompozit ve bor bazlı kitosan biyokompozitlerin kiraz meyveleri üzerindeki antifungal aktivitesini belirleme çalışmalarında, petri denemelerinde etkili bulunan dozlarla araştırma yürütülmüştür. Denemelerde CuO-NP için en etkili doz olan 2000 ppm ve iki alt dozu olan 1000 ve 500 ppm dozları kullanılmıştır. Sırasıyla en yüksek etkiyi %95.4 oranıyla fungisit, %94.2 oranıyla 2000 ppm CuO-NP+Kitosan %1.0, ve %92.0 etki oranıyla 1000 ppm CuO-

NP+Kitosan %1.0 dozu göstermiş ve istatistiki olarak aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.24).



Şekil 4. 25. Kirazda monilya hastalığına neden olan *Monilinia* spp.'ye karşı uygulanan CuO nanopartikül uygulamaları

Çizelge 4. 7. Kirazda monilya hastalığına neden olan *Monilinia* spp.'ye karşı denenen CuO nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri

Nanopartikül solüsyonları	Hastalık şiddeti (%) $^{**\pm SH^*}$	Etki (%) $\pm SH^*$
500 ppm CuO-NP	32.5 $\pm$ 1.61 B	65 $\pm$ 1.60.0 D
1000 ppm CuO-NP	22.67 $\pm$ 1.17 C	74.8 $\pm$ 1.16 C
2000 ppm CuO-NP	11.25 $\pm$ 1.91 D	86.3 $\pm$ 1.91 B
1000 ppm CuO-NP+Kitosan %1.0	5.5 $\pm$ 0.38 E	92.0$\pm$0.38 A
2000 ppm CuO-NP+Kitosan %1.0	3.33 $\pm$ 0.42 E	94.2$\pm$0.41 A
Kitosan%1	6.67 $\pm$ 1.10 DE	90.8 $\pm$ 1.10 AB
Fungisit (0.62 g)	2.08 $\pm$ 0.42 E	95.4$\pm$0.4 A
Kontrol	97.5 $\pm$ 0.00 A	0 $\pm$ 0.00 E

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır($p < 0.05$). $^{**\pm}$ değerler standart hatayı (SH) göstermektedir.

B-NP için ise en etkili doz olan 1000 ppm ve iki alt dozu olan 500 ve 250 ppm dozları meyve denemelerinde kullanılmıştır. Nano kitosan %1.0 ve bor bazlı kitosan biyokompozit 500 ve 1000 ppm dozlarında kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak fungusit ve negatif kontrol kullanılmıştır. Deneme sonuçları değerlendirildiğine sırasıyla en yüksek etkiyi %94.2 oranıyla fungusit, %93.3 etki oranıyla 1000 ppm B-NP+Kitosan %1.0, %92.8 etkiyle 1000 ppm B-NP, %91.7 etki oranıyla 500 ppm B-NP+Kitosan %1.0 etki göstermiş ve istatistiki olarak aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.25).



Şekil 4. 26. Kirazda monilya hastalığına neden olan *Monilinia* spp.'ye karşı uygulanan bor nanopartikül uygulamaları

Çizelge 4. 8. Kirazda monilya hastalığına neden olan *Monilinia* spp.'ye karşı denenen bor nanopartiküllerin meyvede oluşturduğu % hastalık şiddeti ve % etkileri

Nanopartikül solüsyonları	Hastalık şiddeti (%) $^{**\pm SH^*}$	Etki (%) $\pm SH^*$
250 ppm B-NP	64.5 $\pm$ 3.89.0 B	33 $\pm$ 3.89.0 C
500 ppm B-NP	23.1 $\pm$ 1.40 C	74.4 $\pm$ 1.40 B
1000 ppm B-NP	4.75 $\pm$ 0.50 D	92.8 $\pm$ 0.50 A
500 ppm B-NP+Kitosan %1	5.83 $\pm$ 0.42 D	91.7$\pm$0.42 A
1000 ppm B-NP+Kitosan %1	4.17 $\pm$ 0.42 D	93.3$\pm$0.42 A
Kitosan%1	6.67 $\pm$ 1.10 D	90.8 $\pm$ 1.10 A
Fungisit (0.62 g)	3.33 $\pm$ 0.42 D	94.8$\pm$0.42.0 A
Kontrol	97.5 $\pm$ 0.00 A	0 $\pm$ 0.00 D

*Aynı sütunda farklı büyük harf taşıyan değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır($p<0.05$). $^{**\pm}$ değerler standart hatayı (SH) göstermektedir.

Nanobiyoteknoloji, bitki hastalıklarının kontrolünde giderek daha fazla kullanılan yenilikçi bir alan haline gelmiştir. Kombine nanopartiküllerin sahip olduğu gelişmiş fizikokimyasal, biyolojik ve optik özellikler sayesinde, çeşitli bitki patojenlerine karşı güçlü antifungal aktivite sergiledikleri bilinmektedir. Özellikle Zn, Cu ve kitosan nanopartikülleri hem bakteri (Chatterjee ve ark., 2012) hem de fungus türlerine (Ouda, 2014) karşı geniş antimikrobiyal spektrumlarıyla dikkat çekmektedir. Kombine bakır-kitosan nanokompozitlerin yeni nesil bakır bazlı biyo-pestisitler olarak kullanılabilirdiği ve kitosan bazlı nanomateriyallerin bitki büyümesini teşvik edici, antifungal ve antibakteriyel

ajanlar olarak başarıyla değerlendirildiği bildirilmiştir (Brunel ve ark., 2013; Hardy ve ark., 2004; Jaiswal ve ark., 2012; Saharan ve ark., 2013, 2015).

Çilek meyvelerine yönelik çalışmalarda, fungal kitosan nanokompozit yenilebilir kaplamanın *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer* ve *Aspergillus niger*'e karşı hem in vitro hem de in vivo koşullarda yüksek antifungal etki sağladığı; kaplamanın çilekte bu etmenlerin gelişmesini ve canlılığını baskılayabildiği gösterilmiştir (Melo ve ark., 2020). Bakır ve bor nanopartiküllerinin ve bunların kitosan nanokompozitlerinin kullanıldığı bir çalışmada ise çilekte *B. cinerea*'ya karşı %92–97 oranında antifungal etki tespit edilmiştir. Benzer şekilde Parada ve ark. (2024), CuO-NP'nin İprodion ve Tebuconazole ile kombinasyonlarının %80,9–93 arasında etkinlik sağladığını ve nanopartiküllerin fungusitlerle sinerjistik etkileşim göstererek çevresel kirliliğin azaltılmasında etkili olabileceğini bildirmiştir. Al-Dhabaan ve ark. (2017) ise Zn, Cu ve kitosan nanokompozitlerinin çilekte *B. cinerea*'ya karşı en yüksek engelleme ve inhibisyon etkisini gösterdiğini ve bu kombinasyonun meyve çürümesini azaltarak raf ömrünü önemli ölçüde uzattığını belirtmiştir. Ayrıca CuNP'lerin biyosidal aktivitesinin, yüzey alanının büyüklüğü sayesinde mikrobiyal hücrelere güçlü şekilde bağlanması, hücre zarını bozması ve oksidatif stres ile protein denatürasyonuna yol açması gibi mekanizmalarla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Raffi ve ark., 2010; Wei ve ark., 2010; Delgado ve ark., 2011; Palza ve ark., 2015).

Bu etkiler yalnızca çilekle sınırlı kalmamış, kiraz meyvelerinde de benzer başarılar sağlanmıştır. Kirazlarda depolama çürüklüğüne neden olan *Monilinia laxa*, *B. cinerea*, *R. stolonifer*, *Alternaria sp.* ve *Penicillium sp.* gibi önemli patojenlere karşı kitosan uygulamasının hem hasat öncesi hem de sonrası dönemde meyve kalitesini önemli ölçüde koruduğu gösterilmiştir (Felizani ve ark., 2013). Ayrıca AgNP'lerin 200 mg/mL dozunda *Monilinia spp.*'ye karşı %96 oranında engelleme sağladığı bildirilmiştir (Madbouly, 2021). Muthuchamy ve ark. (2020), Ammar ve ark. (2019), Malandrakis ve ark. (2019), Khamis ve ark. (2017) ve El-Abeid ve ark. (2020) gibi birçok araştırma, farklı nanopartikül türlerinin (AgNP, ZnNP, CuNP vb.) *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Phytophthora spp.*, *Botrytis spp.*, *Alternaria spp.*, *Colletotrichum spp.*, *Monilinia spp.* ve *Penicillium spp.* gibi geniş yelpazede patojenlere karşı etkili toksisite gösterdiğini ortaya koymuştur.

Bakır, mikrobiyal hücrelere karşı spesifik olmayan ancak güçlü bir biyosidal etki mekanizmasına sahiptir. Cu-kitosan nanokompozitler, reaktif oksijen türlerinin temizlenmesi, enzim aktivitesinin artırılması ve hücre yapısının bozulması gibi birçok savunma mekanizmasını aktive edebilmektedir (Xie ve ark., 2011; Ingle ve ark., 2013; Saharan ve ark., 2013; Saharan ve ark., 2015). Bu da CuNP'leri özellikle *B. cinerea* ve *Monilinia* spp. gibi meyve patojenlerine karşı etkili, çevre dostu ve sürdürülebilir antifungal ajanlar haline getirmektedir. Çileklerin ince kabuklu yapısından dolayı neme karşı hassas olmaları, nanopartikül kaplamaların sağladığı fiziksel bariyer etkisini daha önemli kılmaktadır. CuO-NP ve B-NP'lerle kaplanmış çileklerin, kaplanmamış kontrollere göre daha düşük ağırlık kaybı gösterdiği, nanopartikül kaplamaların CO₂, O₂ ve neme karşı yarı geçirgen bariyer oluşturarak solunum ve su kaybını azalttığı tespit edilmiştir (Gol ve ark., 2013; Harnkarnsujarit ve ark., 2017; Nguyen ve ark., 2021). Kiraz meyvelerinde yapılan benzer uygulamalarda da, bakır ve bor nanopartiküllerinin ve bunların kitosan kombinasyonlarının *Monilinia* spp.'ye karşı %91–94 oranında antifungal etki sağladığı saptanmıştır.

4.5. Belirlenen Etkin Dozların Çilek Meyvelerine Uygulanması Sonucunda Muhafaza Performansına Etkileri

Çalışmadaki uygulamalara ait detaylar Çizelge 4.9'da ifade edilmiştir.

Çizelge 4. 9. Çilek meyvesinde nanopartikül uygulamalarına ait detaylar

Uygulama kısaltması	Dozlar	Uygulama
KONTROL	-	Kontrol
KİTOSAN	%1.0	Nano Kitosan
BAKIR1	1000 ppm	Bakır Oksit Nanopartikül
BAKIR2	2000 ppm	Bakır Oksit Nanopartikül
BAKIR 1+KİT	1000 ppm + %1.0	Bakır Oksit Nanopartikül+ Nanokitosan
BAKIR2+KİT	2000 ppm + %1.0	Bakır Oksit Nanopartikül+ Nanokitosan
BOR 1	500 ppm	Bor Nanopartikül
BOR 2	1000 ppm	Bor Nanopartikül
BOR1+KİT	500 ppm + %1.0	Bor Nanopartikül + Nanokitosan
BOR2+KİT	1000 ppm + %1.0	Bor Nanopartikül + Nanokitosan

Çileğin ağırlık kaybı üzerinde farklı nanopartikül uygulamaları ve muhafaza sürelerinin etkileri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çalışmada muhafaza genel ortalamaları ve uygulama

genel ortalamaları değerlendirildiğinde oluşan farklılıkların önemli olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Muhafaza süresinin sonunda (20. gün), en düşük ağırlık kaybı %4.25 ile BAKIR2 uygulamasında gözlenirken, en yüksek ağırlık kaybı %5.38 ile BOR1+KİT uygulamasında gerçekleşmiştir. Uygulamalara ait genel ortalamalar kıyaslandığında, en düşük ağırlık kaybı %2.77 ile yine BAKIR2 uygulamasında belirlenmiş, en yüksek ağırlık kaybı ise %3.56 ile BOR1+KİT uygulamasında tespit edilmiştir. Ayrıca, muhafaza sürelerine ait genel ortalamalar incelendiğinde, beklendiği gibi süre uzadıkça ağırlık kayıplarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Depolama boyunca çileklerde meydana gelen ağırlık kaybı, mikrobiyal bozulma ve suyun buharlaşmasıyla ilişkilendirilmektedir (Zhang ve ark., 2018). Literatürde, nanokompozitlerin ağırlık kaybı üzerine etkisini inceleyen araştırmacıların, kivi (Hu ve ark., 2011), domates (Kaewklin ve ark., 2018), mango (Chi ve ark., 2019), hurma (El-Gioushy ve ark., 2022) ve çilek (Bahmani ve ark., 2024) gibi çeşitli meyve ve sebzelerde olumlu sonuçlar elde ettikleri bildirilmiştir. Bu çalışmada, bakır nanokompozitlerinin kontrol grubuna kıyasla ağırlık kaybını geciktirdiği tespit edilmiştir. Ancak, bor ve kitosan nanokompozitleri içeren uygulamaların ağırlık kaybı bakımından kontrol grubuyla benzer seviyede kaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4. 10. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin ağırlık kaybı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)				Ortalama
	5	10	15	20	
KONTROL	1.51 ab	2.66 a	3.61 abc	5.17 ab	3.24 abc
KİTOSAN	1.54 ab	2.53 a	3.51 bc	4.52 ab	3.03 cde
BAKIR1	1.34 ab	2.40 a	3.37 bc	4.39 ab	2.87 de
BAKIR2	1.26 b	2.33 a	3.22 c	4.25 b	2.77 e
BAKIR1+KİT	1.66 a	2.65 a	3.67 abc	4.72 ab	3.17 bcd
BAKIR2+KİT	1.66 a	2.70 a	3.67 abc	4.66 ab	3.18 bcd
BOR1	1.43 ab	2.47 a	3.53 bc	4.66 ab	3.02 cde
BOR2	1.43 ab	2.39 a	3.36 bc	4.79 ab	2.99 cde
BOR1+KİT	1.53 ab	2.92 a	4.40 a	5.38 a	3.56 a
BOR2+KİT	1.54 ab	2.71 a	4.03 ab	5.35 a	3.40ab
Ortalama	1.49 D	2.58 C	3.64 B	4.79 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Uygulamalar ve muhafaza sürelerinin çileğin SÇKM içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin veriler Çizelge 4.11'de yer almaktadır. İnteraksiyon bakımından 20. gün verileri incelendiğinde, en düşük SÇKM miktarı %6.73 ile BAKIR2+KİT uygulamasından elde edilirken, en yüksek SÇKM miktarı %7.53 ile BAKIR1, BAKIR1+KİT ve BOR2+KİT

uygulamalarından elde edilmiştir. Uygulamalara ait genel ortalamaları arasında oluşan farklılıklar önemsiz bulunurken, muhafaza sürelerine ait genel ortalamaları arasında oluşan farklılıklar önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Muhafazanın 5. gününde ortalama SÇKM değerinde önemli bir artış gözlemlenmiş, ancak 5. günden sonra bu değerde bir düşüş meydana gelmiştir. Hasat zamanı SÇKM değeri %7.06 olarak ölçülmüş ve muhafazanın 20. gününde %7.33'e ulaşmıştır. Ancak bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Çileklerde SÇKM miktarı, tat oluşumunda etkili olması ve olgunluk değerlendirmesinde kullanılabilirliği nedeniyle oldukça önemlidir (Chu ve ark., 2020). SÇKM değerlerindeki ani artışlar veya azalmalar tat profilinde değişikliklere yol açabilir. Bu nedenle, çileklerin hasat sırasında sahip olduğu SÇKM değerinin hasat sonrası süreçte korunması büyük önem taşımaktadır. Bahmani ve ark., (2024), yaptıkları çalışmada nanokompozit uygulanan çileklerin SÇKM miktarlarında muhafazanın 6. gününe kadar bir artış, ardından bir azalma tespit ettiklerini bildirmiştir. Xu ve ark., (2020), su bazlı reçine polimer kaplama uygulamasının çilek muhafazasında etkilerini incelemiş ve çileklerde ilk 5 gün boyunca SÇKM miktarında bir artış gözlemlendiğini, ardından 7. günden 11. güne kadar bir azalış meydana geldiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada da muhafazanın belirli bir döneminde SÇKM değerlerinin yükseldiği, sonrasında ise azalış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 11. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin SÇKM (%) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	7.06 a	7.53 a	7.20 a	7.40a	7.50 ab	7.34 a
KİTOSAN	7.06 a	7.73 a	7.33 a	7.20 a	7.13 ab	7.29 a
BAKIR1	7.06 a	7.66 a	7.20 a	7.13 a	7.53 a	7.32 a
BAKIR2	7.06 a	7.60 a	7.60 a	7.26 a	7.33 ab	7.37 a
BAKIR1+KİT	7.06 a	7.80 a	7.40 a	7.40 a	7.53 a	7.44 a
BAKIR2+KİT	7.06 a	7.60 a	7.00 a	7.40 a	6.73 b	7.16 a
BOR1	7.06 a	7.86 a	7.33 a	7.93 a	7.40 ab	7.52 a
BOR2	7.06 a	8.26 a	7.53 a	7.20 a	7.33 ab	7.48 a
BOR1+KİT	7.06 a	6.73 a	6.80 a	7.46 a	7.26 ab	7.06 a
BOR2+KİT	7.06 a	7.26 a	7.53 a	7.53 a	7.53 a	7.38 a
Ortalama	7.06 C	7.60 A	7.29 BC	7.39 AB	7.33 ABC	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Muhafaza süresince çileğin pH değerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.12'de gösterilmiştir. İnteraksiyon ortalamaları değerlendirildiğinde, muhafazanın 20. gününde BAKIR1 ve BAKIR2 uygulamaları, kontrol grubuyla benzer bir etki göstermiştir. Ancak diğer uygulamaların, kontrol grubuna kıyasla pH değerlerinde bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Muhafaza ortalamalarına bakıldığında, ilerleyen süreyle birlikte pH değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Hasat zamanı 3.58 olarak ölçülen pH değeri, 20. günün sonunda 3.64'e ulaşmıştır. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, BAKIR1 ve BAKIR2 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla pH değerlerinde bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Diğer uygulama ortalamalarının ise kontrol grubu ile benzer seviyelerde kaldığı görülmüştür. İşlek (2024), çileklerde muhafazanın ilerleyen dönemlerinde, çalışmamızda olduğu gibi, pH değerinde bir artış olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, başka bir çalışmada demir oksit nanopartikül ve kitosan kaplamalı çileklerin başlangıç pH değeri 3.48 olarak ölçülmüş, depolama sürecinin sonunda ise kaplanmamış çileklerin pH değeri 4.5, kaplama uygulaması yapılan çileklerin pH değeri ise 4.2 olarak tespit edilmiştir (Sani ve ark., 2024).

Çizelge 4. 12. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin pH değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	3.58 a	3.63 a	3.65 ab	3.65 ab	3.59 d	3.62 ab
KİTOSAN	3.58 a	3.61 a	3.68 a	3.68 a	3.66 a	3.64 a
BAKIR1	3.58 a	3.55 a	3.55 c	3.55 c	3.60 cd	3.57 d
BAKIR2	3.58 a	3.56 a	3.57 bc	3.57 bc	3.61 bcd	3.58 cd
BAKIR1+KİT	3.58 a	3.57 a	3.63 abc	3.63 abc	3.65 ab	3.61 abc
BAKIR2+KİT	3.58 a	3.57 a	3.58 bc	3.58 bc	3.67 a	3.59 bcd
BOR1	3.58 a	3.60 a	3.60 abc	3.60 abc	3.66 a	3.60 bc
BOR2	3.58 a	3.62 a	3.60 abc	3.60 abc	3.64 abc	3.61 abc
BOR1+KİT	3.58 a	3.59 a	3.62 abc	3.62 abc	3.65 a	3.61 abc
BOR2+KİT	3.58 a	3.61 a	3.62 abc	3.62 abc	3.68 a	3.62 ab
Ortalama	3.58 C	3.59 BC	3.61 B	3.61 B	3.64 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Uygulama ve muhafaza sürelerinin çileğin titre edilebilir asitlik (TA) değerlerine etkileri Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, hem muhafaza genel ortalamalarında hem de uygulama genel ortalamalarında önemli farklılıklar saptanmıştır ($p<0.05$). Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat

başlangıcındaki ortalama TA değeri 1.22 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer azalarak 20. günde 1.19'a düşmüştür. Uygulamaların etkisi incelendiğinde, sadece 5. günde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bu analiz döneminde en düşük TA içeriği BOR2+KİT uygulamasından, en yüksek TA içeriği ise BAKIR2+KİT uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en düşük TA içeriği 1.17 ile BOR2+KİT uygulamasında gözlenirken, en yüksek 1.25 ile BAKIR1 uygulamasında gözlemlenmiştir. Meyvelerin TA içeriği, kalite değerlendirmesinde önemli bir özellik olan lezzetle ilişkilidir. Meyvelerdeki titre edilebilir asitlik (TA) değeri, metabolik aktivite ve solunum sırasında organik asitlerin tüketimiyle değişir. Bu süreçte, solunum hızının artması asitlik seviyesinin azalmasına neden olmaktadır (Jin ve ark., 2013; İşlek, 2024). TA içeriğindeki azalma, meyvelerin lezzetinde değişikliklere yol açarak tüketici tercihlerini etkileyebilir. Bu nedenle, hasat sonrası dönemde meyvelerin metabolik aktivite ve solunumunun minimize edilmesiyle TA içeriğindeki düşüş sınırlandırılmalıdır. Bu çalışmada, çileklerde TA içeriğindeki düşüşün sınırlı kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 13. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin titre edilebilir asitlik (TA) içeriği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	1.22 a	1.20 ab	1.17 a	1.18 a	1.27 a	1.21 ab
KİTOSAN	1.22 a	1.24 ab	1.16 a	1.17 a	1.23 a	1.20 ab
BAKIR1	1.22 a	1.28 ab	1.29 a	1.17 a	1.28 a	1.25 a
BAKIR2	1.22 a	1.22 ab	1.21 a	1.10 a	1.21 a	1.19 ab
BAKIR1+KİT	1.22 a	1.21 ab	1.24 a	1.16 a	1.18 a	1.20 ab
BAKIR2+KİT	1.22 a	1.32 a	1.16 a	1.17 a	1.08 a	1.19 ab
BOR1	1.22 a	1.25 ab	1.14 a	1.20 a	1.15 a	1.19 ab
BOR2	1.22 a	1.18 ab	1.19 a	1.15 a	1.18 a	1.18 ab
BOR1+KİT	1.22 a	1.19 ab	1.20 a	1.21 a	1.19 a	1.20 ab
BOR2+KİT	1.22 a	1.12 b	1.21 a	1.15 a	1.15 a	1.17 b
Ortalama	1.22 A	1.22 A	1.19 AB	1.17 B	1.19 AB	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Çileğin sertlik değerleri üzerine uygulama ve muhafaza sürelerinin etkileri Çizelge 4.14'de verilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcında sertlik değeri %58.55 iken, 20. günde %50.63 seviyesine düşmüştür. Sertlik değerlerinde, muhafaza süresi boyunca genel bir azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Ancak 15. günde ortalama sertlik değeri 62,18 ile geçici bir artış göstermiştir. Uygulama

ortalamları değerlendirildiğinde, en yüksek sertlik değeri %55.48 ile BOR1+KİT uygulamasında belirlenirken, en düşük %49.78 ile BAKIR2+KİT uygulamasında belirlenmiştir. Sertlik, çileğin kalitesi ve tazeliği için önemli bir göstergedir. Sertlik kaybı, hemiselüloz ve galaktoz kaybının yanı sıra hücre duvarını hidrolize eden enzimlerin artan aktivitesine bağlı olarak pektin çözünmesi gibi hücre duvarı değişiklikleriyle ilişkilidir (Desai ve Park 2006). Literatürdeki önceki çalışmalarda, kitosan destekli nanokompozitlerin, kontrol grubuna kıyasla sertlik kaybını önlemede etkili olduğu ve sertliğin korunduğu bildirilmektedir (Xing ve ark., 2011; Eshghi ve ark., 2014; Mahmoudi ve ark., 2022; Bahmani ve ark., 2024). Literatürle paralel olarak, bu çalışmada da BOR1+KİT uygulamasının sertliği daha iyi muhafaza ettiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 14. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin sertliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	58.55 a	42.76 a	47.02bcd	55.76 c	54.76 a	51.77 b
KİTOSAN	58.55 a	40.62 a	37.21 ef	63.50 ab	49.02 a	49.78 b
BAKIR1	58.55 a	42.38 a	33.02 f	65.59 ab	49.74 a	49.85 b
BAKIR2	58.55 a	43.57 a	46.50bcd	60.00 bc	47.28 a	51.18 b
BAKIR1+KİT	58.55 a	43.14 a	42.90cde	59.83 bc	51.07 a	51.10 b
BAKIR2+KİT	58.55 a	42.23 a	41.71 de	64.47 ab	53.66 a	52.21 ab
BOR1	58.55 a	43.28 a	50.02 ab	62.83 ab	47.57 a	52.45 ab
BOR2	58.55 a	40.14 a	49.59 ab	60.38 abc	50.73 a	51.88 ab
BOR1+KİT	58.55 a	43.38 a	54.76 a	67.04 a	53.66 a	55.48 a
BOR2+KİT	58.55 a	45.05 a	48.78 abc	62.42 abc	48.35 a	52.63 ab
Ortalama	58.55 B	42.65 E	45.15 D	62.18 A	50.63 C	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Uygulamalar ve muhafaza sürelerinin çileğin solunum değerleri üzerindeki etkileri, Çizelge 4.15'de gösterilmektedir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki solunum değeri 11.25 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer artış göstererek 20. günde 33.03 seviyesine ulaşmıştır. Muhafazanın 20. günü incelendiğinde, en yüksek solunum değeri (38.32) BOR1+KİT uygulamasında tespit edilirken, en düşük (26.36) 20. gün BAKIR1+KİT uygulamasında tespit edilmiştir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, kontrol grubunun solunum ortalaması 23.00 olurken, BAKIR2 grubunun ortalaması 20.12 olarak gerçekleşmiştir. Ancak uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Literatürde benzer bir

çalışmada, Eshghi ve ark., (2014), çilekte bakır yüklü ve yüksüz nanokitosan kaplamalarının depolama üzerindeki etkilerini inceledikleri araştırmalarında, kaplama uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla solunumu azaltmasının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu bildirmiştir. Ancak, çalışmamızda uygulama ortalamaları dikkate alındığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Çizelge 4. 15. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin solunum oranı ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	11.25 a	21.15 a	22.24 a	25.87 a	34.52 ab	23.00 a
KİTOSAN	11.25 a	13.17 c	18.55 a	28.78 a	31.32 ab	20.61 a
BAKIR1	11.25 a	15.16abc	19.57 a	23.84 a	33.13 ab	20.59 a
BAKIR2	11.25 a	20.03 ab	16.80 a	21.61 a	30.92 ab	20.12 a
BAKIR1+KİT	11.25 a	13.42 c	20.71 a	28.98 a	26.36 b	20.14 a
BAKIR2+KİT	11.25 a	13.82 bc	22.48 a	27.50 a	30.95 ab	21.20 a
BOR1	11.25 a	14.12 bc	21.54 a	27.54 a	35.87 a	22.06 a
BOR2	11.25 a	13.83 bc	21.99 a	22.60 a	32.54 ab	20.44 a
BOR1+KİT	11.25 a	17.18abc	20.23 a	26.24 a	38.32 a	22.64 a
BOR2+KİT	11.25 a	13.60 bc	17.59 a	22.40 a	36.41 a	20.25 a
Ortalama	11.25 E	15.55 D	20.17 C	25.53 B	33.03 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

L^* (parlaklık) değerleri üzerindeki uygulama ve muhafaza sürelerinin etkileri, Çizelge 4.16'da incelenmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcında L^* değeri 32.22 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer azalarak 20. günde 29.25 seviyesine düşmüştür. Muhafazanın 10. ve 15. günlerinde uygulamalar arasında oluşan farklar anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama L^* değeri 30.34 ile BOR2 uygulamasında, en düşük ortalama ise 28.56 ile BAKIR2 uygulamasında gözlemlenmiştir. Renk ve görünüm, tüketicilerin meyve kalitesine ilişkin algılarında önemli bir rol oynamaktadır. L^* değerinin yüksek olması, meyvenin daha parlak bir yapıda kaldığını göstermektedir. Bu nedenle, muhafaza süresi boyunca renk değerlerinin korunması kritik öneme sahiptir. Depolama sürecinde L^* değeri, genellikle enzimatik esmerleşme veya pigment agregasyonu nedeniyle oluşan yüzey koyulaşmasını yansıtır. L^* değerindeki düşüş, esmerleşmenin daha ciddi boyutlara ulaştığını ifade etmektedir (Li ve ark., 2023; Sayyari

ve ark., 2022). Çalışmamızda, uygulamaların muhafaza süresince etkisi diğer çalışmalarda da olduğu gibi (Ocalan ve ark., 2022) kontrol grubuna yakın çıkmıştır.

Çizelge 4. 16. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin L* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	32.22 a	29.87 a	30.48 ab	29.37 ab	28.70 a	30.13 a
KİTOSAN	32.22 a	29.68 a	28.24 cd	28.51 ab	28.64 a	29.46 ab
BAKIR1	32.22 a	28.44 a	28.67 bcd	28.72 ab	29.75 a	29.56 ab
BAKIR2	32.22 a	28.72 a	26.61 d	26.71 c	28.54 a	28.56 b
BAKIR1+KİT	32.22 a	29.33 a	28.77 bcd	28.37 ab	30.41 a	29.82 a
BAKIR2+KİT	32.22 a	29.37 a	29.26 abc	28.01 bc	29.85 a	29.74 a
BOR1	32.22 a	29.54 a	29.07 bc	29.36 ab	29.04 a	29.84 a
BOR2	32.22 a	30.03 a	30.21 abc	29.68 a	29.56 a	30.34 a
BOR1+KİT	32.22 a	29.09 a	29.75 abc	28.84 ab	28.84 a	29.75 a
BOR2+KİT	32.22 a	30.57 a	31.36 a	28.02 bc	29.14 a	30.26 a
Ortalama	32.22 A	29.46 B	29.24 B	28.56 C	29.25 B	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Çileğin a* (renk kırmızılığı) değerlerine muhafaza süreleri ve uygulamaların etkileri, Çizelge 4.17’de incelenmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalamaları değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki a* değeri 32.28 iken, muhafaza süresinin sonunda 31.67 olarak saptanmıştır. Fakat oluşan farklılık önemsiz bulunmuştur. Muhafazanın 20. gününe bakıldığında, en yüksek a değeri 33.98 ile BOR2 uygulamasında belirlenirken, en düşük 29.34 ile BAKIR1 uygulamasında belirlenmiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama a değeri 32.96 ile BOR2 uygulamasında, en düşük ortalama ise 31.17 ile BAKIR2+KİT uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 17. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin a* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	32.28 a	31.33 ab	33.92 a	31.17 a	30.64 ab	31.87 ab
KİTOSAN	32.28 a	31.62 ab	32.69 ab	32.44 a	32.75 ab	32.36 ab
BAKIR1	32.28 a	33.24 ab	32.05 ab	32.12 a	29.34 b	31.80 ab
BAKIR2	32.28 a	32.35 ab	34.46 a	31.19 a	30.61 ab	32.18 ab
BAKIR1+KİT	32.28 a	33.02 ab	32.18 ab	32.36 a	30.33 ab	32.03 ab
BAKIR2+KİT	32.28 a	31.00 b	31.26 ab	30.94 a	30.37 ab	31.17 b
BOR1	32.28 a	30.90 b	32.73 ab	32.65 a	33.48 a	32.41 ab
BOR2	32.28 a	33.77 a	32.42 ab	32.35 a	33.98 a	32.96 a
BOR1+KİT	32.28 a	31.75 ab	31.59 ab	32.59 a	33.33 ab	32.31 ab
BOR2+KİT	32.28 a	32.95 ab	29.85 b	32.15 a	31.90 ab	31.83 ab
Ortalama	32.28 A	32.19 A	32.32 A	32.00 A	31.67 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde p<0.05).

Farklı nanopartikül uygulamaları ve muhafaza sürelerinin çileğin b* (renk sarılığı) değerleri üzerindeki etkileri, Çizelge 4.18'de gösterilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki b* değeri 19.43 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer azalarak 20. günde 18.07 seviyesine düşmüştür. Muhafaza süresi boyunca b* değerlerinde genel bir azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Muhafaza döneminin son günü incelendiğinde, en yüksek b* değeri 20.51 ile 20. gün Bor 2 uygulamasında tespit edilmiştir. En düşük b değeri ise 14.37 ile 20. gün BAKIR 1 uygulamasında gözlenmiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, rakamsal olarak en yüksek ortalama b* değeri 20,04 ile BOR 1 uygulamasında, en düşük ortalama ise 18.03 ile BAKIR2+KİT uygulamasında gözlenmiştir. Ancak, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Çizelge 4. 18. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin b* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	19.43 a	17.61 a	22.09 a	16.48 a	16.66 ab	18.45 a
KİTOSAN	19.43 a	19.86 a	17.02 bc	19.84 a	19.99 a	19.23 a
BAKIR1	19.43 a	20.96 a	19.49 ab	20.56 a	14.37 b	18.96 a
BAKIR2	19.43 a	19.96 a	19.02 ab	17.84 a	16.97 ab	18.64 a
BAKIR1+KİT	19.43 a	19.92 a	17.79 bc	21.33 a	17.50 ab	19.19 a
BAKIR2+KİT	19.43 a	18.71 a	16.39 bc	18.60 a	17.04 ab	18.03 a
BOR1	19.43 a	21.41 a	19.59 ab	20.46 a	19.31 a	20.04 a
BOR2	19.43 a	21.92 a	18.45 abc	18.82 a	20.51 a	19.83 a
BOR1+KİT	19.43 a	19.80 a	18.59 abc	19.64 a	20.17 a	19.52 a
BOR2+KİT	19.43 a	20.01 a	14.91 c	18.93 a	18.22 ab	18.31 a
Ortalama	19.43 AB	20.02 A	18.33 BC	19.25 ABC	18.07 C	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Uygulama ve muhafaza sürelerinin kroma (renk yoğunluğu) değerleri üzerindeki etkileri, Çizelge 4.19'da verilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki Chroma değeri 37.71 iken, muhafaza süresinin sonunda azalarak 36.49 değerine düşmüştür. Kroma değerinin düşmesi, meyvenin renk canlılığının azalmasını gösterir, bu durum ise kalite kaybının bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Muhafazanın 20. gününe bakıldığında, en yüksek kroma değeri 39.70 ile BOR2 uygulamasında, en düşük ise 32.67 ile BAKIR1 uygulamasında gözlemlenmiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama kroma değeri BOR2 uygulamasında (38.49), en düşük ise BAKIR2+KİT uygulamasında (36.04) tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 19. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin kroma değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	37.71 a	35.94 b	40.48 a	35.27 a	34.88 ab	36.86 ab
KİTOSAN	37.71 a	37.34 ab	36.87 ab	38.03 a	38.37 a	37.66 ab
BAKIR1	37.71 a	39.32 ab	37.51 ab	38.14 a	32.67 b	37.07 ab
BAKIR2	37.71 a	38.02 ab	39.37 a	35.94 a	35.05 ab	37.22 ab
BAKIR1+KİT	37.71 a	38.57 ab	36.79 ab	38.76 a	35.05 ab	37.38 ab
BAKIR2+KİT	37.71 a	36.23 b	35.30 ab	36.13 a	34.84 ab	36.04 b
BOR1	37.71 a	37.64 ab	38.15 ab	38.53 a	38.66 a	38.14 a
BOR2	37.71 a	40.28 a	37.30 ab	37.48 a	39.70 a	38.49 a
BOR1+KİT	37.71 a	37.42 ab	36.65 ab	38.07 a	38.96 a	37.76 ab
BOR2+KİT	37.71 a	38.56 ab	33.38 b	37.33 a	36.74 ab	36.74 ab
Ortalama	37.71 AB	37.93 A	37.18 AB	37.37 AB	36.49 B	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Hue açısı (renk tonu) değerleri üzerine uygulama ve muhafaza sürelerinin etkileri, Çizelge 4.20'de yer almaktadır. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki hue açısı değeri 30.96 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer dalgalı bir seyir izleyerek muhafaza sonunda 29.60 seviyesine düşmüştür. Meyve rengindeki bu değişim, sarımsı kırmızı tondan daha doygun ve koyu bir kırmızı tona kaydığını gösterir. Bu ise olgunlaşmanın ilerlemesi veya muhafaza süresince pigment yapısında meydana gelen değişikliklerden kaynaklanabilir. Muhafaza boyunca uygulamaların etkisi yalnızca 10. ve 15. günlerde önemli bulunmuştur. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde ise oluşan farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4. 20. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin hue açısı değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	30.96 a	29.34 a	33.07 a	27.84 b	28.50 a	29.94 a
KİTOSAN	30.96 a	32.11 a	27.45 de	31.54 ab	31.40 a	30.67 a
BAKIR1	30.96 a	32.20 a	31.30 ab	32.60 ab	26.09 a	30.63 a
BAKIR2	30.96 a	31.67 a	28.89 bcde	29.76 ab	28.90 a	30.03 a
BAKIR1+KİT	30.96 a	31.08 a	28.83 bcde	33.38 a	30.02 a	30.85 a
BAKIR2+KİT	30.96 a	31.04 a	27.63 cde	30.91 ab	29.20 a	29.95 a
BOR1	30.96 a	34.65 a	30.89 abc	32.07 ab	29.94 a	31.70 a
BOR2	30.96 a	32.96 a	29.61 bcde	30.02 ab	31.06 a	30.92 a
BOR1+KİT	30.96 a	31.94 a	30.46 abcd	31.00 ab	31.20 a	31.11 a
BOR2+KİT	30.96 a	31.19 a	26.50 e	30.52 ab	29.70 a	29.77 a
Ortalama	30.96 AB	31.82 A	29.46 C	30.95 AB	29.60 BC	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Çileğin toplam fenolik madde içeriği (TPC) üzerindeki uygulama ve muhafaza sürelerinin etkileri, Çizelge 4.21'de değerlendirilmiştir. Muhafaza süresi boyunca, toplam fenolik madde içeriğinde azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Muhafaza sürelerinin ortalamaları değerlendirildiğinde, hasat zamanı $3700.8 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ olan ortalama fenolik madde miktarı, muhafazanın sonunda $3156.90 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ değerine kadar düşmüştür. Muhafazanın son dönemi incelendiğinde, en yüksek toplam fenolik madde miktarı BAKIR1 uygulamasında ($3985.96 \mu\text{g GAE g}^{-1}$), en düşük ise BAKIR2 uygulamasında ($2367.18 \mu\text{g GAE g}^{-1}$) belirlenmiştir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, oluşan farklılıklar istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Sonuçlar, muhafaza süresi boyunca TPC'nin genelde azaldığını ve yapılan uygulamaların kontrol ile benzer seviyede kaldığını göstermektedir. TPC meyvelerin sadece tadına değil, aynı zamanda pigmentlerin görünümüne olan katkısıyla çilek kalitesine önemli bir etki yapar (Bhat ve Stamminger, 2015). Fenolikler, bitkilerin ikincil metabolitleri olup yaşlanma karşıtı, antikanser, anti-inflamatuar ve antioksidatif biyolojik işlevlere sahiptir. Bu özellikleri, toplam fenolik madde miktarını meyve ve sebzelerin muhafazasında önemli bir kalite göstergesi haline getirir (Yang ve ark., 2010). Örneğin, gümüş nanopartiküllerle modifiye edilmiş sünger yapıda paketlenme malzemesi kullanılarak yapılan bir çalışmada, fenolik maddelerde başlangıçta artış, sonrasında ise azalma gözlemlenmiş, bu paketlemenin

toplam fenolik madde kaybını geciktirdiği ve çileklerin tazeliğini koruduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2022b). Bizim çalışmamızda ise nanopartiküllerin etkisi görülmesine de muhafaza süresinin sonunda literatürle uyumlu olarak TPC değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 21. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam fenolik madde içeriği ($\mu\text{g GAE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	3700.8 a	3705.02 ab	3053.53 ab	3178.07 a	3655.27 a	3495.96 a
KİTOSAN	3700.8 a	2973.76 bc	3228.03 a	3731.52 a	3419.06 ab	3448.09 a
BAKIR1	3700.8 a	2435.29 c	2900.65 ab	3342.82 a	3985.96 a	3310.46 a
BAKIR2	3700.8 a	3670.1 ab	3553.79 a	3188.23 a	2367.18 b	3333.40a
BAKIR1+KİT	3700.8 a	3570.41 ab	3115.04 a	3226.50 a	2907.17 ab	3341.38 a
BAKIR2+KİT	3700.8 a	3570.41 ab	3186.50 a	3249.53 a	3023.18 ab	3383.60 a
BOR1	3700.8 a	3525.53 ab	2220.91 b	3625.37 a	2920.63 ab	3236.01 a
BOR2	3700.8 a	4015.80 a	2927.23 ab	2684.72 a	3331.15 ab	3369.31 a
BOR1+KİT	3700.8 a	3301.16 abc	3306.16 a	3429.23 a	3108.40 ab	3406.53 a
BOR2+KİT	3700.8 a	3307.80 abc	3203.09 a	3542.25 a	2850.66 ab	3358.33 a
Ortalama	3700.8 A	3407.52 AB	3069.50 B	3319.79 B	3156.90 B	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Toplam antioksidan kapasite (TAC) miktarına uygulama ve muhafaza sürelerinin etkileri, Çizelge 4.22'de gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, muhafaza sürelerinin ve uygulama genel ortalamalarının arasında oluşan farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Genel olarak TAC değerlerinin muhafazanın 10. gününe kadar bir azalma eğiliminde olduğu, daha sonra ise artma eğilimine geçtiği gözlemlenmiştir. Muhafaza boyunca, uygulamaların etkisi yalnızca 10. günde anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Uygulama ortalamaları incelendiğinde, ortalama en yüksek TAC BAKIR2 uygulamasında ($18.04 \mu\text{mol TE g}^{-1}$) kaydedilirken, en düşük BOR2 uygulamasında ($15.95 \mu\text{mol TE g}^{-1}$) gözlemlenmiştir. Daha önceki yıllarda yapılan bir çalışmada Bahmani ve ark., (2022), çilek meyvelerini prolin (Pro), kitosan (CTS) ve prolin kaplı kitosan nanopartikülleri (CTS-Pro NP'leri) ile kaplayarak muhafaza süresince meyvelerdeki değişimleri gözlemlenmişlerdir. Çalışma sonucunda, kontrol ve kaplamalı çileklerin antioksidan kapasitelerinin depolamanın 6. gününe kadar sabit kaldığı, sonrasında ise kontrol örneklerinde depolama sonuna kadar (12. Gün) bir azalma görülürken, kaplamalı meyvelerde antioksidan içeriğinin daha iyi korunduğu rapor edilmiştir. Yaptığımız

çalışmada ise nanopartikül uygulamalarının önemli bir etkisi görülmemiştir. Bu durumun, çalışmada kullanılan nanokompozitlerin farklılıklarından ve farklı dozlarda yapılan denemelerden kaynaklanabileceğini düşünülmektedir.

Çizelge 4. 22. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam antioksidan kapasitesi ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	19.47 a	19.26 a	14.78 ab	16.64 a	19.39 a	17.91 a
KİTOSAN	19.47 a	18.09 a	15.95 a	17.14 a	18.43 a	17.81 a
BAKIR1	19.47 a	17.51 a	14.56 ab	17.56 a	19.82 a	17.78 a
BAKIR2	19.47 a	17.94 a	16.38 a	16.56 a	19.86 a	18.04 a
BAKIR1+KİT	19.47 a	18.24 a	15.05 ab	17.38 a	17.04 a	17.43 ab
BAKIR2+KİT	19.47 a	18.02 a	15.22 ab	17.70 a	16.88 a	17.45 ab
BOR1	19.47 a	20.78 a	11.81 b	16.73 a	17.28 a	17.21 ab
BOR2	19.47 a	16.15 a	13.10 b	13.20 b	17.84 a	15.95 b
BOR1+KİT	19.47 a	17.82 a	15.44 ab	17.35 a	18.94 a	17.80 a
BOR2+KİT	19.47 a	16.53 a	14.07 ab	16.16 ab	18.75 a	16.99 ab
Ortalama	19.47 A	18.03 B	14.63 D	16.64 C	18.42 AB	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Uygulama ve muhafaza sürelerinin çileğin antosiyanin değerleri üzerindeki etkilerine ilişkin bilgiler Çizelge 4.23'de yer almaktadır. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması değerlendirildiğinde, hasat başlangıcındaki TMA değeri $108.21 \mu\text{g plg-3-glu g}^{-1}$ iken, muhafaza süresinin sonunda artarak 124.65 değerine ulaşmıştır. Muhafazanın 20. gününde en yüksek TMA içeriği BAKIR1 uygulamasında ($159.47 \mu\text{g plg-3-glu g}^{-1}$) elde edilirken, en düşük BAKIR1+KİT uygulamasında ($97.61 \mu\text{g plg-3-glu g}^{-1}$) ölçülmüştür. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, ortalaması en yüksek antosiyanin içeriği BAKIR2 uygulamasında, en düşük ise BOR2 uygulamasında gözlemlenmiştir. Antosiyaninler, özellikle pelargonidin-3-glukozit ve pelargonidin-3-malonilglukozit, çileklerde en bol bulunan sekonder metabolitlerdir. Hasat sonrasında metabolizma yoluyla olgunlaşmanın artmasıyla birikirler (Li ve ark., 2019 ; Pott ve ark., 2020 ; Zhang ve ark., 2020; Kim ve ark., 2023). Literatürde, hasat sonrasında çilek meyvelerinin TMA içeriğinin korunmasında kitosan (CTS) ve prolin kaplı kitosan nanopartikülleri (CTS-Pro NP)'nin etkili olduğu bildirilmiştir (Bahmani ve ark., 2022). Yapılan başka bir çalışmada çilekte depolama boyunca antosiyanin değerlerinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Xu ve ark.,

2020). Yapılan bu çalışmada, TMA içeriğine bakır nanokompozitlerin etkisi nispeten olumlu görülürken, bor nanokompozitleri olumsuz bulunmuştur. Kitosan katkı uygulamalarda ise olumlu ya da olumsuz bir durum tespit edilememiştir.

Çizelge 4. 23. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin toplam monomerik antosiyanin ($\mu\text{g plg-3-glu g}^{-1}$) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	108.21a	128.13a	91.75bcd	130.51 ab	127.95bcd	117.31abc
KİTOSAN	108.21a	119.45a	120.36 a	119.65abc	111.40 de	115.81abc
BAKIR1	108.21a	105.92a	97.67abcd	115.70abc	159.47 a	117.40abc
BAKIR2	108.21a	120.27a	111.68 ab	145.04 a	154.81ab	128.00a
BAKIR1+KİT	108.21a	121.64a	108.48 ab	111.04bcd	97.61 e	109.39bc
BAKIR2+KİT	108.21a	120.46a	117.07 ab	117.16 abc	101.99 de	112.98bc
BOR1	108.21a	126.30a	75.39 d	92.94 cd	113.14 de	103.19cd
BOR2	108.21a	86.92a	76.58 cd	85.36 d	111.04 de	93.62 d
BOR1+KİT	108.21a	116.52a	103.55abc	125.66ab	124.56cde	115.70abc
BOR2+KİT	108.21a	103.18a	111.50 ab	125.94ab	144.58abc	118.68ab
Ortalama	108.21CD	114.88BC	101.40D	116.90AB	124.65A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Uygulamalar ve muhafaza sürelerinin çileğin çürüme oranları üzerindeki etkileri, Çizelge 4.24'de incelenmiştir. Muhafazanın son dönemine kadar herhangi bir çürümeye rastlanılmamıştır. Muhafazanın 20. gününe gelindiğinde, KİTOSAN ve BOR2+KİT uygulamalarının dışında tüm uygulamalarda çürüme meydana gelmiştir. Bu dönemde en fazla çürüme KONTROL, BAKIR1 VE BAKIR2 uygulamalarında tespit edilmiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama çürüme oranı 9.67 ile BAKIR2 uygulamasında görülürken, KİTOSAN ve BOR2+KİT uygulamalarında herhangi bir çürüme görülmemiştir. Elde edilen verilere göre, yalnız bakır içeren uygulamaların çürümeyi önlemede etkisi görülmemiştir. Bor ve kitosan katkı uygulamaların ise olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. 24. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin çürüme oranı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	0	0	0	0	42.84a	8.56AB
KİTOSAN	0	0	0	0	0	0.0 D
BAKIR1	0	0	0	0	35.24a	7.04AB
BAKIR2	0	0	0	0	48.39a	9.67A
BAKIR1+KİT	0	0	0	0	13.73c	2.74D
BAKIR2+KİT	0	0	0	0	10.11c	2.02D
BOR1	0	0	0	0	16.19bc	3.23CD
BOR2	0	0	0	0	31.99 ab	6.39BC
BOR1+KİT	0	0	0	0	3.81c	0.76 D
BOR2+KİT	0	0	0	0	0	0.0 D
Ortalama	0	0	0	0	20.23A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Çilekte tespit edilen bireysel fenolik bileşiklere ait değerlere ilişkin uygulama ve muhafaza süresi etkileri Çizelge 4.25'te verilmiştir. 4-aminobenzoik asit bileşiğine ait muhafaza süresi genel ortalaması incelendiğinde, hasat zamanında 2.02 mg kg^{-1} olan değer, muhafaza sonunda 3.50 mg kg^{-1} seviyesine yükselmiştir. Muhafazanın son döneminde en yüksek değer BOR1 uygulamasında (4.33 mg kg^{-1}) tespit edilmiş olup, kontrol grubuna (3.60 mg kg^{-1}) göre elde edilen fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları dikkate alındığında ise kontrol grubu ve uygulama grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan benzerlik göstermiştir.

Protocatechuic asit içeriğinin muhafaza süresine göre değişimi incelendiğinde, hasat anında $0,86 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenen değer, muhafaza sonunda $6,66 \text{ mg kg}^{-1}$ 'ye yükselmiştir. Bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Muhafaza süresinin son günü olan 20. günde en yüksek değer BOR2+KİT ($14,65 \text{ mg kg}^{-1}$) uygulamasında tespit edilmiş olup, kontrol grubundaki değer ($3,75 \text{ mg kg}^{-1}$) ile karşılaştırıldığında aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Uygulama genel ortalamaları dikkate alındığında ise en yüksek değer $8,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ile BOR1+KİT uygulamasında, en düşük değer ise $1,32 \text{ mg kg}^{-1}$ ile KİTOSAN uygulamasında ölçülmüştür. Özellikle bor içeren tüm uygulamaların, kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek protocatechuic asit düzeyleri oluşturduğu belirlenmiştir.

4-Hydroxybenzoic asit değerleri incelendiğinde hasat anında 12.28 (mg kg⁻¹) olarak ölçülen değer, muhafazanın 10.gününde 17.41 (mg kg⁻¹) en yüksek seviyeye ulaşmıştır ardından muhafazanın son gününde ise bu değer 14.64 (mg kg⁻¹) değere düşmüştür. Uygulamaların genel ortalaması değerlendirildiğinde, en yüksek değere BAKIR1+KİT (16.49 mg kg⁻¹) uygulamasında tespit edilirken, en düşük değere BOR2+KİT (12.54 mg kg⁻¹) uygulamasında tespit edilmiştir. Uygulamalar arasında gözlenen bu fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Catechin değerlerinin muhafaza genel ortalamaları incelendiğinde hasat anında 5.32 (mg kg⁻¹) olarak ölçülen değer, muhafazanın 5. Gününde 7.66 (mg kg⁻¹) değer ile en yüksek seviyeye çıkmış ardından muhafazanın son gününde ise 5.44 (mg kg⁻¹) değere kadar düşmüştür. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek değer BAKIR1+KİT (7.50) uygulamasında ölçülürken, en düşük değer BOR2+KİT (5.19 mg kg⁻¹) uygulamasında ölçülmüştür. Oluşan fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Chlorogenic acid değerlerinin muhafaza genel ortalaması incelendiğinde hasat anında 0.66 (mg kg⁻¹) olarak ölçülen değer muhafazanın son gününde 2.87 (mg kg⁻¹) değere yükselmiştir. Oluşan fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları değerlendirildiğinde kontrol grubuna (0.90 mg kg⁻¹) kıyasla en yüksek değer BAKIR2+KİT (2.63 mg kg⁻¹) uygulamasında tespit edilmiştir. oluşan fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Caffeic asit değerlerinin muhafaza genel ortalamaları değerlendirildiğinde, hasat anında 0.95 mg kg⁻¹ olarak ölçülen seviyenin muhafazanın 5. gününde aynı değeri koruduğu, ancak takip eden günlerde dalgalanmalar göstererek muhafaza sonunda 0.57 mg kg⁻¹'a düştüğü gözlemlenmiştir. Bu değişim istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek değerler KİTOSAN (0.83 mg kg⁻¹) ve BAKIR1+KİT (0.74 mg kg⁻¹) uygulamalarında tespit edilmiştir. En düşük değerler ise BAKIR2 (0.59 mg kg⁻¹) ve BOR2 (0.60 mg kg⁻¹) uygulamalarında ölçülmüştür. Uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, diğer nanopartikül uygulamalarının kontrol grubu ile istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir.

Ferulic asit değerlerinin muhafaza genel ortalamaları incelendiğinde, hasat anında 1.24 mg kg⁻¹ olarak ölçülen düzeyin, muhafazanın 10. gününe kadar artış gösterdiği ve

ardından azalma eğilimi sergileyerek muhafazanın son gününde 0.61 mg kg^{-1} seviyesine gerilediği belirlenmiştir. Bu değişim istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Muhafaza süresinin son günü değerlendirildiğinde, kontrol grubunun 0.66 mg kg^{-1} seviyesine kıyasla en yüksek değer BAKIR1+KİT (1.73 mg kg^{-1}) uygulamasında tespit edilmiş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde ise, kontrol grubunun ortalama değeri 1.46 mg kg^{-1} iken, BAKIR1+KİT uygulamasında bu değer 1.91 mg kg^{-1} olarak ölçülmüş ve aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Fenolik bileşikler, bitkisel ürünlerde özellikle depolama ve raf ömrü süreçlerinde elektriksel ve biyokimyasal savunma sistemlerinin önemli unsurlarını oluşturur. Antioksidan ve antimikrobiyal özellikleriyle bu bileşikler, meyve kalitesinin korunmasında kilit bir rol oynar (de Oliveira ve ark., 2025). Özellikle hasat sonrası dönemde fenolik bileşik seviyelerindeki değişimler, hem meyvenin fizyolojik dayanıklılığı hem de mikroorganizmalara karşı savunma kapasitesiyle yakından ilişkilidir. Çilek meyvesinde incelenen bireysel fenolik bileşiklerden bazıları (örneğin 4-aminobenzoik asit, protocatechuic asit, 4-hidroksibenzoik asit ve klorojenik asit), muhafaza süresi sonunda hasat anına kıyasla artış göstermiştir, buna karşılık kateşin, kafeik asit ve ferulik asit depolamanın ilerleyen günlerinde düşüş eğilimi göstermiştir. Benzer şekilde, Smith ve Nunes (2023) yaptıkları çalışmada, çilek meyvesinde tespit edilen bazı fenolik bileşiklerin muhafaza süresince korunduğunu, bazılarında ise düşüşler gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Öztürk ve ark. (2024) ise soğukta depolama uygulamalarında bazı bireysel fenolik bileşiklerin korunabildiğini, bazı bileşiklerin ise düzensiz bir azalma eğilimi gösterdiğini raporlamışlardır. Kuru ve ark. (2023) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ise çilekte fenolik bileşiklerin bazılarında tespit edilen artışın, meyve rengindeki değişimlerle ilişkili olduğu ve bu artışın olası sebebinin renk değişimine bağlı fenolik sentez olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, düşük sıcaklık koşullarında bazı biyoaktif bileşiklerin stabilitesinin korunabildiğini ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur (Gonçalves ve ark., 2004; Rivera-Pastrana ve ark., 2010). Tespit edilen bireysel fenolikler genel anlamda değerlendirildiğinde, BAKIR1+KİT uygulaması öne çıkmaktadır. Benzer şekilde Eshghi ve ark., (2014) çalışması da, çileklerde bakır-yüklemeli nano-kitosan kaplamaların fenolik içerik korumasını sağladığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4. 25. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin bireysel fenolik (mg kg⁻¹) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Fenolik Asit (mg kg ⁻¹)	Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
		Hasat	5	10	15	20	
4-Aminobenzoic acid	KONTROL	2,02 a	2,05 ab	2,61 ab	1,15 b	3,60 b	2,29 a
	KİTOSAN	2,02 a	2,20 ab	2,53 ab	1,38 ab	4,31 a	2,49 a
	BAKIR1	2,02 a	2,06 ab	2,80 ab	1,33 ab	3,44 bc	2,33 a
	BAKIR2	2,02 a	2,34 a	2,89 ab	1,15 b	3,38 bc	2,36 a
	BAKIR1+KİT	2,02 a	2,16 ab	2,96 ab	1,89 ab	3,67 ab	2,54 a
	BAKIR2+KİT	2,02 a	2,00 ab	2,69 ab	1,48 ab	3,43 bc	2,32 a
	BOR1	2,02 a	1,86 b	2,48 ab	1,50 ab	4,33 a	2,44 a
	BOR2	2,02 a	1,92 b	2,34 b	2,14 a	3,08 bc	2,30 a
	BOR1+KİT	2,02 a	2,13 ab	3,40 a	1,69 ab	2,82 c	2,41 a
	BOR2+KİT	2,02 a	2,22 ab	2,19 b	1,97 ab	2,99 bc	2,28 a
	Ortalama	2,02 C	2,09 C	2,69 B	1,57 D	3,50 A	
Protocatechuic acid	KONTROL	0,86 a	2,34 ab	2,25 c	1,03 b	3,75 bcd	2,05 d
	KİTOSAN	0,86 a	1,61 b	1,90 c	1,88 b	0,36 d	1,32 d
	BAKIR1	0,86 a	1,68 b	6,90 bc	4,23 b	2,42 cd	3,22 cd
	BAKIR2	0,86 a	1,47 b	4,12 c	0,85 b	3,13bcd	2,08 d
	BAKIR1+KİT	0,86 a	1,21 b	1,43 c	3,09 b	3,54bcd	2,03 d
	BAKIR2+KİT	0,86 a	2,12 b	2,02 c	1,87 b	0,99 cd	1,57 d
	BOR1	0,86 a	1,81 b	12,42 ab	4,07 b	14,30 a	6,69 ab
	BOR2	0,86 a	4,15 a	8,01 bc	13,17 a	10,54abc	7,34 ab
	BOR1+KİT	0,86 a	1,24 b	16,31 a	10,45 a	12,90 ab	8,35 a
	BOR2+KİT	0,86 a	2,58 ab	4,79 bc	3,35 b	14,65 a	5,25 bc
	Ortalama	0,86 C	2,02 C	6,01 AB	4,40 B	6,66 A	
4-Hydroxybenzoic acid	KONTROL	12,28 a	19,02 a	16,43 a	10,97 a	14,55 ab	14,65abc
	KİTOSAN	12,28 a	17,21 ab	18,65 a	12,85 a	16,01 ab	15,40 ab
	BAKIR1	12,28 a	17,92 a	17,99 a	12,93 a	18,74 a	15,97 a
	BAKIR2	12,28 a	14,08abc	19,08 a	9,55 a	19,49 a	14,89abc
	BAKIR1+KİT	12,28 a	18,00 a	19,03 a	14,11 a	19,06 a	16,49 a
	BAKIR2+KİT	12,28 a	10,83 c	19,43 a	11,79 a	10,28 b	12,92 bc
	BOR1	12,28 a	10,74 c	18,41 a	12,80 a	16,07 ab	14,06abc
	BOR2	12,28 a	12,30 bc	16,54 a	14,44 a	9,47 b	13,01 bc
	BOR1+KİT	12,28 a	16,07abc	15,15 a	12,82 a	10,46 b	13,35 bc
	BOR2+KİT	12,28 a	11,25 c	13,43 a	13,46 a	12,26 ab	12,54 c
	Ortalama	12,28 C	14,74 B	17,41 A	12,57 C	14,64 B	
Catechin	KONTROL	5,32 a	9,39 a	7,58 ab	3,63 a	4,27abc	6,04abc
	KİTOSAN	5,32 a	8,69 a	8,02 ab	6,50 a	5,79abc	6,86 ab
	BAKIR1	5,32 a	7,72 a	8,80 ab	5,36 a	7,98 ab	7,04 ab
	BAKIR2	5,32 a	5,50 a	8,80 ab	4,01 a	8,29 a	6,39abc
	BAKIR1+KİT	5,32 a	7,05 a	9,07 a	7,23 a	8,83 a	7,50 a
	BAKIR2+KİT	5,32 a	7,14 a	8,57 ab	5,59 a	2,85 bc	5,89abc
	BOR1	5,32 a	8,22 a	7,31 ab	7,05 a	5,13abc	6,60 abc
	BOR2	5,32 a	6,64 a	7,92 ab	4,78 a	5,34abc	6,00abc
	BOR1+KİT	5,32 a	7,38 a	4,18 b	3,55 a	4,02abc	4,89bc
	BOR2+KİT	5,32 a	8,88 a	4,43 ab	5,38 a	1,94 c	5,19c
	Ortalama	5,32 B	7,66 A	7,47 A	5,31 B	5,44 B	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde p<0.05).

Çizelge 4. 25. (Devamı) Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin bireysel fenolik (mg kg⁻¹) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

	Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
		Hasat	5	10	15	20	
Chlorogenic acid	KONTROL	0,66 a	0,96 a	0,93abc	0,63 a	1,30 b	0,90 bc
	KİTOSAN	0,66 a	0,89 a	0,90 abc	0,58 a	1,26 b	0,86 bc
	BAKIR1	0,66 a	0,80 a	1,33 a	0,82 a	1,09 b	0,94 bc
	BAKIR2	0,66 a	0,92 a	1,00 abc	0,59 a	1,16 b	0,86 bc
	BAKIR1+KİT	0,66 a	0,60 a	0,85 bc	0,69 a	0,77 b	0,71 c
	BAKIR2+KİT	0,66 a	0,76 a	0,92 abc	0,90 a	9,89 a	2,63 a
	BOR1	0,66 a	0,76 a	0,93 abc	0,80 a	1,84 b	1,00 bc
	BOR2	0,66 a	8,00 a	1,08 ab	1,02 a	1,19 b	2,39abc
	BOR1+KİT	0,66 a	1,00 a	0,62 c	0,79 a	0,81 b	0,78 bc
	BOR2+KİT	0,66 a	0,75 a	0,67 bc	1,01 a	9,42 a	2,50 ab
	Ortalama	0,66 B	1,54 B	0,92 B	0,78 B	2,87 A	
Caffeic acid	KONTROL	0,95 a	0,66 c	0,69 abc	0,33 bc	0,85 a	0,70 ab
	KİTOSAN	0,95 a	1,57 a	0,81 ab	0,27 bc	0,56 ab	0,83 a
	BAKIR1	0,95 a	0,72 c	0,73 abc	0,22 bc	0,73 ab	0,67 ab
	BAKIR2	0,95 a	0,69 c	0,66 bc	0,13 c	0,51 abc	0,59 b
	BAKIR1+KİT	0,95 a	0,96 bc	1,10 a	0,15 c	0,81 a	0,79 a
	BAKIR2+KİT	0,95 a	1,06 bc	0,87 ab	0,18 bc	0,63 ab	0,74 ab
	BOR1	0,95 a	0,92 bc	0,56bc	0,32 bc	0,69 ab	0,69 ab
	BOR2	0,95 a	0,73 c	0,58 bc	0,28 bc	0,45abc	0,60 b
	BOR1+KİT	0,95 a	1,02 bc	0,65 bc	0,49 b	0,31 bc	0,68 ab
	BOR2+KİT	0,95 a	1,15 b	0,34 c	0,81 a	0,13 c	0,67 ab
	Ortalama	0,95 A	0,95 A	0,70 B	0,32 D	0,57C	
Ferulic acid	KONTROL	1,24 a	1,96 abc	2,20 cd	1,23 ab	0,66 cd	1,46 b
	KİTOSAN	1,24 a	1,91 abc	3,26ab	0,62 ab	0,25 d	1,46 b
	BAKIR1	1,24 a	1,81 abc	3,04 ab	1,25 ab	0,10 d	1,49 b
	BAKIR2	1,24 a	1,39 c	2,58 bc	1,60 ab	1,38 ab	1,64 ab
	BAKIR1+KİT	1,24 a	1,40 c	3,33 ab	1,83 a	1,73 a	1,91 a
	BAKIR2+KİT	1,24 a	1,57 abc	3,24 ab	1,91 a	0,67 bc	1,73 ab
	BOR1	1,24 a	2,14 ab	3,54 a	1,73 a	0,24 d	1,78 ab
	BOR2	1,24 a	2,34 a	3,10 ab	1,81 a	0,34 d	1,77 ab
	BOR1+KİT	1,24 a	1,92abc	1,46 de	0,37 b	0,33 d	1,06 c
	BOR2+KİT	1,24 a	1,92abc	1,34 e	0,59 ab	0,40 d	1,10 c
	Ortalama	1,24 C	1,84 B	2,71 A	1,29 C	0,61 D	

Çilekte tespit edilen C vitamini içeriği Çizelge 4.26’da verilmiştir. Muhafaza süresi boyunca elde edilen genel ortalamalar değerlendirildiğinde, hasat anında 53.5 mg/100g olarak ölçülen C vitamini değeri, muhafaza süresinin sonunda 43.9 mg/100g’ye düşmüştür. Bu azalma istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. C vitamini miktarı, muhafazanın ilk 10 gününde düşüş eğilimi gösterirken, bu süreden itibaren yeniden artış eğilimi sergilemiştir. Muhafazanın 20. günü itibarıyla en yüksek değer BOR2+KİT uygulamasında (55.5 mg/100g), en düşük değer ise BAKIR1+KİT (36.5 mg/100g) uygulamasında tespit edilmiştir. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde,

BOR1+KİT (49.4 mg/100g) ve BOR2+KİT (49 mg/100g) uygulamaları, kontrol grubuna (45.9 mg/100g) kıyasla C vitamini içeriğini korumada daha başarılı bulunmuştur.

C vitamini, meyve ve sebzelerin besin değeri açısından kritik bir bileşen olup, hasat sonrası süreçte oksidatif stres, enzimatik oksidasyon ve su kaybı gibi faktörlerin etkisiyle hızla azalabilmektedir (Ozturk ve ark.,2025). Çalışmamızda BOR uygulamalarının C vitamininin korunmasında başarılı olduğu bulunmuştur. Bu yargıyı doğrular nitelikte Alvarez-Herrera ve ark., (2025) Bor elementi askorbik asidi parçalanmasını geciktirerek stabilize ettiğini bildirmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada nano Bor uygulamasının kontrol grubuna kıyasla askorbik asit içeriğini artırdığını bildirmiştir (Nayak ve ark.,2025). Bu durumu Borun hücre duvarı ve zar bütünlüğü, karbonhidrat taşınması ve oksidatif stresin azaltılması yoluyla askorbik asit kaybını yavaşlatabilir (Fenech ve ark.,2019). Eshghi ve ark., (2014) yapmış oldukları çalışmada bakır yüklü ve nanokitosanla çilek kaplamasında bakır yüklü nanokitosanla kaplanan çileklerde askorbik asit içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Bu durumu Savini ve ark., (1990) bakırın askorbat oksidaz aktivitesindeki önemli rolüyle ilişkili olabileceğini açıklamıştır.

Çizelge 4. 26. Soğukta muhafaza süresince çilek meyvelerinin C vitamini (mg/100g) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	Hasat	5	10	15	20	
KONTROL	53,5 a	53,5 ab	36 cd	41,5bcde	45 bcd	45,9 b
KİTOSAN	53,5 a	52 abc	38,5 bc	44,5abcd	48 bc	47,3 ab
BAKIR1	53,5 a	38,5 e	35cde	38 e	21bcde	41,4 c
BAKIR2	53,5 a	42 de	38 bc	36,5 e	40,5 de	42,1 c
BAKIR1+KİT	53,5 a	44,5 de	39abc	39,5 cde	36,5 e	42,6 c
BAKIR2+KİT	53,5 a	43,5 de	37,5 bc	38,5 de	37 e	42 c
BOR1	53,5 a	58,5 a	31,5 e	45,5 abc	41,5 cde	46,1 b
BOR2	53,5 a	46 cd	32,5 de	40 cde	44,5 bcd	43,3 c
BOR1+KİT	53,5 a	54 ab	40,5 ab	48,5 a	48,5 b	49 a
BOR2+KİT	53,5 a	48 bcd	43 a	47 ab	55,5 a	49,4 a
Ortalama	53,5 A	48,05 B	37,15 E	41,95 D	43,9 C	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

4.6. Belirlenen Etkin Dozların Kiraz Meyvelerine Uygulanması Sonucunda Muhafaza Performansına Etkileri

Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin ağırlık kaybı üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisine dair veriler Çizelge 4.27'de verilmiştir. Depolama süresi uzadıkça kirazlarda paralel şekilde artan bir ağırlık kaybı gözlemlenmiş, bu farklılıkların istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir. Muhafazanın 35. gününde en yüksek ağırlık kaybı BOR1 uygulamasında, en düşük ağırlık kaybı ise Kitosan uygulamasında kaydedilmiştir. Genel ortalamalar incelendiğinde, Kitosan uygulamasının kontrol grubuna kıyasla ağırlık kaybını önlemede oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Kirazlarda depolama sırasında ağırlık kaybı, büyük ölçüde su kaybı ve solunum gibi doğal süreçlerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, depolama ve raf ömrü boyunca kirazın kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. İnce kütikül yapısı ve düşük kabuk difüzyon direnci nedeniyle kirazlar, su kaybına son derece hassastır (Colgecen ve Aday, 2015; Chockchaisawasdee ve ark., 2016; Yang ve ark., 2024). Daha önceki çalışmalarda araştırmacılar, çeşitli kaplama materyallerinin kirazların depolama performansı üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu materyallerin ağırlık kaybını azaltmada etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Bal, 2012; Çınar ve Sabır, 2021; Bizymis ve ark., 2023; Ekinci ve Yunusoğlu, 2023). Benzer şekilde, bu çalışmada da kontrol grubuna kıyasla KİTOSAN uygulamasının ağırlık kaybını önlemede başarılı olduğu ortaya konmuştur.

Çizelge 4. 27. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin ağırlık kaybı (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)					Ortalama
	7	14	21	28	35	
KONTROL	1.59 a	2.74 a	3.63 a	4.64 a	6.14 ab	3.75 ab
KİTOSAN	1.20 b	2.47 a	3.38 a	4.43 a	5.57 b	3.41 c
BAKIR1	1.37 ab	2.42 a	3.47 a	4.66 a	5.99 ab	3.58 bc
BAKIR2	1.58 a	2.62 a	3.61 a	4.73 a	6.06 ab	3.72 ab
BAKIR1+KİT	1.40 ab	2.57 a	3.68 a	4.68 a	5.93 ab	3.65 bc
BAKIR2+KİT	1.32 ab	2.46 a	3.65 a	4.76 a	5.95 ab	3.63 bc
BOR1	1.56 a	2.73 a	3.86 a	5.08 a	6.42 a	3.93 a
BOR2	1.49 ab	2.61 a	3.69 a	4.93 a	6.31 ab	3.81 ab
BOR1+KİT	1.39 ab	2.60 a	3.68 a	4.71 a	5.99 ab	3.68 abc
BOR2+KİT	1.43 ab	2.60 a	3.67 a	4.66 a	5.94 ab	3.66 abc
Ortalama	1.43 E	2.58 D	3.63 C	4.73 B	6.03 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Muhafaza süresi ve uygulamaların kirazların SÇKM değerlerindeki değişimlere etkisi, Çizelge 4.28'de sunulmuştur. Muhafazanın son günü değerlendirildiğinde en yüksek SÇKM değeri BAKIR1+KİT uygulamasında tespit edilirken, en düşük değere BOR2+KİT uygulamasında tespit edilmiştir. Muhafaza genel ortalaması incelendiğinde, hasat tarihinde %14 olarak gerçekleşen SÇKM değeri, muhafaza süresince artış göstererek son dönemde %14.86'ya ulaşmıştır. Uygulamaların genel ortalamalarına bakıldığında ise BAKIR1+KİT ve BAKIR2+KİT uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla SÇKM miktarında artışa yol açtığı belirlenmiştir. SÇKM, kirazların depolama süresince kalite kaybını değerlendirmek ve tüketici beklentilerini karşılamak için kritik bir parametredir. Çalışmamızda, SÇKM değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda, araştırmacılar kirazlarda muhafaza süresi boyunca SÇKM değerlerinin farklı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bazı çalışmalar artış olduğunu (Torçuk ve ark., 2016; Şen ve ark., 2016; Ağlar ve ark., 2017; Mei ve ark., 2024), bazıları ise düşüş olduğunu (Bal, 2012; Ekinci ve Yunusoğlu, 2023; İşlek ve ark., 2023) belirtmiştir. Kappel ve ark., (2002) ise bu durumun kirazların farklı çeşitlerinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

Çizelge 4. 28. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin SÇKM (%) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	14.00 a	13.93 ab	14.80 abc	14.27 abc	14.40 ab	14.84 abcd	14.37 cd
KİTOSAN	14.00 a	14.33 ab	13.60 cd	13.33 c	13.47 b	13.67 cd	13.73 d
BAKIR1	14.00 a	13.87 ab	13.20 d	14.00 bc	13.93 b	14.67 bcd	13.94 d
BAKIR2	14.00 a	13.00 b	13.80 bcd	13.47 c	15.60 ab	15.53 abc	14.23 cd
BAKIR1+KİT	14.00 a	15.73 a	15.80 a	15.80 a	16.40 a	16.93 a	15.82 a
BAKIR2+KİT	14.00 a	15.00 ab	15.33 ab	15.93 ab	16.40 a	16.53 ab	15.53 ab
BOR1	14.00 a	15.87 a	14.73 abcd	15.00 abc	14.53 ab	14.93 abcd	14.84 bc
BOR2	14.00 a	15.27 a	14.93 abc	15.07 abc	15.33 ab	14.13 cd	14.79 c
BOR1+KİT	14.00 a	13.80 ab	14.40 abcd	13.87 c	13.67 b	14.07 cd	13.97 d
BOR2+KİT	14.00 a	14.73ab	13.60 cd	13.93 bc	13.80 b	13.33 d	13.90 d
Ortalama	14.00 B	14.55 A	14.42 AB	14.49 AB	14.75 A	14.86 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Muhafaza süresi ve uygulamaların kirazların pH değerlerinde meydana gelen değişimler, Çizelge 4.29'te gösterilmiştir. Muhafaza genel ortalamalarına bakıldığında, pH değerinde muhafaza boyunca bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Hasat zamanında 3.71 olan pH değeri, muhafazanın son döneminde 3.90 değerine ulaşmıştır. Uygulama ortalamaları

incelendiğinde en yüksek pH değeri KONTROL grubunda tespit edilirken, en düşük pH değeri BAKIR2+KİT ve BOR2+KİT uygulamalarında tespit edilmiştir. İnteraksiyon açısından bakıldığında, 14, 21 ve 28. günlerde uygulamaların etkisi önemli bulunmuş, fakat 35. güne gelindiğinde bu etki önemsiz bulunmuştur. Muhafaza boyunca pH değerinin izlenmesi tat, renk, mikrobiyal çürüme gibi genel kalite parametrelerinin korunması açısından önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda, depolama süresince pH değerinin yaşılanmaya bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (El Ghaouth ve ark., 1991; Şen ve Kuzucu, 2016; Çakır ve ark., 2021). Literatürle uyumlu olarak, yaptığımız çalışma sonucunda pH değerlerinin muhafaza süresince arttığı belirlenmiştir. Ancak, bu artışın BAKIR2+KİT ve BOR2+KİT uygulamaları ile kontrol altına alındığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 29. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin pH değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	3.71 a	3.75 a	3.79 a	3.82 a	3.92 a	3.93 a	3.82 a
KİTOSAN	3.71 a	3.72 a	3.73 abc	3.79 ab	3.84 ab	3.89 a	3.78 bc
BAKIR1	3.71 a	3.72 a	3.74 abc	3.75 b	3.90 a	3.94 a	3.79 ab
BAKIR2	3.71 a	3.70 a	3.71 bc	3.76 ab	3.91 a	3.96 a	3.79 ab
BAKIR1+KİT	3.71 a	3.72 a	3.73 abc	3.82 a	3.86 ab	3.87 a	3.79 bc
BAKIR2+KİT	3.71 a	3.71 a	3.70 c	3.78 ab	3.78 b	3.88 a	3.76 c
BOR1	3.71 a	3.72 a	3.75 abc	3.81 ab	3.84 ab	3.88 a	3.78 bc
BOR2	3.71 a	3.71 a	3.75 abc	3.80 ab	3.85 ab	3.87 a	3.78 bc
BOR1+KİT	3.71 a	3.72 a	3.77 ab	3.82 a	3.85 ab	3.87 a	3.79 ab
BOR2+KİT	3.71 a	3.71 a	3.77 abc	3.79 ab	3.84 ab	3.90 a	3.76 c
Ortalama	3.71 E	3.72 E	3.74 D	3.79 C	3.86 B	3.90 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Kirazların titre edilebilir asitlik (TA) değişimlerine muhafaza süresi ve uygulamaların etkileri, Çizelge 4.30'da değerlendirilmiştir. Muhafaza günlerinin genel ortalamaları incelendiğinde, muhafaza süresinin artmasıyla TA değerlerinde bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Hasat sırasında %1.05 olarak ölçülen TA değeri, muhafazanın son gününde %0.84'e düşmüş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulamalara ait genel ortalamalar değerlendirildiğinde, en yüksek TA değerleri KİTOSAN, BAKIR2, BOR1+KİT ve BOR2+KİT uygulamalarında tespit edilirken, diğer uygulamaların kontrol ile aynı seviyede kaldığı belirlenmiştir. Kiraz meyvesinin önemli kalite parametrelerinden biri de titre edilebilir asitliktir (TA). Depolama sırasında organik asitler solunumda karbon kaynağı olarak kullanılabilir ve bu durum TA değerlerinde

azalmaya yol açabilir (Özkaya ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2022). Ayrıca, depolama süresince kirazların SÇKM içeriklerinin artmasıyla birlikte TA değerlerinde azalma olduğunu bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Gonçalves ve ark., 2004; Ağlar ve ark., 2017). Çalışmamızda, TA değerlerinin seyrini bu literatür bulguları desteklemiştir. KİTOSAN, BAKIR2, BOR1+KİT ve BOR2+KİT uygulamaları, TA içeriğindeki düşüşü sınırlandırarak olumlu bir etki göstermiştir.

Çizelge 4. 30. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin asitliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	1.05 a	0.92 b	0.92 bc	0.88 bcd	0.83 c	0.82 a	0.90 b
KİTOSAN	1.05 a	0.93 ab	0.97 ab	0.97 ab	0.94 a	0.87 a	0.96 a
BAKIR1	1.05 a	0.93 ab	0.91 bc	0.91 abc	0.80 c	0.85 a	0.91 b
BAKIR2	1.05 a	0.97 ab	1.03 a	0.89	0.91 ab	0.83 a	0.95 a
BAKIR1+KİT	1.05 a	0.97 ab	0.94 bc	0.82 d	0.85 bc	0.84 a	0.91 b
BAKIR2+KİT	1.05 a	0.91 b	0.88 c	0.86 cd	0.86 bc	0.78 a	0.89 b
BOR1	1.05 a	0.93 ab	0.94 bc	0.89	0.82 c	0.79 a	0.90 b
BOR2	1.05 a	0.90 b	0.93 bc	0.86 cd	0.83 c	0.83 a	0.90 b
BOR1+KİT	1.05 a	1.07 a	0.96 b	0.92 abc	0.94 a	0.89 a	0.97 a
BOR2+KİT	1.05 a	1.02 ab	0.97 ab	0.98 a	0.95 a	0.87 a	0.97 a
Ortalama	1.05 A	0.95 B	0.94 B	0.90 C	0.87 C	0.84 D	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Kirazlarda depolama süresince meyve eti sertliğinin değişimi ve uygulamaların etkisi Çizelge 4.31’de verilmiştir. Muhafaza süresi genel ortalamasına göre, hasatta %53,33 olarak ölçülen sertlik değeri, muhafaza sonunda %43,06’ya düşmüş ve bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Muhafazanın 7. gününde sertlik değerleri en yüksek ortalamaya ulaşmış, ardından muhafazanın son gününe kadar sürekli bir düşüş gözlenmiştir. İnteraksiyon açısından, muhafazanın son döneminde kitosan ve bakır içeren uygulamaların sertliği daha iyi koruduğu tespit edilmiştir. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde ise tüm uygulamaların kontrol grubuyla aynı seviyede kaldığı belirlenmiştir. Meyve eti sertlik tüketici nezdinde önemli bir kalite parametresidir. Daha önceki çalışmalarda muhafaza periyodunun başlangıcına göre, muhafaza sonunda sertlik değerlerinin düşmüş olduğunu bildirmişlerdir (Ağlar ve ark., 2017; Öztürk ve ark., 2019; Öztürk ve ark., 2022; Dulta ve ark., 2025). Bin ve ark., (2024) yapmış oldukları çalışmada kirazların 10.gün sertlik değerlerinin bir artış akabinde azalış olduğunu bildirmişlerdir.

Bu durumun düşük sıcaklığın meyve dokuları üzerine olan sıkılaştırıcı etkisinden kaynakladığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda da böyle bir durum 7.gün değerlerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 31. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin sertliği (%) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	53.33a	69.74a	69.31 a	58.86a	42.40b	36.54b	55.03abc
KİTOSAN	53.33a	65.26ab	62.46ab	64.31a	51.17ab	52.41a	58.24a
BAKIR1	53.33a	65.12ab	61.19ab	61.71a	54.55a	53.02a	58.16a
BAKIR2	53.33a	68.03ab	61.13ab	58.31a	51.35ab	51.66a	57.30a
BAKIR1+KİT	53.33a	61.38b	64.60ab	59.95a	51.02ab	50.73a	56.83ab
BAKIR2+KİT	53.33a	64.34ab	64.78ab	62.62a	50.50ab	48.64a	57.53a
BOR1	53.33a	65.26ab	61.72ab	62.78a	57.43a	36.00b	56.08abc
BOR2	53.33a	65.88ab	63.85ab	63.90a	55.90a	35.52b	56.40abc
BOR1+KİT	53.33a	65.69ab	56.92b	57.27a	49.24ab	36.17b	53.10c
BOR2+KİT	53.33a	64.81ab	58.37b	63.40a	50.29ab	29.86b	53.34bc
Ortalama	53.33C	65.70A	62.43B	61.31B	51.39C	43.06D	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Muhafaza süresi ve uygulamaların kirazların solunum oranlarındaki değişimlere etkisi, Çizelge 4.32'de gösterilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması incelendiğinde, muhafaza süresinin artmasıyla kirazların solunum oranlarının da arttığı ve günler arasında oluşan farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Muhafaza başlangıcında $3.47 \text{ (nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1})$ olarak ölçülen solunum oranı, muhafaza sonunda artarak $17.10 \text{ (nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1})$ 'a yükselmiştir. Uygulamaların etkisi yalnızca 7. ve 14. günlerde önemli bulunmuştur. Uygulamaların genel ortalamasına bakıldığında ise en düşük solunum oranı KİTOSAN uygulamasında tespit edilirken, en yüksek BOR1+KİT uygulamasında tespit edilmiştir.

Kirazların hasat sonrası solunum oranı yüksektir (Zhang ve ark., 2022). Hasat sonrası meyve ve sebzeleri korumak için en önemli yöntemlerden biri, metabolizma hızını düşürmek ve bu sayede besin maddeleri ile duyuşal özelliklerin azalmasını geciktirerek raf ömrünü uzatmaktır. Kirazların hasat sonrası solunum oranı yüksektir (Zhang ve ark., 2022). Öztürk ve ark., (2024)'nin yaptığı bir çalışmada, hasat öncesi kirazlara uygulanan biofilm uygulamasının muhafaza süresi üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve 14. güne kadar solunum oranlarında bir artış, sonrasında ise bir azalma tespit edilmiştir. Ancak, çalışmamızda muhafazanın son gününe kadar solunum oranlarında artış gözlemlenmiştir.

Bu farklılığın, uygulama yöntemindeki ya da çalışılan kiraz çeşitlerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu durumu destekleyen bir diğer çalışmada Göksel ve Aksoy (2014), 0900 Ziraat, Sweetheart ve Regina gibi üç farklı kiraz çeşidinin solunum oranlarını incelemiş ve farklı sonuçlar elde ettiklerini bildirmiştir. Ayrıca, Dulta ve ark., (2025), patlıcanlarda çinko oksit nanopartikül uygulamasının muhafaza süresince solunum oranını artırdığını raporlamıştır. Yapılan bu çalışmada ise nanokompozit uygulamalarının solunum oranı üzerine etkisi kontrol ile benzer seviyede kalmıştır.

Çizelge 4. 32. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin solunum oranı (nmol CO₂ kg⁻¹ s⁻¹) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	3.47 a	8.02 abc	10.05 cd	16.08 a	16.11 a	16.10 a	11.64 ab
KİTOSAN	3.47 a	4.61 c	8.92 d	12.85 a	13.67 a	15.23 a	9.79 b
BAKIR1	3.47 a	4.71 c	11.15bcd	15.23 a	16.42 a	15.89 a	11.14 ab
BAKIR2	3.47 a	11.54 a	14.47 a	15.13 a	15.56 a	15.25 a	12.57 a
BAKIR1+KİT	3.47 a	7.55 abc	12.11 abc	14.42 a	16.49 a	17.11 a	11.86 a
BAKIR2+KİT	3.47 a	5.56 bc	13.55 ab	16.46 a	15.30 a	17.88 a	12.04 a
BOR1	3.47 a	9.46 abc	13.26 ab	15.56 a	16.54 a	17.29 a	12.60 a
BOR2	3.47 a	7.05 abc	11.44abcd	13.89 a	15.59 a	18.23 a	11.61 ab
BOR1+KİT	3.47 a	10.49 ab	13.99 ab	14.67 a	16.91 a	19.45 a	13.16 a
BOR2+KİT	3.47 a	10.52 ab	13.13 abc	14.42 a	16.99 a	18.57 a	12.85 a
Ortalama	3.47 E	7.95 D	12.21 C	14.87 B	15.96 AB	17.10 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde p<0.05).

Muhafaza süresince meyve kabuk rengi L* (parlaklık) değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.33'de sunulmuştur. Muhafaza sürelerinin genel ortalamaları incelendiğinde, hasat başlangıcında L* değeri 30.93 olarak ölçülmüş, ancak muhafaza süresi boyunca bu değer azalarak 35. günde 22.51 seviyesine düşmüştür. Hasat, 7. Gün ve 14. Gün ortalamaları arasında anlamlı farklıklar gözlemlenmiş ve L* değerinin azaldığı saptanmıştır. Ancak 14. günden sonraki muhafaza ortalamalarında oluşan farklıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama L* değeri 25.99 ile KONTROL grubunda, en düşük ortalama ise 23.55 ile BAKIR1+KİT uygulamasında gözlemlenmiştir. Muhafaza döneminin son günü olan 35. gün verilerine göre en yüksek L* değeri KONTROL uygulamasında, en düşük ise BAKIR2+KİT uygulamasında tespit edilmiştir.

Tüketici tercihlerinin belirlenmesinde meyvenin albenisi önemli bir rol oynamaktadır. Albenisi yüksek olan kiraz çeşitleri, pazarda daha yüksek fiyatlarla alıcı bulmaktadır (Öztürk ve ark., 2013). 0900 Ziraat çeşidinde yapılan bir çalışmada, hasat sonrası uygulanan Metil Salisilat'ın, L* renk değerlerini kontrol grubuna kıyasla daha yüksek seviyede koruduğu ve bu bağlamda renk değerinin korunmasında olumlu bir etkisinin olduğu belirlenmiştir (Ekinci ve Yunusoğlu, 2023). Öztürk ve ark., (2013)'nin gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada ise, kiraz meyvesine uygulanan AVG'nin L* değerini olumlu şekilde koruduğu, ancak MeJa uygulamasının kontrol grubu ile benzer seviyelerde kaldığı rapor edilmiştir. Yapılan bu çalışmada ise kontrol grubunda renk değerlerinin daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Bu uyumsuzluğun sebebi, çalışmamızda kullanılan solüsyonların meyvenin dış renginde mat bir görünüme yol açması olabilir.

Çizelge 4. 33. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin L* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	30.93 a	24.54 bc	24.46 a	24.02 ab	25.51 a	26.49 a	25.99 a
KİTOSAN	30.93 a	24.32 bc	23.56 ab	22.21 ab	21.72 bc	21.99 bc	24.12 bcd
BAKIR1	30.93 a	25.28 abc	23.25 ab	22.63 ab	23.23 ab	23.45 ab	24.80 bc
BAKIR2	30.93 a	26.86 ab	24.13 ab	23.09 ab	21.79 bc	23.45 ab	25.04 ab
BAKIR1+KİT	30.93 a	25.21 abc	21.95 b	22.49 ab	20.32 c	20.39 bc	23.55 d
BAKIR2+KİT	30.93 a	27.16 ab	23.25 ab	21.38 b	20.87 bc	19.44 c	23.84 cd
BOR1	30.93 a	22.63 c	23.39 ab	24.34 a	25.17 a	23.56 ab	25.00 ab
BOR2	30.93 a	23.11 c	22.69 ab	24.30 a	22.82 abc	22.98 b	24.47 bcd
BOR1+KİT	30.93 a	28.51 a	22.47 ab	24.64 a	21.91 bc	21.65 bc	25.02 ab
BOR2+KİT	30.93 a	28.59 a	22.33 ab	22.43 ab	21.49 bc	21.67 bc	24.58 bcd
Ortalama	30.93 A	25.62 B	23.15 C	23.15 C	22.48 C	22.51 C	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Yapılan uygulamaların ve muhafaza sürelerinin kirazın a^* (renk kırmızılığı) değerleri üzerindeki etkileri, Çizelge 4.34'de incelenmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalamalarına bakıldığında, hasat başlangıcındaki a^* değeri 27.18 iken, muhafaza süresinin sonunda bu değer 24.06'ya düşmüştür. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek a^* değeri 31.52 ile BAKIR2 uygulamasında elde edilirken, en düşük değer ise 29.47 ile BOR1 uygulamasında gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, kirazlara uygulanan UV-C ve sıcak su işlemlerinin ardından a^* (renk kırmızılığı) değeri incelenmiş ve en iyi sonucun kontrol grubunda gözlemlendiği rapor

edilmiştir (İşlek ve ark., 2023). Bizim çalışmamızda da yapılan uygulamaların kontrol ile benzer etkiyi gösterdiği saptanmıştır.

Çizelge 4. 34. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin a* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	27.18 a	38.35 a	32.20 b	33.12 a	28.18 ab	20.02 d	29.84 ab
KİTOSAN	27.18 a	36.74 ab	31.33 b	31.70 a	29.07 a	25.30 ab	30.22 ab
BAKIR1	27.18 a	38.98 a	33.28 ab	30.59 a	29.44 a	23.72 abc	30.53 ab
BAKIR2	27.18 a	39.36 a	32.28 b	34.58 a	28.49 ab	27.26 a	31.52 a
BAKIR1+KİT	27.18 a	39.77 a	34.00 ab	34.06 a	24.60 ab	20.74 cd	30.06 ab
BAKIR2+KİT	27.18 a	39.21 a	31.45 b	32.72 a	23.80 b	24.05 abc	29.74 ab
BOR1	27.18 a	38.28 a	30.82 b	29.32 a	27.78 ab	23.45 bcd	29.47 b
BOR2	27.18 a	39.01 a	33.33 ab	29.35 a	28.10 ab	25.93 ab	30.48 ab
BOR1+KİT	27.18 a	36.53 ab	33.87 ab	30.39 a	26.33 ab	25.07 ab	29.89 ab
BOR2+KİT	27.18 a	32.44 b	38.25 a	29.98 a	27.93 ab	25.09 ab	30.15ab
Ortalama	27.18 D	37.87 A	33.08 B	31.58 C	27.37 D	24.06 E	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Kiraz meyvelerinin b* (renk sarılığı) değerleri üzerindeki muhafaza süresi ve yapılan uygulamaların etkileri, Çizelge 4.35'de gösterilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalamalarına bakıldığında, hasat başlangıcındaki b* değeri 10.40 iken, muhafaza süresi boyunca bu değer değişim göstererek 20. günde 7.64 seviyesine düşmüştür. Muhafaza süresi boyunca b* değerlerinde, 7. günde bir artış, ardından ise sonraki günlerde kademeli bir azalış gözlemlenmiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek b* değeri 12.93 ile BAKIR2 uygulamasında elde edilirken, en düşük değer ise 11.11 ile BAKIR2+KİT uygulamasında gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 35. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin b* değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	10.40 a	17.31 abc	12.75 a	13.26 a	11.00 a	6.42 bc	11.86 ab
KİTOSAN	10.40 a	16.29 bc	11.81 a	11.53 a	9.99 ab	8.12 ab	11.36 b
BAKIR1	10.40 a	18.73 ab	13.49 a	10.89 a	10.89 a	7.90 ab	12.05 ab
BAKIR2	10.40 a	20.38 a	13.33 a	13.72 a	9.74 ab	9.99 a	12.93 a
BAKIR1+KİT	10.40 a	19.72 ab	14.03 a	12.36 a	7.06 b	5.13 c	11.45 b
BAKIR2+KİT	10.40 a	19.25 ab	12.24 a	11.40 a	7.04 b	6.36 bc	11.11 b
BOR1	10.40 a	16.30 bc	11.54 a	10.69 a	10.67 a	7.83 ab	11.24 b
BOR2	10.40 a	16.24 bc	13.29 a	10.73 a	10.08 a	9.05 a	11.63 ab
BOR1+KİT	10.40 a	16.67 abc	13.27 a	11.97 a	8.74 ab	7.86 ab	11.49 b
BOR2+KİT	10.40 a	13.89 c	15.86 a	11.68 a	9.26 ab	7.71 ab	11.47 b
Ortalama	10.40 D	17.48 A	13.16 B	11.82 C	9.45 E	7.64 F	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Kiraz meyvelerinin kroma (renk yoğunluğu) değerleri üzerindeki muhafaza süreleri ve yapılan uygulamaların etkileri, Çizelge 4.36'da değerlendirilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalamalarına bakıldığında, hasat başlangıcında kroma değeri 29.12 olarak ölçülmüş ve muhafaza süresi boyunca değişim göstererek 7. günde maksimum seviyeye (41.78) ulaşmış, ardından 28. ve 35. günlerde kademeli bir düşüş göstererek 25.29 seviyesine kadar gerilemiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama kroma değeri 34.17 ile BAKIR2 uygulamasında, en düşük değer ise 31.59 ile BOR1 uygulamasında gözlemlenmiştir. Fakat tüm uygulamalar kontrol ile aynı seviyede kalmıştır. Ayrıca, muhafaza döneminin sonu incelendiğinde, muhafaza süresi boyunca kroma değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların tespit edildiği görülmüştür.

Meyve kabuk rengi, tüketicilerin beğenisini ve tercihlerini etkileyen temel kalite kriterlerinden birisidir. Genellikle meyve kalitesinin göstergesi olarak değerlendirilebilir (Crisosto ve ark., 2003). Kirazda, olgunlaşma sürecinde antosiyanin ve karotenoidlerin sentezlenmesi sonucunda oluşan renk değişimleri dikkat çekicidir. Ancak, depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte, bu pigmentlerin azalmasına bağlı olarak kabuk renginde ve diğer renk özelliklerinde bir düşüş gözlemlenmesi, kirazlar için yaygın bir durumdur (Valero ve ark., 2013). Kirazlarla ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde, Afonso ve ark., (2023) tarafından yapılan bir araştırmada, muhafaza sürecinin belirli bir dönemine kadar kroma değerlerinde azalma gözlemlenmiş, ardından bazı uygulamalarda azalma, bazı uygulamalarda ise artış olduğu belirlenmiştir. Hu ve ark., (2022) tarafından

gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise kroma değerlerinin muhafaza başlangıcına kıyasla düzenli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Bu bulgular, bizim çalışmamızda elde edilen sonuçlarla da örtüşmektedir.

Çizelge 4. 36. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin kroma değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	29.12 a	42.13 a	34.67 b	35.72 a	30.27 abc	21.05 d	32.16 ab
KİTOSAN	29.12 a	40.23 ab	33.52 b	33.80 a	30.76 ab	26.59 ab	32.34 ab
BAKIR1	29.12 a	43.32 a	35.97 ab	32.51 a	31.42 a	25.04 bc	32.90 ab
BAKIR2	29.12 a	44.40 a	34.99 ab	37.25 a	30.17 abc	29.07 a	34.17 a
BAKIR1+KİT	29.12 a	44.45 a	36.87 ab	36.29 a	25.63 bc	21.41 cd	32.30 ab
BAKIR2+KİT	29.12 a	43.75 a	33.84 b	34.71 a	24.85 c	24.94 bcd	31.87 b
BOR1	29.12 a	41.65 ab	32.95 b	31.25 a	29.80 abc	24.76 bcd	31.59 b
BOR2	29.12 a	42.33 a	35.93 ab	31.28 a	29.91 abc	27.52 ab	32.68 ab
BOR1+KİT	29.12 a	40.20 ab	36.44 ab	32.70 a	27.76 abc	26.30 ab	32.09 ab
BOR2+KİT	29.12 a	35.34 b	41.47 a	32.23 a	29.46 abc	26.26 ab	32.32 ab
Ortalama	29.12 D	41.78 A	35.67 B	33.77 C	29.00 D	25.29 E	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Muhafaza süreleri ve yapılan uygulamaların kiraz meyvelerinin Hue açısı (renk tonu) değerleri üzerindeki etkileri, Çizelge 4.37'de değerlendirilmiştir. Muhafaza sürelerinin genel ortalamalarına bakıldığında, hasat başlangıcında hue açısı değeri 20.78 olarak ölçülmüş ve muhafaza süresi boyunca bu değer farklılık göstererek 7. günde 24.45 ile maksimum seviyeye ulaşmış, ardından kademeli bir azalma göstermiştir. Muhafaza süresinin sonunda (35. gün) hue açısı değeri 17.14 seviyesine kadar gerilemiştir. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama hue açısı değeri 21.65 ile BAKIR2 uygulamasında, en düşük değer ise 19.39 ile BAKIR2+KİT uygulamasında gözlemlenmiştir.

Kiraz, hasattan sonra klimakterik bir davranış sergilemediği için kabuğunda oluşan renk koyulaşması, antosiyaninlerin parçalanmasından kaynaklanmakta ve bu durum Hue açısı değerinde bir düşüşe yol açmaktadır (Genç ve ark., 2023). Literatür incelendiğinde, yapılan bazı uygulamaların kirazın muhafaza süresince Hue açısı değeri üzerindeki etkisinin genellikle bir azalış eğilimi gösterdiği bildirilmektedir (Arı ve ark., 2022; Genç ve ark., 2023). Benzer şekilde çalışmamızda da kirazların hue açısı değerlerinde 7. günden itibaren kademeli bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 37. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin hue açısı değeri üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	20.78 a	24.16 bcd	21.30 a	21.36 a	21.06 a	17.22 ab	20.98 ab
KİTOSAN	20.78 a	23.64 bcd	20.37 a	19.65 a	18.78 abc	17.59 ab	20.13 c
BAKIR1	20.78 a	25.43 abc	21.89 a	19.30 a	19.98 ab	18.04 a	20.90 ab
BAKIR2	20.78 a	27.14 a	22.11 a	21.39 a	18.53 abcd	19.93 a	21.65 a
BAKIR1+KİT	20.78 a	26.23 ab	21.85 a	19.65 a	15.69 d	13.45 c	19.61 c
BAKIR2+KİT	20.78 a	25.84 ab	20.63 a	18.91 a	15.94 cd	14.27 bc	19.39 c
BOR1	20.78 a	22.92 cd	20.22 a	19.62 a	20.50 ab	18.02 a	20.34 bc
BOR2	20.78 a	22.38 d	21.42 a	19.98 a	19.17 ab	18.78 a	20.42 abc
BOR1+KİT	20.78 a	24.24 bcd	21.01 a	21.24 a	18.20 abcd	17.14 ab	20.44 abc
BOR2+KİT	20.78 a	22.84 cd	22.29 a	20.89 a	17.98 bcd	16.92 abc	20.28 bc
Ortalama	20.78 BC	24.48 A	21.31 B	20.20 C	18.58 D	17.14 E	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Kirazın toplam fenolik madde içeriğinde (TPC), muhafaza süresi ve yapılan uygulamalar sonucu meydana gelen değişimler, Çizelge 4.38'de verilmiştir. Genel muhafaza süresi ortalamaları incelendiğinde, hasat sırasında ölçülen değer $648.71 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ iken, muhafazanın son gününde bu değer $748.75 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu fark, istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Uygulamaların genel ortalamaları değerlendirildiğinde ise TPC değerlerinin $587,23$ ile $680.85 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ancak, bu ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. İnteraksiyon analizinde de muhafaza süresince uygulamaların önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Fenolik bileşikler, genellikle meyvenin kabuğunda yoğunlaşır ve duyuşsal ile organoleptik niteliklerini belirlemede önemli bir rol oynar (Bal, 2024). Bu bileşiklerin sentezi, çevresel stres faktörleri ve sinyallere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Fenolik bileşiklerin olgunlaşma sürecinde önce artıp sonra azaldığı bilinmektedir; bu durum, olgunlaşma sırasında fenolik bileşiklerin sentezlenip bir süre biriktiğini, ardından enzim aktivitelerinin artmasıyla birlikte tüketildiğini veya dönüştüğünü gösterir (Kumar ve ark., 2017). Hasat sonrası kirazlarda yapılan farklı uygulamalara ilişkin literatür incelendiğinde, fenolik içerik davranışının çalışmalara göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Örneğin, bazı çalışmalarda fenolik içerikte artış (Dong ve Wang, 2017; Serrano ve ark., 2017; Gutiérrez-Jara, 2021; Çınar ve Sabır, 2021; Ekinci ve Yunusoğlu,

2023), bazılarında azalma (Petriccione ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2021) veya önce bir artış ardından bir azalma (Zam, 2019; Afonso ve ark., 2023) rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda ise muhafaza ortalamaları dikkate alındığında, muhafazanın son döneminde TPC değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 4. 38. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam fenolik madde içeriği ($\mu\text{g GAE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	648.71 a	615.49 a	662.01a	499.15a	773.36a	851.46a	675.02a
KİTOSAN	648.71 a	748.42 a	585.56a	562.29a	582.24a	695.26a	637.07a
BAKIR1	648.71 a	673.64 a	593.87a	607.17a	683.60a	806.61a	668.92a
BAKIR2	648.71 a	632.08 a	622.12a	665.33a	662.01a	854.81a	680.85a
BAKIR1+KİT	648.71 a	713.53 a	617.13a	580.56a	700.88a	791.63a	675.32a
BAKIR2+KİT	648.71 a	592.19 a	444.28a	658.69a	691.91a	720.17a	626.01a
BOR1	648.71 a	607.17 a	620.45a	489.16a	740.11a	733.47a	639.86a
BOR2	648.71 a	617.13 a	628.76a	484.17a	648.71a	706.89a	622.39a
BOR1+KİT	648.71 a	690.98 a	617.13a	496.63a	705.22a	686.95a	640.96a
BOR2+KİT	648.71 a	524,05 a	592.19a	530.72a	587.23a	640.39a	587,23a
Ortalama	648.71B	641.47B	598.35BC	557.39C	677.47AB	748.75A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p < 0.05$).

Kirazın antioksidan kapasitesi üzerindeki uygulamalar ve muhafaza sürelerinin etkileri, Çizelge 4.39'da verilmiştir. Muhafaza genel ortalamaları incelendiğinde, hasat döneminde $1.42 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ olan antioksidan kapasite değeri, muhafaza süresince artarak son gün $2.95 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Uygulama ortalamaları değerlendirildiğinde ise farklılıkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu belirlenmiştir. İnteraksiyon analizi incelendiğinde, muhafazanın 35. gününde en yüksek antioksidan kapasite değeri $3.33 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ile BAKIR2+KİT uygulamasında, en düşük değer ise $2.60 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ile BOR2+KİT uygulamasında tespit edilmiştir.

Kiraz meyveleri, anti-inflamatuar ve antikanser gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sergileyen çok sayıda antioksidan ve polifenol içermektedir (Faienza ve ark., 2020). Hasat sonrası kirazlarda yapılan bazı çalışmalar, antioksidan aktivitenin genellikle depolama süresi boyunca arttığını göstermektedir (Serrano ve ark., 2017; Huérriz-Jara ve ark., 2021). Bu artışın, kaplama uygulamalarının etkisiyle birlikte iç atmosferdeki değişiklikler, fenolik bileşiklerin birikimi ve su kaybı gibi faktörlerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, bazı araştırmalar antioksidan aktivitenin hasat sonrası giderek azaldığını da bildirmektedir (Zam, 2019; Zhang ve ark., 2021; Bal, 2024). Çalışmamızda, muhafaza

süresi boyunca antioksidan aktivitenin başlangıca kıyasla düzenli bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgunun, literatürdeki bazı çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. 39. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam antioksidan kapasitesi ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$) üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	1.42a	1.55a	1.57a	2.21a	2.46bc	2.97abc	2.03a
KİTOSAN	1.42a	1.43a	1.48a	2.33a	2.22c	2.77bc	1.94a
BAKIR1	1.42a	1.56a	1.89a	2.41a	2.37bc	2.84abc	2.08a
BAKIR2	1.42a	1.72a	1.54a	2.36a	2.91a	3.00abc	2.16a
BAKIR1+KİT	1.42a	1.76a	1.74a	2.27a	2.73ab	3.14ab	2.18a
BAKIR2+KİT	1.42a	1.43a	1.70a	2.15a	2.65ab	3.33a	2.11a
BOR1	1.42a	1.52a	1.45a	2.21a	2.59abc	3.02abc	2.04a
BOR2	1.42a	1.75a	1.55a	2.08a	2.65ab	3.01abc	2.08a
BOR1+KİT	1.42a	1.58a	1.65a	1.52a	2.63ab	2.76bc	1.93a
BOR2+KİT	1.42a	1.44a	1.82a	1.93a	2.35bc	2.60c	1.93a
Ortalama	1.42E	1.57DE	1.64 D	2.15 C	2.56 B	2.95 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Uygulamalar ve muhafaza sürelerinin kirazın toplam monomerik antosiyanin (TMA) içeriği üzerindeki etkileri, Çizelge 4.40'da sunulmuştur. Muhafaza sürelerinin genel ortalaması incelendiğinde, artan muhafaza süreleriyle paralel olarak antosiyanin değerlerinin genel anlamda arttığı görülmüştür. Hasatta ölçülen TMA değeri $0.76 \mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$ iken, muhafaza sonunda bu değer $3.25 \mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve bu fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Muhafazanın son günü değerlendirildiğinde, BAKIR1+KİT uygulamasının, kontrol grubuna kıyasla TMA içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Uygulama genel ortalamasına bakıldığında, en yüksek TMA değeri $2.51 \mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$ ile BAKIR1+KİT uygulamasında, en düşük değer ise $1.16 \mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$ ile BOR1 uygulamasında tespit edilmiştir.

Kiraz meyveleri, doğal olarak yüksek miktarda antosiyanin içerir, ancak bu miktar kirazın çeşidine, olgunluk aşamasına, hasat zamanına ve depolama koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Serrano ve ark., 2009). Hasat sonrası yapılan çalışmalarda, antosiyanin miktarının muhafaza süresi boyunca arttığını (Hu ve ark., 2022) ya da belirli bir döneme kadar arttıktan sonra azaldığını (Bal, 2024) gösteren bulgular bulunmaktadır. Çalışmamızda, muhafaza süresinin sonuna doğru antosiyanin miktarında düzenli bir artış gözlenmiş ve bu durum literatürdeki bazı bulgularla uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 4. 40. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin toplam monomerik antosiyanin ($\mu\text{g siy-3-glu g}^{-1}$) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	0.76a	0.91ab	0.91a	1.52a	0.67a	2.43b	1.20b
KİTOSAN	0.76a	0.40b	0.91a	1.92a	2.33a	1.72b	1.34b
BAKIR1	0.76a	0.81ab	0.67a	1.11a	1.72a	3.14b	1.37b
BAKIR2	0.76a	0.61ab	0.61a	1.92a	2.33a	3.14b	1.56ab
BAKIR1+KİT	0.76a	0.81ab	2.43a	1.89a	2.02a	7.18a	2.51a
BAKIR2+KİT	0.76a	1.21a	1.62a	1.21a	2.02a	5.16ab	2.00ab
BOR1	0.76a	0.61ab	0.67a	1.21a	1.89a	1.82b	1.16b
BOR2	0.76a	0.40ab	0.61a	2.58a	1.08a	3.44b	1.48b
BOR1+KİT	0.76a	0.46ab	1.52a	1.52a	1.82a	2.53b	1.43b
BOR2+KİT	0.76a	0.45ab	0.91a	1.52a	2.12a	1.92b	1.28b
Ortalama	0.76D	0.67D	1.09CD	1.64BC	1.80 B	3.25 A	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

Çalışmada analiz edilen kiraz örneklerinde, bireysel fenolik bileşik düzeylerinin muhafaza süresince gösterdiği değişimler Çizelge 4.41'de verilmiştir. 4-Aminobenzoic asit miktarının muhafaza süresi boyunca değişimi incelendiğinde, hasat anında 0.89 mg kg^{-1} olarak belirlenen değerin, muhafaza sonunda 0.40 mg kg^{-1} seviyesine düştüğü görülmüştür. Bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları değerlendirildiğinde ise en yüksek değerin BAKIR2 uygulamasında (0.66 mg kg^{-1}), en düşük değerin ise BOR1+KİT uygulamasında (0.45 mg kg^{-1}) gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uygulamalar arasında sayısal farklılıklar gözlemlenmiş olsa da, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Kirazda tespit edilen bireysel fenolik bileşiklerden biri olan protocatechuic asit değerlerine ilişkin muhafaza genel ortalamaları incelendiğinde, muhafaza süresince kademeli bir azalma gözlemlenmiştir. Hasat anında 0.77 mg kg^{-1} olarak belirlenen düzey, muhafazanın sonunda 0.31 mg kg^{-1} seviyesine kadar düşmüş ve bu azalma istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Muhafazanın son günü olan 35. gün değerleri karşılaştırıldığında, BAKIR1 uygulamasında 0.38 mg kg^{-1} ile kontrol grubuna (0.30 mg kg^{-1}) kıyasla daha yüksek bir düzey tespit edilmiş olup, aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Uygulama genel ortalamaları açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek değerin BAKIR1 (0.62 mg kg^{-1}), en düşük değerin ise BAKIR1+KİT (0.47 mg kg^{-1}) uygulamasında belirlendiği görülmüştür. Bu farklılık da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

4-Hydroxybenzoic asit değerlerinin muhafaza genel ortalamaları incelendiğinde, hasat anında 41.55 mg kg⁻¹ olarak ölçülen düzeyin, muhafaza süresince düzenli bir şekilde azalarak son dönemde 10.66 mg kg⁻¹ seviyesine gerilediği görölmektedir. Bu düşüş istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Muhafazanın 35. gününde en yüksek değer KİTOSAN (21.47 mg kg⁻¹) uygulamasında, en düşük değer ise kontrol grubunda (5.78 mg kg⁻¹) tespit edilmiştir ve bu fark da istatistiksel olarak anlamlıdır. Uygulama genel ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek düzeyler sırasıyla KİTOSAN (33.30 mg kg⁻¹), BAKIR2+KİT (32.16 mg kg⁻¹) ve BAKIR1+KİT (31.16 mg kg⁻¹) uygulamalarında kaydedilmiştir. Kitosan ile birlikte kullanılan bakır kombinasyonları ile yalnızca kitosan uygulaması, diğer tüm gruplara kıyasla anlamlı farklılık göstermiştir.

Fenolik bileşikler, meyvelerdeki temel biyoaktif maddelerdir ve kanser riskini azaltma ve nöroprotektif özellikler sunma gibi sağlık yararlarına katkıda bulunurlar. Kirazların aroması ve burukluğu ise fenoliklerden önemli ölçüde etkilenir (Bernalte ve ark.,2003). Kirazda fenolik bileşiklerin depolama sürecindeki değişimi, çeşide, uygulamalara ve özellikle muhafaza koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Çolak ve ark. (2025), yaptıkları çalışmada, depolama süresi uzadıkça kirazdaki fenolik bileşik düzeylerinde kademeli bir düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bunun aksine, Zhang ve ark. (2024b), düşük sıcaklık koşullarında yapılan kiraz muhafazasında birçok bireysel fenoliklerin arttığını rapor etmişlerdir. Bu bulgular, farklı muhafaza koşullarının fenolik bileşiklerin stabilitesi ve sentezi üzerinde değişken etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde Aubert ve ark. (2024) de, kirazda fenolik asitlerin depolama sürecinde gösterdiği değişimin esas olarak genotipik farklılıklar ve kullanılan depolama sistemlerine bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmamızda kirazda tespit edilen bireysel fenoliklerde genellikle BAKIR ve KİTOSAN uygulamaları, muhafaza süresince düşen fenolik asitleri korumada etkili olmuştur. Benzer şekilde, Zhang ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada natamisin ve kitosan kombinasyonunun, kirazda fizyokimyasal özelliklerin korunmasında olumlu etkiler sağladığını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar, kitosan bazlı kaplamaların fenolik bileşiklerin stabilitesini artırarak meyve kalitesinin sürdürülebilirliğine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu etki sadece fiziksel değil, aynı zamanda biyokimyasal kalite parametreleri üzerinde de gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 41. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin bireysel fenolik (mg kg⁻¹) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Fenolik Asit	Uygulama	Muhafaza süresi (gün)						Ortalama
		Hasat	7	14	21	28	35	
4-Aminobenzoic acid	KONTROL	0,89	0,95	0,60 ab	0,53bcd	0,31ab	0,42abc	0,62A
	KİTOSAN	0,89a	0,50 a	0,50abc	0,75 ab	0,18 b	0,42abc	0,54A
	BAKIR1	0,89a	0,59 a	0,62 a	0,31 de	0,58 a	0,49 a	0,58A
	BAKIR2	0,89a	1,67 a	0,40abc	0,32 de	0,25ab	0,44ab	0,66A
	BAKIR1+KİT	0,89a	0,78 a	0,31 bc	0,48 cd	0,34ab	0,40abc	0,53A
	BAKIR2+KİT	0,89a	0,93 a	0,57 ab	0,62abc	0,24ab	0,41abc	0,61A
	BOR1	0,89a	0,61 a	0,45abc	0,69abc	0,33ab	0,36 bc	0,56A
	BOR2	0,89a	0,89 a	0,50abc	0,75 ab	0,52ab	0,39abc	0,66A
	BOR1+KİT	0,89a	0,47 a	0,34abc	0,25 e	0,46ab	0,31 c	0,45A
	BOR2+KİT	0,89a	0,44 a	0,26 c	0,84 a	0,38ab	0,32 c	0,52A
	Ortalama	0,89A	0,78A	0,45BC	0,55B	0,36C	0,40BC	
Protocatechuic acid	KONTROL	0,77a	0,73ab	0,83 ab	0,30 cd	0,32cde	0,30 bc	0,54AB
	KİTOSAN	0,77a	0,58b	0,44 b	0,44 ab	0,29de	0,34 ab	0,48AB
	BAKIR1	0,77a	0,69ab	1,18 a	0,37abc	0,36bcd	0,38 a	0,62A
	BAKIR2	0,77a	1,31a	0,35 b	0,41abc	0,30cde	0,27 c	0,57AB
	BAKIR1+KİT	0,77a	0,67ab	0,36 b	0,45 ab	0,27 e	0,28 bc	0,47B
	BAKIR2+KİT	0,77a	0,64b	0,44 b	0,47 ab	0,26 e	0,31 bc	0,48AB
	BOR1	0,77a	0,69ab	0,42 b	0,48 a	0,37bc	0,28 bc	0,50AB
	BOR2	0,77a	0,88a	0,44 b	0,41abc	0,46 a	0,31 bc	0,54AB
	BOR1+KİT	0,77a	0,62b	0,30 b	0,35bcd	0,47 a	0,31 bc	0,48AB
	BOR2+KİT	0,77a	0,72ab	0,40 b	0,29 d	0,42ab	0,28 bc	0,48AB
	Ortalama	0,77A	0,75A	0,52B	0,40C	0,35C	0,31C	
4-Hydroxybenzoic acid	KONTROL	41,55a	44,01 a	28,73 dc	18,46 d	19,26 bc	5,78 b	26,30B
	KİTOSAN	41,55a	38,61abc	39,84 a	42,10 a	16,22 c	21,47 a	33,30A
	BAKIR1	41,55a	25,99bcd	39,07 ab	23,97 cd	20,76ab	7,22 b	26,43B
	BAKIR2	41,55a	21,02 d	24,47cd	e	c	7,22 b	23,04B
	BAKIR1+KİT	41,55a	40,12 ab	33,14ab	35,56 ab	25,00 a	11,57 b	31,16A
	BAKIR2+KİT	41,55a	33,34abc	c	33,85ab	25,29 a	15,91ab	32,16A
	BOR1	41,55a	33,25abc	43,04 a	20,39 d	21,43 ab	9,37 b	32,16A
	BOR2	41,55a	d	29,33bc	27,82bc	d	7,78 b	24,91B
	BOR1+KİT	41,55a	38,92abc	33,25ab	25,55bc	d	7,49 de	25,84B
	BOR2+KİT	41,55a	20,27 d	c	d	7,49 de	8,29 b	19,09D
	Ortalama	41,55A	31,94B	30,82B	26,67C	15,57C	10,66C	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde p<0.05).

Kirazda tespit edilen C vitamini içeriği değerleri izelge 4.42’te verilmiştir. Muhafaza suresince elde edilen genel ortalamalar değerlendirildiğinde, hasat anında 4.09 mg/100g olarak llen C vitamini değeri, muhafazanın son doneminde 1.57 mg/100g’a kadar düşmüştür. Bu azalma istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Muhafazanın son günü değerlendirildiğinde, BOR1 (1.82 mg/100g), KİTOSAN (1.81 mg/100g), BOR2 (1.80 mg/100g) ve BAKIR1+KİT (1.72 mg/100g) uygulamaları, kontrol grubuna (1.27 mg/100g) kıyasla daha yüksek C vitamini içerikleri göstermiştir ve bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulama genel ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek değer BOR1 (3.00 mg/100g) uygulamasında, en dşşk değer ise BOR2+KİT (2.49 mg/100g) uygulamasında tespit edilmiştir. BOR2+KİT dışındaki tüm uygulamalar, kontrol grubuyla benzer seviyelerde C vitamini koruyabilmiştir.

C vitamini, muhafaza çalışmalarında hem besinsel kaliteyi değerlendiren hem de oksidatif bozulma hızını izleyen temel göstergelerden biridir. Hasat sonrası donemde, özellikle sıcaklık ve süre gibi çevresel faktörlere bağlı olarak C vitamini içeriği hızla azalabilmektedir (Lee ve Kader, 2000). Çalışmamızda da bu duruma paralel olarak, muhafaza suresi ilerledikçe C vitamini düzeylerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Ancak muhafazanın son doneminde BOR1, BOR2 ve KİTOSAN uygulamalarının, C vitamininin korunmasında diğer uygulamalara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Bahmani ve ark. (2024), kitosan ile kaplanmış glisin betain nanopartiküllerinin ilek meyvesinde C vitamini kaybını önlemede etkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Alvarez-Herrera ve ark. (2025), bor elementinin askorbik asit parçalanmasını geciktirerek bu bileşiği stabilize edebileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4. 42. Soğukta muhafaza süresince kiraz meyvelerinin C vitamini (mg/100g) içeriği üzerine nanopartikül uygulamalarının etkisi

Uygulama	Muhafaza süresi (gün)						Ortalama
	Hasat	7	14	21	28	35	
KONTROL	4,09a	4,56a	2,03 e	2,38 abc	2,41 a	1,27cd	2,79 ab
KİTOSAN	4,09a	3,10bcd	3,40 b	2,14 c	1,44 c	1,81 a	2,66 ab
BAKIR1	4,09a	4,23ab	2,19 de	2,24 bc	2,65 a	1,33bcd	2,79 ab
BAKIR2	4,09a	3,94abc	2,74bcde	2,25 bc	1,92 b	1,18d	2,69 ab
BAKIR1+KİT	4,09a	3,06cd	2,73bcde	1,97 c	1,61 bc	1,72 a	2,53 ab
BAKIR2+KİT	4,09a	3,14bcd	2,84 bcd	2,41 abc	1,75 bc	1,67 ab	2,65 ab
BOR1	4,09a	3,46abcd	4,51 a	2,42 abc	1,70 bc	1,82 a	3,00 a
BOR2	4,09a	3,66abc	3,31 bc	2,75 ab	1,45 c	1,80 a	2,84 ab
BOR1+KİT	4,09a	3,29bcd	2,70bcde	2,24 bc	1,51 c	1,59abc	2,57 ab
BOR2+KİT	4,09a	2,43d	2,57cde	2,86 a	1,47 c	1,52abcd	2,49 b
Ortalama	4,09A	3,49B	2,90C	2,36D	1,79E	1,57E	

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar farksızdır. Aynı satırda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir (Tukey testinde $p<0.05$).

5. SONUÇ

Soğukta muhafaza süresince çileğin temel kalite özellikleri bakımından en düşük ağırlık kaybı BAKIR2’de saptanmıştır. Çürüme 20. günde çürüme yalnızca KİTOSAN ve BOR2+KİT gruplarında görülmemiştir. Doku bütünlüğü BOR1+KİT ile en yüksek ortalama sertlikte korunmuştur. C vitamini BOR1+KİT ve BOR2+KİT uygulamalarında kontrole göre daha iyi muhafaza edilmiştir. Toplam monomerik antosiyanin bakır bazlı uygulamalarda özellikle BAKIR1 ve BAKIR2’de daha yüksek saptanmıştır. Depolama boyunca L* ve kroma değerleri genel olarak azalmış ve solunum hızında belirgin artış gözlemlenmiştir. SÇKM’de uygulamalar arası farklar çoğunlukla önemsiz bulunmuştur. Ancak depolama süresinin ilerlemesi ile sınırlı değişimler görülmüştür. pH’ta küçük bir yükseliş ve TA’da hafif bir düşüş kaydedilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği genel olarak azalmış ve toplam antioksidan kapasite 10. güne kadar düşmüş ve daha sonra kısmen artış göstermiştir.

Soğukta muhafazada kirazın temel kalite özellikleri bakımından ağırlık kaybının zamanla arttığı ve en düşük düzeyin KİTOSAN ile sağlandığı tespit edilmiştir. SÇKM hasat anına göre yükselmiş ve artışın bakır ile kitosan kombinasyonlarında kaydedilmiştir. pH genel olarak artmış ve bu artışın BAKIR2+KİTOSAN ile BOR2+KİTOSAN gruplarında daha sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. TA anlamlı biçimde azalmıştır. Bu düşüşün kitosan, BAKIR2, BOR1+KİTOSAN ve BOR2+KİTOSAN ile kısmen sınırlandığı belirlenmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde 7. günde en yüksek sonuçları vermiştir ve sonraki düşüşü bakır ve kitosan bazlı uygulamalar yavaşlatmıştır. Solunum hızı düzenli biçimde yükselmiş ve kitosan uygulaması bu yükselişi yavaşlatmıştır. parlaklık ve kroma değerlerinin genel olarak gerilediği, kırmızılık ve sarılık ortalamalarının BAKIR2’de daha yüksek seyrettiği, hue açısının dönem sonunda azaldığı, toplam fenolik madde ile toplam antioksidan kapasitenin depolama boyunca arttığı, toplam monomerik antosiyaninin düzenli artış gösterdiği ve ortalamada en yüksek düzeyin BAKIR1+KİTOSAN ile elde edildiği, C vitamininin belirgin biçimde azaldığı ancak dönem sonunda BOR1, kitosan, BOR2 ve BAKIR1+kitosan gruplarının kontrolün üzerinde değerler sunduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, çilek ve kiraz meyvelerinde yapılan nanopartikül uygulamalarının genel olarak soğukta muhafaza sürecinde kalite parametrelerini iyileştirdiği anlaşılmaktadır.

Her iki meyvede de bakır ve bor temelli uygulamaların kitosan ile birlikte kullanılması; ağırlık kaybının azaltılması, sertlik özelliklerinin korunması, C vitamini düzeylerinin daha iyi muhafaza edilmesi ve fenolik bileşiklerin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından belirgin olumlu etkiler göstermiştir. Bu bulgular doğrultusunda, soğukta depolama protokollerine kitosan ile zenginleştirilmiş bakır veya bor uygulamalarının dahil edilmesi, kalite kayıplarının sınırlandırılması ve raf ömrünün uzatılması için uygun ve etkili bir yaklaşım olarak önerilebilir.



6.KAYNAKLAR

- Afonso, S., Oliveira, I., Ribeiro, C., Vilela, A., Meyer, A. S., & Gonçalves, B. (2023). Innovative edible coatings for postharvest storage of sweet cherries. *Scientia Horticulturae*, 310, 111738.
- Afra, P., & Naseri, L. (2018). Effect of Zn-oxide nanoparticles coating on physicochemical properties, enzymatic activity and storage life of sweet cherry cv. Takdaneh Mashhad (*Prunus avium* L.). *Research in Pomology*, 3(1), 57–66.
- Ahmed, R., Uddin, M. K., Quddus, M. A., Samad, M. Y. A., Hossain, M. M., & Haque, A. N. A. (2023). Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. *Horticulturae*, 9(2), 162.
- AleKasir, K., Hassani, R. N., & Azar, A. M. (2017). Effects of silver nanoparticles (SNPs) pulsing treatment and sucrose holding on flower and leaf senescence of cut rose.
- Álvarez-Herrera, J. G., Jaime-Guerrero, M., & Fischer, G. (2025). The effect of boron on fruit quality: A review. *Horticulturae*, 11(8), 992.
- Aglar, E., Ozturk, B., Guler, S. K., Karakaya, O., Uzun, S., & Saracoglu, O. (2017). Effect of modified atmosphere packaging and ‘Parka’ treatments on fruit quality characteristics of sweet cherry fruits (*Prunus avium* L. ‘0900 Ziraat’) during cold storage and shelf life. *Scientia Horticulturae*, 222, 162–168.
- Aglar, E., Saracoglu, O., Ozturk, B., Karakaya, O., & Ateş, U. (2022). The influence of fruit size on quality attributes and bioactive compounds of sweet cherry fruit. *Erwerbs-Obstbau*, 1–7.
- Ahmad, S., Munir, S., Zeb, N., Ullah, A., Khan, B., Ali, J., & Ali, S. (2019). Green nanotechnology: A review on green synthesis of silver nanoparticles—an ecofriendly approach. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 5087.
- Al-Dhabaan, F. A., Shoala, T., Ali, A. A. M., Alaa, M., & Abd-Elsalam, K. A. (2017). Chemically-produced copper, zinc nanoparticles and chitosan-bimetallic nanocomposites and their antifungal activity against three phytopathogenic fungi. *International Journal of Agricultural Technology*, 13(5), 753–769.
- Alhalili, Z. (2022). Green synthesis of copper oxide nanoparticles (CuO NPs) from *Eucalyptus globulus* leaf extract: Adsorption and design of experiments. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(5), 103739.
- Ali, L. M., Ahmed, A. E. R. A. E. R., Hasan, H. E. S., Suliman, A. E. R. E., & Saleh, S. S. (2022). Quality characteristics of strawberry fruit following a combined treatment of laser sterilization and guava leaf-based chitosan nanoparticle coating. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 80.

- Ali, M. A., Kordrostami, M., Javar, F. M., & Rahimi, M. (2025). Effects of planting date and zinc oxide nano fertilizer on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* L.) in two agroecological zones. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1114.
- Amin, F., Khattak, B., Alotaibi, A., Qasim, M., Ahmad, I., Ullah, R., & Ahmad, R. (2021). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Aerva javanica* leaf extract and their characterization and investigation of in vitro antimicrobial potential and cytotoxic activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021.
- Amingad, V., Sreenivas, K. N., Fakrudin, B., Seetharamu, G. K., Shankarappa, T. H., & Venugopalan, R. (2017). Comparison of silver nanoparticles and other metal nanoparticles on postharvest attributes and bacterial load in cut roses var. Taj Mahal. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(6), 579-584.
- Ammar, H. A., Rabie, G. H., & Mohamed, E. (2019). Novel fabrication of gelatin-encapsulated copper nanoparticles using *Aspergillus versicolor* and their application in controlling of rotting plant pathogens. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42, 1947–1961.
- Arı, B., Saraçoğlu, O., & Yıldız, K. (2022). Hasat sonrası benzo-thiadiazol karbotioik uygulamalarının kiraz meyvesinde fitokimyasal maddeler üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(Ek Sayı 2), 411–420.
- Aubert, C., Bulver, F., Chalot, G., & Mathieu-Hurtiger, V. (2024). Effects of hot water treatments on the main physicochemical characteristics and the levels of vitamin C and polyphenols of two sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.) during cold storage and shelf-life. *European Food Research and Technology*, 250(6), 1641–1651.
- Babae, M., Garavand, F., Rehman, A., Jafarzadeh, S., Amini, E., & Cacciotti, I. (2022). Biodegradability, physical, mechanical and antimicrobial attributes of starch nanocomposites containing chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 195, 49–58.
- Bahmani, R., Razavi, F., Mortazavi, S. N., Gohari, G., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Evaluation of proline-coated chitosan nanoparticles on decay control and quality preservation of strawberry fruit (cv. Camarosa) during cold storage. *Horticulturae*, 8(7), 648.
- Bahmani, R., Razavi, F., Mortazavi, S. N., Gohari, G., & Juárez-Maldonado, A. (2024). Enhancing postharvest quality and shelf life of strawberries through advanced coating technologies: A comprehensive investigation of chitosan and glycine betaine nanoparticle treatments. *Plants*, 13(8), 1136.
- Bal, E. (2012). Hasat sonrası putresin ve salisilik asit uygulamalarının kirazın soğukta muhafazası üzerine etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 23–31.

- Bal, E. (2024). Impact of chitosan-melatonin composite coating on postharvest quality of sweet cherry. *Applied Fruit Science*, 66(2), 763–770.
- Beniwal, M., Mishra, S., & Bahadur, V. (2024). Effect of foliar application of nano urea, boron and zinc sulphate on growth, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cv. Winter Dawn. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 27(6), 725–735.
- Bernalte, M. J., Sabio, E., Hernandez, M. T., & Gervasini, C. (2003). Influence of storage delay on quality of ‘Van’ sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology*, 28(2), 303–312.
- Bernard, S., Chassagneux, F., Berthet, M. P., Cornu, D., & Miele, P. (2005). Crystallinity, crystalline quality and microstructural ordering in boron nitride fibers. *Journal of the American Ceramic Society*, 88, 1607–1614.
- Bhat, R., & Stamminger, R. (2015). Impact of ultraviolet radiation treatments on the physicochemical properties, antioxidants, enzyme activity and microbial load in freshly prepared hand pressed strawberry juice. *Food Science and Technology International*, 21(5), 354–363.
- Bi, X., Guo, H., Li, X., Zheng, L., An, M., Xia, Z., & Wu, Y. (2022). A novel strategy for improving watermelon resistance to cucumber green mottle mosaic virus by exogenous boron application. *Molecular Plant Pathology*, 23(9), 1361–1380.
- Bin, Y., Liu, C., Xie, J., Wang, M., Chen, C., & Jiang, A. (2024). Quality changes of two sweet cherry cultivars with different susceptibility to cracking during storage. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 65(3), 477–489.
- Bingöl, A., Türkyılmaz, M., & Özkan, M. (2022). Increase in thermal stability of strawberry anthocyanins with amino acid copigmentation. *Food Chemistry*, 384, 132518.
- Bizymis, A. P., Kalantzi, S., Mamma, D., & Tzia, C. (2023). Addition of silver nanoparticles to composite edible films and coatings to enhance their antimicrobial activity and application to cherry preservation. *Foods*, 12(23), 4295.
- Błaszczuk, J., Bieniasz, M., Nawrocki, J., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., & Bogdał, S. (2022). The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers. *Agriculture*, 12(8), 1193.
- Bliss, C. I. (1934). The method of probits. *Science*, 79, 38–39. <https://doi.org/10.1126/science.79.2037.38>
- Bonilla-Bird, N. J., Paez, A., Reyes, A., Hernandez-Viezcas, J. A., Li, C., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Two-photon microscopy and spectroscopy studies to determine the mechanism of copper oxide nanoparticle uptake by sweetpotato roots during postharvest treatment. *Environmental Science and Technology*, 52(17), 9954–9963.

- Borgatta, J., Ma, C., Hudson-Smith, N., Elmer, W., Plaza Perez, C. D., De La Torre-Roche, R., & Hamers, R. J. (2018). Copper-based nanomaterials suppress root fungal disease in watermelon (*Citrullus lanatus*): Role of particle morphology, composition and dissolution behavior. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(11), 14847–14856.
- Brunel, F., Gueddari, N. E., & Moerschbacher, B. M. (2013). Complexation of copper (II) with chitosan nanogels: Toward control of microbial growth. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1348–1356.
- Bukhari, S. I., Hamed, M. M., Al-Agamy, M. H., Gazwi, H. S., Radwan, H. H., & Youssif, A. M. (2021). Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Streptomyces* MHM38 and its biological applications. *Journal of Nanomaterials*, 2021, 1–16.
- Chauhan, P., Sharma, N. C., Sharma, D. P., Kumar, P., & Chauhan, A. (2025). Nano-N enabled fruiting, fruit quality and physiological behaviour in apple (*Malus × domestica* Borkh.) under high density plantation. *Applied Fruit Science*, 67(4), 237.
- Chatterjee, A. K., Sarkar, R. K., Chattopadhyay, A. P., Aich, P., Chakraborty, R., & Basu, T. (2012). A simple robust method for synthesis of metallic copper nanoparticles of high antibacterial potency against *E. coli*. *Nanotechnology*, 23, 1–11.
- Chi, H., Song, S., Luo, M., Zhang, C., Li, W., Li, L., & Qin, Y. (2019). Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. *Scientia Horticulturae*, 249, 192–198.
- Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Vuong, Q. V., Papoutsis, K., & Stathopoulos, C. E. (2016). Sweet cherry: Composition, postharvest preservation, processing and trends for its future use. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 72–83.
- Chu, Y., Gao, C., Liu, X., Zhang, N., Xu, T., Feng, X., & Tang, X. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. *LWT*, 122, 109054.
- Colak, A. M., Peral Eydurán, S., Tas, A., Altun, O., Gundogdu, M., & Ozturk, B. (2025). The role of spermidine in postharvest fruit physiology: Effects on quality characteristics and metabolite content of sweet cherry fruit during cold storage. *ACS Omega*, 10(10), 10567–10578.
- Colgecen, I., & Aday, M. S. (2015). The efficacy of the combined use of chlorine dioxide and passive modified atmosphere packaging on sweet cherry quality. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 10–19.
- Crisosto, C. H., Crisosto, G. M., & Metheney, P. (2003). Consumer acceptance of ‘Brooks’ and ‘Bing’ cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 159–167.
- Çakır, A., İşlek, F., Doğan, E., & Bazancır, G. (2021). Malatya ekolojisinde farklı rakımlarda yetişen bazı üzüm çeşitlerinin kalite ve biyokimyasal özelliklerinin

- karşılaştırılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(4), 928–939.
- Cañas, J. E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M., & Olszyk, D. (2008). Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(9), 1922–1931.
- Çezik, F., & Saraçoğlu, O. (2024). The effect of pedicel length and post-harvest calcium chloride application on the storage life of strawberry fruit. *Applied Fruit Science*, 66(3), 843–853.
- Che, K., Chen, Z., Weng, L., Zhou, B., Gao, W., Liu, R., & Hu, W. (2025). Preparation of quercetin/copper nanoparticles and their preservation performance on Shine Muscat grapes. *Molecules*, 30(7), 1438.
- Çınar, S., & Sabır, F. K. (2021). Kirazda hasat sonrası kitosan ve aloe vera uygulamalarının soğukta muhafaza süresince kalite özelliklerine etkisi. *Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Adına Sahibi*, 114.
- Colak, A. M., Peral Eydurán, S., Tas, A., Altun, O., Gundogdu, M., & Ozturk, B. (2025). The role of spermidine in postharvest fruit physiology: Effects on quality characteristics and metabolite content of sweet cherry fruit during cold storage. *ACS Omega*, 10(10), 10567–10578.
- Dave, R. K., Ramana Rao, T. V., & Nandane, A. S. (2017). Improvement of postharvest quality of pear fruit with optimized composite edible coating formulations. *Journal of Food Science and Technology*, 54(12), 3917–3927.
- De Oliveira, I., Santos-Buelga, C., Aquino, Y., Barros, L., & Heleno, S. A. (2025). New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives. *Food Bioscience*, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106571>
- Delgado, K., Quijada, R., Palma, R., & Palza, H. (2011). Polypropylene with embedded copper metal or copper oxide nanoparticles as a novel plastic antimicrobial agent. *Letters in Applied Microbiology*, 53, 50–54.
- Deng, C., Wang, Y., Cantu, J.M., Valdes, C., Navarro, G., Cota-Ruiz, K. & Gardea-Torresdey, J.L., 2022. Soil and foliar exposure of soybean (Glycine max) to Cu: nanoparticle coating-dependent plant responses. *NanoImpact*, 26, 100406.
- Desai, K. G., & Park, H. J. (2006). Study of gamma-irradiation effects on chitosan microparticles. *Drug Delivery*, 13(1), 39–50.
- Deshmukh, A. R., Jeong, J. W., Lee, S. J., Park, G. U., & Kim, B. S. (2019). Ultrasound-assisted facile green synthesis of hexagonal boron nitride nanosheets and their applications. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(20), 17114–17125.

- Dhiman, D., Kalia, A., Sharma, S. P., Taggar, M. S., & Dheri, G. S. (2024). Nano-boron foliar application reduced the proportion of cracked tuber yield in potato. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58, 103182.
- Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *LWT*, 89, 117–122.
- Dulta, K., Ağçeli, G. K., Singh, S., Pandey, V. K., Thakur, A., Chauhan, P. K., & Rustagi, S. (2025). Unveiling the effects of ZnO nanoparticle incorporated chitosan coating on postharvest quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Food Control*, 168, 110912.
- Duraisamy, N., Dhayalan, S., Shaik, M. R., Shaik, A. H., Shaik, J. P., & Shaik, B. (2022). Green synthesis of chitosan nanoparticles using *Martynia annua* L. ethanol leaf extract and their antibacterial activity. *Crystals*, 12(11), 1550.
- Dutta, P., Kumari, A., & Mahanta, M. (2022). Chitosan nanoparticle: Synthesis, characterization, and use as plant health materials.
- Ekinci, N., & Yunusoğlu, S. V. (2023). Hasat sonrası metil salisilat uygulamasının ‘0900 Ziraat’ kiraz çeşidinin soğukta muhafazası süresince kaliteye olan etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 260–267.
- El Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R., & Boulet, M. (1991). Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 56(6), 1618–1620.
- Elabd, M. A., & Saleh, M. N. (2025). Sustainable strategies for extending strawberry shelf life: A comparative efficacy of ultrasonic, sonochemical, and chitosan-based coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 1–19.
- El-Abeid, S. E., Ahmed, Y., Daros, J.-A., & Mohamed, M. A. (2020). Reduced graphene oxide nanosheet-decorated copper oxide nanoparticles: A potent antifungal nanocomposite against *Fusarium* root rot and wilt diseases of tomato and pepper plants. *Nanomaterials*. <https://doi.org/10.3390/nano10051001>.
- Eldib, R., Khojah, E., Elhakem, A., Benajiba, N., & Helal, M. (2020). Chitosan, nisin, silicon dioxide nanoparticle coating films: Effects on blueberry (*Vaccinium myrtillus*) quality. *Coatings*, 10(10), 962.
- El-Gioushy, S. F., El-Masry, A. M., Fikry, M., El-Kholy, M. F., Shaban, A. E., Sami, R., & El-Badawy, H. E. (2022). Utilization of active edible films (chitosan, chitosan nanoparticle, and CaCl₂) for enhancing the quality properties and shelf life of date palm fruits (Barhi cultivar) during cold storage. *Coatings*, 12(2), 255.
- El-Naggar, N. E. A., Saber, W. I., Zweil, A. M., & Bashir, S. I. (2022). An innovative green synthesis approach of chitosan nanoparticles and their inhibitory activity against phytopathogenic *Botrytis cinerea* on strawberry leaves. *Scientific Reports*, 12(1), 3515.

- Eroğul, D., Gundogdu, M., Sen, F., & Tas, A. (2024). Impact of postharvest calcium chloride treatments on decay rate and physicochemical quality properties in strawberry fruit. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1088.
- Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badii, F., Mohammadhoseini, Z., & Ahmadi, K. (2014). Effect of nanochitosan-based coating with and without copper loaded on physicochemical and bioactive components of fresh strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duchesne) during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 2397–2409.
- Estevez-Fregoso, E., Farfán-García, E. D., García-Coronel, I. H., Martínez-Herrera, E., Alatorre, A., Scorei, R. I., & Soriano-Ursúa, M. A. (2021). Effects of boron-containing compounds in the fungal kingdom. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 65, 126714.
- Faienza, M. F., Corbo, F., Carocci, A., Catalano, A., Clodoveo, M. L., Grano, M., & Portincasa, P. (2020). Novel insights in health-promoting properties of sweet cherries. *Journal of Functional Foods*, 69, 103945.
- Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, S. T., & Hayat, S. (2018). Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. *Photosynthetica*, 56(2), 678–686.
- Faizy, A. H., Ozturk, B., Aglar, E., & Yıldız, K. (2021). Role of methyl jasmonate application regime on fruit quality and bioactive compounds of sweet cherry at harvest and during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15882.
- Feliziani, E., Santini, M., Landi, L., & Romanazzi, G. (2013). Pre- and postharvest treatment with alternatives to synthetic fungicides to control postharvest decay of sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology*, 78, 133–138.
- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 2006.
- Feyzi Laeen, F., Abedy, B., Davarynejad, G. H., & Taheri, P. (2024). Evaluation of the effects of zinc oxide, copper oxide, and silicon dioxide nanoparticles on the control of grape rot caused by *Aspergillus niger* Tiegh., *Botrytis cinerea* Pers. and *Penicillium expansum* Link. at room temperature. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 55(1), 23–42.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Crops products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 20 Haziran 2025)
- García-García, D. J., Pérez-Sánchez, G. F., Hernández-Cocoletzi, H., Sánchez-Arzubide, M. G., Luna-Guevara, M. L., Rubio-Rosas, E., & Morán-Raya, C. (2023).

- Chitosan coatings modified with nanostructured ZnO for the preservation of strawberries. *Polymers*, 15(18), 3772.
- Genç, F., Ünal, S., & Sabır, F. K. (2023). Effects of postharvest methyl jasmonate on the quality features of sweet cherry cv. '0900 Ziraat' during storage.
- Ghassan, M. S., Wasnaa, H. M., Thorria, R. M., Ahmet Abdul, A. A., Abdul Amir, H. K., & Abu Bakar, M. (2013). Green synthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles using *Eucalyptus chapmaniana* leaves extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(1), 58–63.
- Ghodke, S. A., Maheshwari, U., Gupta, S., Sonawane, S. H., & Bhanvase, B. A. (2021). Nanomaterials for adsorption of pollutants and heavy metals: Introduction, mechanism, and challenges. In *Handbook of Nanomaterials for Wastewater Treatment* (pp. 343–366). Elsevier.
- Gholamnejad, S., Haghighi, M., & Etemadi, N. (2022). Effects of boron on nutrient partitioning, Ca movement, and fruit quality of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*, 1–17.
- Ghosh, M., & Ghosh, P. (2020). Storage study of grapes (*Vitis vinifera*) using the nanocomposite biodegradable film from banana pseudostem. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e14917.
- Ghosh, T., Priyadarshi, R., de Souza, C. K., Angioletti, B. L., & Rhim, J. W. (2022). Advances in pullulan utilization for sustainable applications in food packaging and preservation: A mini-review. *Trends in Food Science and Technology*.
- Giannousi, K., Avramidis, I., & Dendrinou-Samara, C. (2013). Synthesis, characterization and evaluation of copper-based nanoparticles as agrochemicals against *Phytophthora infestans*. *RSC Advances*, 3, 21743–21752.
- Giusti, M. M., Rodríguez-Saona, L. E., Griffin, D., & Wrolstad, R. E. (1999). Electrospray and tandem mass spectroscopy as tools for anthocyanin characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(11), 4657–4664.
- Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185–195.
- Gonçalves, B., Landbo, A. K., Knudsen, D., Silva, A. P., Moutinho-Pereira, J., Rosa, E., & Meyer, A. S. (2004). Effect of ripeness and postharvest storage on the phenolic profiles of cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(3), 523–530.

- Goswami, P. B., Satodiya, B. N., Raval, C. H., & Baria, V. K. (2025). Effect of nano boron and conventional boron sources on growth, yield and leaf boron content of tomato cv. Anand Roma. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 28(10), 1–9.
- Göksel, Z., & Aksoy, U. (2014). Sofralık bazı kiraz çeşitlerinin fizikokimyasal özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı–2), 1856–1862.
- González-Estrada, R., Blancas-Benítez, F., Velázquez-Estrada, R. M., Montaña-Leyva, B., Ramos-Guerrero, A., Aguirre-Güitrón, L., & Gutierrez-Martinez, P. (2019). Alternative eco-friendly methods in the control of postharvest decay of tropical and subtropical fruits. In *Modern Fruit Industry*. IntechOpen.
- Gutiérrez-Jara, C., Bilbao-Sainz, C., McHugh, T., Chiou, B. S., Williams, T., & Villalobos-Carvajal, R. (2021). Effect of cross-linked alginate/oil nanoemulsion coating on cracking and quality parameters of sweet cherries. *Foods*, 10(2), 449.
- Guler, S. K., Karakaya, O., Karakaya, M., Ozturk, B., Aglar, E., Yarılgac, T., & Gün, S. (2019). Combined treatments of modified atmosphere packaging with aminoethoxyvinylglycine maintained fruit quality in sweet cherry throughout cold storage and shelf life. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(5), 13–26.
- Gün, S. (2025). *Nanofiber membran uygulamalarının kesme gül (Rosa hybrida L.) çiçeklerinin vazo ömrüne etkileri* (Doktora tezi). Bahçe Bitkileri ABD, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Hardy, J. J. E., Hubert, S., Macquarrie, D. J., & Wilson, A. J. (2004). Chitosan-based heterogeneous catalysts for Suzuki and Heck reactions. *Green Chemistry*, 6, 53–56.
- Harnkarnsujarit, N., & Li, Y. (2017). Structure–property modification of microcrystalline cellulose film using agar and propylene glycol alginate. *Journal of Applied Polymer Science*, 134, 45533.
- Hasanin, M., Al Abboud, M. A., Alawlaqi, M. M., Abdelghany, T. M., & Hashem, A. H. (2022). Ecofriendly synthesis of biosynthesized copper nanoparticles with starch-based nanocomposite: Antimicrobial, antioxidant, and anticancer activities. *Biological Trace Element Research*, 200(5), 2099–2112.
- Hmmam, I., Korkar, H. M., Ahmed, I., El-Hamied, A. G. A., & Shaban, A. (2025). NPK nano-fertilizers enhance growth, oil quality, and yield regularity in Picual olive trees. *Scientific Reports*, 15(1), 32495.
- Hong, F., Yang, F., Liu, C., Gao, Q., Wan, Z., Gu, F., & Yang, P. (2005). Influences of nano-TiO₂ on the chloroplast aging of spinach under light. *Biological Trace Element Research*, 104(3), 249–260.

- Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., & Zhao, L. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research International*, 44(6), 1589–1596.
- Hu, W., & Feng, K. (2022). Effect of edible coating on the quality and antioxidant enzymatic activity of postharvest sweet cherry (*Prunus avium* L.) during storage. *Coatings*, 12(5), 581.
- Huang, J., & Snapp, S. S. (2009). Potassium and boron nutrition enhance fruit quality in Midwest fresh market tomatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(11–12), 1937.
- Ijaz, F., Shahid, S., Khan, S. A., Ahmad, W., & Zaman, S. (2017). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Abutilon indicum* leaf extract: Antimicrobial, antioxidant and photocatalytic dye degradation activities. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(4), 743–753.
- Ilk, S., Saglam, N., & Özgen, M. (2017). Kaempferol loaded lecithin/chitosan nanoparticles: Preparation, characterization, and their potential applications as a sustainable antifungal agent. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45, 907–916.
- Ingle, A. P., Duran, N., & Rai, M. (2013). Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: A review. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5422-8>
- İkinci, A., & Aldanmaz, Ş. (2022). Bor ve çinko içerikli yaprak gübresi uygulamalarının ‘0900 Ziraat’ kiraz (*Prunus avium* L.) çeşidinin yaprak besin elementi içeriği üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 283–295.
- İşlek, F. (2024). Portola ve Kabarla çilek çeşitlerinde hasat öncesi farklı gübre uygulamalarının hasat sonrası performansı üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1083–1090.
- İşlek, F., Yılmaz, N., & Çavuşoğlu, Ş. (2023). Kiraz meyvelerinde hasat sonrası UV-C ve sıcak su uygulamalarının depolama performansı üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(2), 311–317.
- Jackson, D. G., Cardwell, L. A., Oussedik, E., & Feldman, S. R. (2020). Utility of boron in dermatology. *Journal of Dermatological Treatment*, 31(1), 2–12.
- Jaiswal, M., Chauhan, D., & Sankararamkrishnan, N. (2012). Copper chitosan nanocomposite: Synthesis, characterization, and application in removal of organophosphorous pesticide from agricultural runoff. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 2055–2062.

- Jin, P., Zhu, H., Wang, J., Chen, J., Wang, X., & Zheng, Y. (2013). Effect of methyl jasmonate on energy metabolism in peach fruit during chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 1827–1832.
- Kaarunya, A., Meenatchi, R., & Vignesh, S. (2022). Effect of lactic acid bacteria and propolis extract on the control of postharvest decay in tomato and its quality attribute changes.
- Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Lee, Y. S. (2018). Active packaging from chitosan–titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 523–529.
- Kappel, F., Toivonen, P., McKenzie, D. L., & Stan, S. (2002). Storage characteristics of new sweet cherry cultivars.
- Karimi Dehbakri, S., Ehtesham Nia, A., Mumivand, H., & Rastegar, S. (2025). Effect of nanocellulose-based edible coatings enriched with α -pinene and myrtle essential oil on the postharvest quality of strawberry. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1–15.
- Kassem, H. S., Tarabih, M. E., Ismail, H., & Eleryan, E. E. (2022). Influence of nano-silica/chitosan film coating on the quality of ‘Tommy Atkins’ mango. *Processes*, 10(2), 279.
- Khalaj, K., Ahmadi, N., & Souri, M. K. (2016). Improvement of postharvest quality of Asian pear fruits by foliar application of boron and calcium. *Horticulturae*, 3(1), 15.
- Khamis, Y., Hashim, A. F., Margarita, R., Alghuthaymi, M. A., & Abd-Elsalam, K. A. (2017). Fungicidal efficacy of chemically produced copper nanoparticles against *Penicillium digitatum* and *Fusarium solani* on citrus fruit. *Philippine Agricultural Scientist*, 100, 69–78.
- Kim, D. S., Park, K. J., Choi, J. H., Lim, J. H., & Kim, H. J. (2023). Metabolomic analysis of strawberries at different maturities according to postharvest storage period. *Scientia Horticulturae*, 321, 112283.
- Korkmaz, N. (2019). Saintpaulia sulu yaprak özütü kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel & antibiyofilm aktivitesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4), 2225–2234.
- Korkmaz, N., Kaçan, F. N., & Kaya, M. Y. (2022). Çevre dostu gümüş nanoparçacık sentezi. *Bozok Journal of Engineering and Architecture*, 1(1), 14–20.
- Kou, X., He, Y., Li, Y., Chen, X., Feng, Y., & Xue, Z. (2019). Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Food Chemistry*, 270, 385–394.

- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Rajasekar, S., Selvakumar, P., Kalaichelvan, P. T., & Mohan, N. (2010). Synthesis of silver nanoparticles using *Acalypha indica* leaf extracts and its antibacterial activity against waterborne pathogens. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76(1), 50–56.
- Kruk, T., Szczepanowicz, K., Stefańska, J., Socha, R. P., & Warszyński, P. (2015). Synthesis and antimicrobial activity of monodisperse copper nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 128, 17–22.
- Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R. R., Srivastav, M., & Varghese, E. (2017). Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 226, 104–109.
- Kuru Berk, S., Orman, E., Tuna Koçoğlu, S., & Gündoğdu, M. (2023). Change in biochemical content of strawberry during shelf life with growth regulator treatments. *Erwerbs-Obstbau*, 65(2), 241–250.
- Kütük, N., & Çetinkaya, S. (2022). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using black, green and tarragon tea and investigation of their photocatalytic activity for methylene blue. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(7), 955–962.
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207–220.
- Li, H., Huang, X., Li, J., Liu, J., Joyce, D., & He, S. (2012). Efficacy of nano-silver in alleviating bacteria-related blockage in cut rose cv. Movie Star stems. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 36–41.
- Li, D., Zhang, X., Li, L., Aghdam, M. S., Wei, X., Liu, J., & Luo, Z. (2019). Elevated CO₂ delayed the chlorophyll degradation and anthocyanin accumulation in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry*, 285, 163–170.
- Li, S., Chen, J., Liu, Y., Zheng, Q., Tan, W., Feng, X., & Hu, W. (2023). Application of cinnamaldehyde solid lipid nanoparticles in strawberry preservation. *Horticulturae*, 9(5), 607.
- Lima, R. P., de Sousa, A. S. B., Abeli, P., Beaudry, R. M., & de Melo Silva, S. (2022). Setting a safe target internal atmosphere for starch-based coated fruits and vegetables. *Food Control*, 142, 109270.
- Lin, G., Li, X., & Zhao, C. (2022). Preparation and application of in-situ loaded silver nanoparticles antibacterial fresh-keeping composite paper. *Polymers*, 14(18), 3798.

- Luo, P., Li, F., Liu, H., Yang, X., & Duan, Z. (2020). Effect of fucoidan-based edible coating on antioxidant degradation kinetics in strawberry fruit during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4), e14381.
- Lü, P., Cao, J., He, S., Liu, J., Li, H., Cheng, G., & Joyce, D. C. (2010). Nano-silver pulse treatments improve water relations of cut rose cv. Movie Star flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 196–202.
- Madbouly, A. K. (2021). The efficacy of green synthesized nanosilver in reducing the incidence of postharvest apple fruit brown rot. *Journal of Fungi*, 7, 473. <https://doi.org/10.3390/jof7060473>
- Mahmoudi, R., Razavi, F., Rabiei, V., Gohari, G., & Palou, L. (2022). Application of glycine betaine coated chitosan nanoparticles alleviate chilling injury and maintain quality of plum (*Prunus domestica* L.) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 207, 965–977.
- Malandrakis, A.A., Kavroulakis, N., & Chrysikopoulos, C.V., (2019). Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. *Sci. Total Environ.* 670, 292–299.
- Mandava, K., Kadimcharla, K., Keesara, N. R., Fatima, S. N., Bommena, P., & Batchu, U. R. (2017). Green synthesis of stable copper nanoparticles and synergistic activity with antibiotics. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 79(5), 695–700.
- Manne, A. A., & Mangamuri, U. (2020). *Pterocarpus marsupium* Roxb. heartwood extract synthesized chitosan nanoparticles and its biomedical applications. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18, 19.
- Mao, M., Wang, J., Hu, S., Zou, M., Meng, Y., Bao, W., & Peng, C. (2025). Lipopeptide of *Bacillus velezensis* incorporated with silver nanoparticles into a functional coating for sweet cherry preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 49, 101537.
- Martínez-González, M. D. C., Bautista-Baños, S., Correa-Pacheco, Z. N., Corona-Rangel, M. L., Ventura-Aguilar, R. I., Del Río-García, J. C., & Ramos-García, M. D. L. (2020). Effect of nanostructured chitosan/propolis coatings on the quality and antioxidant capacity of strawberries during storage. *Coatings*, 10(2), 90.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255.
- Meena, M., Pilania, S., Pal, A., Mandhanja, S., Bhushan, B., Kumar, S., & Saharan, V. (2020a). Cu-chitosan nano-net improves keeping quality of tomato by modulating physio-biochemical responses. *Scientific Reports*, 10(1), 21914.

- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M. P., Yadav, G. S., Jhariya, M. K., Jangir, C. K., Pathan, S. I., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. D. (2020b). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land*, 9(34), 1–22. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Mei, J., Li, X., You, Y., Fan, X., Sun, C., Guo, F., & Zhang, J. (2024). Methyl salicylate affects fruit quality and aroma compounds of cherry during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 333, 113291.
- Meier, S., Moore, F., Morales, A., González, M. E., Seguel, A., Meriño-Gergichevich, C., & Mejías, J. (2020). Synthesis of calcium borate nanoparticles and its use as a potential foliar fertilizer in lettuce (*Lactuca sativa*) and zucchini (*Cucurbita pepo*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 673–680.
- Melo, N. F. C. B., Lima, M. A. B., Stamford, T. L. M., Galembeck, A., Flores, M. A. P., Takaki, G. M. C., Medeiros, J. A. C., Arnaud, T. M. S., & Stamford, T. C. M. (2020). In vivo and in vitro antifungal effect of fungal chitosan nanocomposite edible coating against strawberry phytopathogenic fungi. *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 3381–3391.
- Menaka, M., & Lekshmi, P. G. (2022). Physiological, physical and biochemical changes associated with ripening and shelf life extension of Red Lady papaya as influenced by postharvest treatments. *Journal of Tropical Agriculture*, 60(1).
- Moghaddasi, S., Fotovat, A., Khoshgoftarmanesh, A. H., Karimzadeh, F., Khazaei, H. R., & Khorassani, R. (2017). Bioavailability of coated and uncoated ZnO nanoparticles to cucumber in soil with or without organic matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 543–551.
- Mohebbi, S., Babalar, M., Zamani, Z., & Askari, M. A. (2020). Influence of early season boron spraying and postharvest calcium dip treatment on cell-wall degrading enzymes and fruit firmness in ‘Starking Delicious’ apple during storage. *Scientia Horticulturae*, 259, 108822.
- Mott, D., Galkowski, J., Wang, L., Luo, J., & Zhong, C. J. (2007). Synthesis of size-controlled and shaped copper nanoparticles. *Langmuir*, 23(10), 5740–5745.
- Muthuchamy, M., Muneeswaran, T., Rajivgandhi, G., Franck, Q., Muthusamy, A., & Ji-Ming, S. (2020). Biologically synthesized copper and zinc oxide nanoparticles for important biomolecules detection and antimicrobial applications. *Materials Today Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100766>
- Namlı, M., Adıgüzel, P., & Solmaz, İ. (2022). Effects of different root weights and boron fertilization on plant and silique characteristics, seed yield, germination and emergence in radish (*Raphanus sativus* L.). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(7), 1286–1292.

- Narayanan, K. B., & Sakthivel, N. (2010). Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 156, 1–13.
- Nayak, N., Topno, S. E., & Joseph, A. V. (2025). Influence of nano zinc and nano boron on growth and development of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) under Prayagraj agro-climatic conditions. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 9(8S), 720–725.
- Nguyen, T. T., Nguyen, T. T., Pham, B. T., Van Tran, T., Bach, L. G., Thi, P. Q., et al. (2021). Development of poly(vinyl alcohol)/agar/maltodextrin coating containing silver nanoparticles for banana (*Musa acuminata*) preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100740.
- Ocalan, O. N., Dincer, E., Cezik, F., Isbilir, M. E., & Saracoglu, O. (2022). Effect of *Aloe vera* and salicylic acid treatments on the postharvest shelf life quality of strawberries. *Levantine Journal of Applied Sciences*. <http://dx.doi.org/10.56917/ljoas.11>
- Oh, J.-W., Chun, S.-C., & Chandrasekaran, M. (2019). Preparation and in vitro characterization of chitosan nanoparticles and their broad-spectrum antifungal action compared to antibacterial activities against phytopathogens of tomato. *Agronomy*, 9, 21.
- Ouda, S. M. (2014). Antifungal activity of silver and copper nanoparticles on two plant pathogens, *Alternaria alternata* and *Botrytis cinerea*. *Research Journal of Microbiology*, 9, 34–42. <https://doi.org/10.3923/jm.2014.34.42>
- Orman, E., Yavic, A., Gundogdu, M., Aglar, E., Celik, K., & Kan, T. (2024). Polyamines in cold storage: Impact of postharvest spermidine on strawberry quality. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(11), 9618–9630.
- Ozgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Miller, A. R., & Scheerens, J. C. (2006). Modified 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1151–1157. <https://doi.org/10.1021/jf051960d>
- Ozturk, B., Aglar, E., Saracoglu, O., Karakaya, O., & Gun, S. (2022). Effects of GA₃, CaCl₂ and modified atmosphere packaging (MAP) applications on fruit quality of sweet cherry at cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 696–710.
- Ozturk, B., Karakaya, O., Yıldız, K., & Saracoglu, O. (2019). Effects of *Aloe vera* gel and MAP on bioactive compounds and quality attributes of cherry laurel fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 249, 31–37.

- Ozturk, B., Yılmaz, M., & Guler, S. K. (2024). Preharvest biofilm coating treatments affect the storage quality of sweet cherry fruit by maintaining bioactive components. *International Journal of Fruit Science*, 24(1), 301–313.
- Ozturk, B., Karakaya, O., Aglar, E., Hancı, M. U., Ozturk, A., & Asghari, M. (2025). Impacts of methyl jasmonate treatments on quality properties and bioactive compounds of jujube fruit (*Ziziphus jujuba*) during cold storage. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1064.
- Özdemir, A. B. E., & Doğru, N. H. (2022, August). Beyaz çay yapraklarından yeşil sentez ile elde edilen gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi. In *The 14th International Scientific Research Congress* (p. 148).
- Özkaya, O., Şener, A., Sarıdaş, M. A., Ünal, Ü., Valizadeh, A., & Dündar, Ö. (2015). Influence of fast cold chain and modified atmosphere packaging storage on postharvest quality of early season-harvested sweet cherries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2119–2128.
- Öztürk, B., Küçüker, E., Saraçoğlu, O., Yıldız, K., & Özkan, Y. (2013). ‘0900 Ziraat’ kiraz çeşidinin meyve kalitesi ve biyokimyasal içeriği üzerine büyümeyi düzenleyici maddelerin etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(3), 82–89.
- Palza, H. (2015). Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 2099–2116.
- Parada, J., Tortella, G., Seabra, A. B., Fincheira, P., & Rubilar, O. (2024). Potential antifungal effect of copper oxide nanoparticles combined with fungicides against *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*. *Antibiotics*, 13, 215. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13030215>
- Paramparambath, S., Shafath, S., Maurya, M. R., Cabibihan, J. J., Al-Ali, A., Malik, R. A., & Sadasivuni, K. K. (2021). Nonenzymatic electrochemical sensor based on CuO–MgO composite for dopamine detection. *IEEE Sensors Journal*, 21(22), 25597–25605.
- Patil, V., Baswal, A. K., Gupta, A., Mahajan, B. V. C., Ozturk, B., & Gill, K. S. (2025). Impact of postharvest application of hydroxypropyl methylcellulose and methyl cellulose based edible coatings on storage life and quality of cold-stored strawberry fruit cv. ‘Winter Dawn’. *Applied Fruit Science*, 67(3), 110.
- Pee, J. H., Lee, D. W., Kim, U., & Choi, E. S. (2007, Ocak). Hydrothermal synthesis of rod-like copper oxide crystals. In *Materials Science Forum* (Vol. 534, pp. 77–80). Trans Tech Publications Ltd.
- Petriccione, M., De Sanctis, F., Pasquariello, M. S., Mastrobuoni, F., Rega, P., Scortichini, M., & Mencarelli, F. (2015). The effect of chitosan coating on the

- quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 394–408.
- Polash, M. A. S., Sakil, M., Sazia, S., & Hossain, M. (2022). Management strategies for reducing post-harvest deterioration of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). In *Sugar beet cultivation, management and processing* (pp. 823–835). Springer, Singapore.
- Pott, D. M., de Lima, F. D. A., Soria, C., Willmitzer, L., Fernie, A. R., Nikoloski, Z., & Vallarino, J. G. (2020). Metabolic reconfiguration of strawberry physiology in response to postharvest practices. *Food Chemistry*, 321, 126747.
- Priyadarshi, R., Riahi, Z., & Rhim, J. W. (2022). Antioxidant pectin/pullulan edible coating incorporated with *Vitis vinifera* grape seed extract for extending the shelf life of peanuts. *Postharvest Biology and Technology*, 183, 111740.
- Qiu, R., Cha, H. G., Noh, H. B., Shim, Y. B., Zhang, X. L., Qiao, R., & Kang, Y. S. (2009). Preparation of dendritic copper nanostructures and their characterization for electroreduction. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(36), 15891–15896.
- Raffi, M., Mehrwan, S., Bhatti, T. M., Akhter, J. I., Hameed, A., Yawar, W., et al. (2010). Investigations into the antibacterial behavior of copper nanoparticles against *Escherichia coli*. *Annals of Microbiology*, 60(1), 75–80.
- Rai, S., Dutta, P., & Mehrotra, G. (2017). Lignin incorporated antimicrobial chitosan film for food packaging application. *Journal of Polymer Materials*, 34, 171.
- Rana, R. A., Siddiqui, M. N., Skalicky, M., Brestic, M., Hossain, A., Kayesh, E., & Islam, T. (2021). Prospects of nanotechnology in improving the productivity and quality of horticultural crops. *Horticulturae*, 7(10), 332.
- Ranjith, F. H., Adhikari, B., Muhiaddin, B. J., Yusof, N. L., Mohammed, N. K., Ariffin, S. H., & Hussin, A. S. M. (2022). Peptide-based edible coatings to control postharvest fungal spoilage of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Food Control*, 135, 108789.
- Rasouli, M., Koushesh Saba, M., & Farina, V. (2025). Quality changes and postharvest losses of strawberry fruit packed in nano-embedded biodegradable polyethylene films. *Scientific Reports*, 15(1), 23541.
- Rivera-Pastrana, D. M., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2010). Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(14), 2358–2365.
- Ruan, C. Q., Kang, X., & Zeng, K. (2022). Preparation of water-soluble dialdehyde cellulose enhanced chitosan coating and its application on the preservation of

- mandarin fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 203, 184–194.
- Saharan, V., Mehrotra, A., Khatik, R., Rawal, P., Sharma, S. S., & Pal, A. (2013). Synthesis of chitosan-based nanoparticles and their in vitro evaluation against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 677–683.
- Saharan, V., Sharma, G., Yadav, M., Choudhary, M. K., Sharma, S. S., Pal, A., Raliya, R., & Biswas, P. (2015). Synthesis and in vitro antifungal efficacy of Cu-chitosan nanoparticles against pathogenic fungi of tomato. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 346–353.
- Saifuddin, N., Wong, C. W., & Yasumira, A. A. (2008). Rapid biosynthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of bacteria with microwave irradiation. *E-Journal of Chemistry*, 6(1), 61–70.
- Sajna, M. S., Cabibihan, J. J., Malik, R. A., Sadasivuni, K. K., Geetha, M., Alahmad, J. K., & Alsaedi, F. (2023). Nonenzymatic electrochemical lactic acid sensor using CuO nanocomposite. *Materials Science and Engineering: B*, 288, 116217.
- Salles, V., Bernard, S., Brioude, A., Cornu, D., & Miele, P. (2010). A new class of boron nitride fibers with tunable properties by combining an electrospinning process and the polymer-derived ceramics route. *Nanoscale*, 2, 215–217.
- Salles, V., Bernard, S., Li, J., Brioude, A., Chehaidi, S., Foucaud, S., & Miele, P. (2009). Design of highly dense boron nitride by the combination of spray-pyrolysis of borazine and additive-free sintering of derived ultrafine powders. *Chemistry of Materials*, 21, 2920–2929.
- Salles, V., & Bernard, S. (2016). A review on the preparation of borazine-derived boron nitride nanoparticles and nanopolyhedrons by spray-pyrolysis and annealing process. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 6, 1.
- Sami, R., Khojah, E., Helal, M., Elhakem, A., Benajiba, N., Al-Mushhin, A. A. M., & Fouda, N. (2021). Effects of coating by chitosan, TiO₂ nanoparticles, and sodium tripolyphosphate as crosslinker on stored cucumber fruits. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 15(5), 598–605.
- Sani, A., Hassan, D., Chanihoon, G. Q., Melo Máximo, D. V., & Sánchez-Rodríguez, E. P. (2024). Green chemically synthesized iron oxide nanoparticles–chitosan coatings for enhancing strawberry shelf life. *Polymers*, 16(23), 3239.
- Savini, I., D'Alessio, S., Giartosio, A., Morpurgo, L., & Avigliano, L. (1990). Bakırın askorbat oksidazın denatüre edici ajanlara karşı kararlılığındaki rolü. *Avrupa Biyokimya Dergisi*, 190(3), 491–495.

- Sayyari, M., Esna-Ashari, M., & Tarighi, T. H. (2022). Impacts of salicylic acid, chitosan, and salicyloyl chitosan on quality preservation and microbial load reduction in strawberry fruits during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16710.
- Serrano, M., Castillo, S., Valero, D., Valverde, J. M., Guillén, F., & Martínez-Romero, D. (2017). Effect of *Aloe vera* gel treatment on bioactive compounds and antioxidant activity during storage of sweet cherry. In *VII International Cherry Symposium* (Vol. 1161, pp. 607–612).
- Serrano, M., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2009). Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(8), 3240–3246.
- Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 264–272.
- Shao, C., Wang, M., Li, X., Kong, Y., Li, A., Li, X., & Fan, X. (2025). Improving the storage quality of sweet cherry by natamycin nanoparticles/chitosan coating. *International Journal of Biological Macromolecules*, 289, 138795.
- Shahedi, Y., Zandi, M., & Bimakr, M. (2024). Effect of Balangu seed mucilage/gelatin coating containing dill essential oil and ZnO nanoparticles on sweet cherry quality during cold storage. *Heliyon*, 10(24).
- Shehata, S. A., Abdeldaym, E. A., Ali, M. R., Mohamed, R. M., Bob, R. I., & Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical quality of strawberries during cold storage. *Agronomy*, 10(10), 1466.
- Shen, Y., Borgatta, J., Ma, C., Elmer, W., Hamers, R. J., & White, J. C. (2020). Copper nanomaterial morphology and composition control foliar transfer through the cuticle and mediate resistance to root fungal disease in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(41), 11327–11338.
- Shi, C., Fang, D., Xia, S., Guo, Y., Wang, J., Lyu, L., & Li, W. (2024). Poly(lactic acid)/polycaprolactone nanofibrous packaging containing different functional agents for blackberry postharvest preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 134544.
- Singh, A. K. (2022). Flower extract-mediated green synthesis of bimetallic CuZn oxide nanoparticles and its antimicrobial efficacy in hydrocolloid films. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101034.

- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Smith, A. N., & do Nascimento Nunes, M. C. (2023). Physicochemical quality, polyphenol profiles, and postharvest performance of Florida Pearl® ‘FL 16.78-109’ white strawberries compared to the red cultivar ‘Florida Brilliance’. *Foods*, 12(17), 3143. <https://doi.org/10.3390/foods12173143>
- Shokri, S., Yeganegi, M., Alikord, M., & Rezagholizade-Shirvan, A. (2025). Bitki özlerinin kitosan bazlı bir kaplama ile işbirliği içinde kullanılmasıyla elmalarda patojenlerin neden olduğu hasat sonrası bozulma ve hastalıkların biyolojik kontrolü. *Gıda Kimyası: X*, 102849.
- Soylu, S., Kara, M., Soylu, E. M., Uysal, A., & Şener, K. (2022). *Geotrichum citri-aurantii*’nin sebep olduğu turuncgil ekşi çürüklük hastalığının biyolojik mücadelesinde endofit bakterilerin biyokontrol potansiyellerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 177–191.
- Spadaro, D., Garibaldi, A., & Martines, G. F. (2004). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on apple combining a biocontrol agent with hot water dipping and acibenzolar-S-methyl, baking soda, or ethanol application. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 141–151.
- Sudha, V., Murugadoss, G., & Thangamuthu, R. (2021). Structural and morphological tuning of Cu-based metal oxide nanoparticles by a facile chemical method and highly electrochemical sensing of sulphite. *Scientific Reports*, 11(1), 3413.
- Şen, F., Teksür, P. K., & Türk, B. (2016). Perakende modifiye atmosfer ambalajlarının kiraz meyvelerinin depo ve raf ömrüne etkilerinin araştırılması. *Meyve Bilimi*, 1, 100–104.
- Şen, S., & Kuzucu, F. C. (2016). ‘Regina’ kiraz çeşidinde hasat sonrası farklı UV-C dozlarının muhafaza süresi ve meyve kalitesi üzerine etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2), 109–116.
- Taha, I. M., Zaghloul, A., Nasr, A., Nagib, A., El Azab, I. H., Mersal, G. A., & Fahmy, A. (2022). Impact of starch coating embedded with silver nanoparticles on strawberry storage time. *Polymers*, 14(7), 1439.
- Tavakoli, S., Kharaziha, M., & Ahmadi, S. (2019). Green synthesis and morphology dependent antibacterial activity of copper oxide nanoparticles. *Journal of Nanostructures*, 9(1), 163–171.
- Thamilarasan, V., Sethuraman, V., Gopinath, K., Balalakshmi, C., Govindarajan, M., Mothana, R. A., Siddiqui, N. A., Khaled, J. M., & Benelli, G. (2018). Single step fabrication of chitosan nanocrystals using *Penaeus semisulcatus*: Potential as new

- insecticides, antimicrobials and plant growth promoters. *Journal of Cluster Science*, 29, 375–384.
- Thomas, J., Weston, N. E., & O'Connor, T. E. (1963). Turbostratic boron nitride: Thermal transformation to ordered-layer-lattice boron nitride. *Journal of the American Chemical Society*, 84, 4619–4622.
- Tokatlı, K., & Demirdöven, A. (2015). Kitosan ve kitosan bazlı yenilebilir film uygulamaları. *Akademik Gıda*, 13(4), 348–353.
- Tokatlı, K., & Demirdöven, A. (2020). Effects of chitosan edible film coatings on the physicochemical and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 259, 108656.
- Torçuk, A. İ., Bal, E., Gülcü, M., & Seçkin, G. U. (2016). Etanol buharı uygulamasının kiraz muhafazası üzerine etkilerinin araştırılması. *Meyve Bilimi*, 1, 85–93.
- Toutois, P., Miele, P., Jacques, S., Cornu, D., & Bernard, S. (2006). Structural and mechanical behavior of boron nitride fibers derived from poly[(methylamino)borazine] precursors: Optimization of curing and pyrolysis procedures. *Journal of the American Ceramic Society*, 89, 42–49.
- Townsend, G. R., & Heuberger, J. W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments.
- Trujillo-Reyes, J., Majumdar, S., Botez, C. E., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2014). Exposure studies of core-shell Fe/Fe₃O₄ and Cu/CuO nanoparticles to lettuce (*Lactuca sativa*) plants: Are they a potential physiological and nutritional hazard? *Journal of Hazardous Materials*, 267, 255–263.
- Vaezifar, S., Razavi, S., Golozar, M. A., Karbasi, S., Morshed, M., & Kamali, M. (2013). Effects of some parameters on particle size distribution of chitosan nanoparticles prepared by ionic gelation method. *Journal of Cluster Science*, 24, 891–903.
- Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2013). Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 1–6.
- Vishwakarma, V., Samal, S. S., & Manoharan, N. (2010). Safety and risk associated with nanoparticles – A review. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 9(5), 455.
- Wang, J., Gu, Y., Li, Z., Wang, W., & Fu, Z. (2013). Synthesis of nano-sized amorphous boron powders through active dilution self-propagating high-temperature synthesis method. *Materials Research Bulletin*, 48(6), 2018–2022.

- Wei, Y., Chen, S., Kowalczyk, B., Huda, S., Gray, T. P., & Grzybowski, B. A. (2010). Synthesis of stable, low dispersity copper nanoparticles and nanorods and their antifungal and catalytic properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(37), 15612–15616.
- Xie, Y., He, Y., Irwin, P. L., Jin, T., & Shi, X. (2011). Antibacterial activity and mode of action of ZnO. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 2325–2331.
- Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., & Tang, Y. (2011). Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 124(4), 1443–1450.
- Xu, J. L., Gao, H., Zhang, H. B., Yao, S. F., Wang, D., & Shang, S. B. (2020). Application of waterborne rosin polymer coating for preserving strawberry during storage. *Journal of Food Safety*, 40(3), e12791.
- Xu, X., Hao, Y., Cai, Z., Cao, Y., Jia, W., Zhao, J., & Ma, C. (2025). Nanoscale-boron nitride positively alters rhizosphere microbial communities and subsequent cucumber (*Cucumis sativa*) growth: A metagenomic analysis. *Science of The Total Environment*, 958, 178115.
- Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29–38.
- Yan, T., Hu, C., Que, Y., Song, Y., Lu, D., Gu, J., & He, J. (2023). Chitosan coating enriched with biosynthetic CuO NPs: Effects on postharvest decay and quality of mango fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126668.
- Yan, T., Ren, Y., Zhang, R., Li, K., Yang, B., Tong, M., & He, J. (2025). Biodegradable chitosan-based films decorated with biosynthetic copper oxide nanoparticle for post-harvest tomato preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 295, 139595.
- Yang, F. M., Li, H. M., Li, F., Xin, Z. H., Zhao, L. Y., Zheng, Y. H., & Hu, Q. H. (2010). Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv. Fengxiang) during storage at 4 °C. *Journal of Food Science*, 75(3), C236–C240.
- Yang, Y., Li, A., Guo, M., Kong, Y., Zhang, J., Wang, J., & Fan, X. (2024). Improving the storage quality and aroma quality of sweet cherry by postharvest 3-phenyllactic acid treatment. *Scientia Horticulturae*, 338, 113661.
- Youssef, K., Hashim, A. F., Margarita, R., Alghuthaymi, M. A., & Abd-Elsalam, K. A. (2017). Fungicidal efficacy of chemically-produced copper nanoparticles against *Penicillium digitatum* and *Fusarium solani* on citrus fruit. *Philippine Agricultural Scientist*, 100, 69–78.

- Zam, W. (2019). Effect of alginate and chitosan edible coating enriched with olive leaves extract on the shelf life of sweet cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Quality*, 2019(1), 8192964.
- Zhang, C., Gong, H., & Liu, Y. (2022). Effects of postharvest coating using chitosan combined with natamycin on physicochemical and microbial properties of sweet cherry during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 214, 1–9.
- Zhang, C., Li, W., Zhu, B., Chen, H., Chi, H., Li, L., & Xue, J. (2018). The quality evaluation of postharvest strawberries stored in nano-Ag packages at refrigeration temperature. *Polymers*, 10(8), 894.
- Zhang, C., Wang, Y., Wang, M., Kong, Y., Li, X., Song, D., & Gong, H. (2024). Improvement of antioxidant capacity, aroma quality, and antifungal ability of cherry by phenyllactic acid treatment during low temperature storage. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1529127.
- Zhang, D. Y., Yang, J. X., Liu, E. J., Hu, R. Z., Yao, X. H., Chen, T., & Fu, Y. J. (2022b). Soft and elastic silver nanoparticle–cellulose sponge as fresh-keeping packaging to protect strawberries from physical damage and microbial invasion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 211, 470–480.
- Zhang, T., Yun, Y., Chu, M., Bai, X., Sun, J., Zhang, Y., & Wang, L. (2022a). Coating of fruit with an edible soybean protein isolate film doped with hydroxypropyl methyl cellulose for improved preservation. *BioResources*, 17(2).
- Zhang, Y. L., Cui, Q. L., Wang, Y., Shi, F., Fan, H., Zhang, Y. Q., & Sun, Y. K. (2021). Effect of edible carboxymethyl chitosan–gelatin based coating on the quality and nutritional properties of different sweet cherry cultivars during postharvest storage. *Coatings*, 11(4), 396.
- Zhang, Z., Shi, Y., Ma, Y., Yang, X., Yin, X., Zhang, Y., & Chen, K. (2020). The strawberry transcription factor FaRAV1 positively regulates anthocyanin accumulation by activation of FaMYB10 and anthocyanin pathway genes. *Plant Biotechnology Journal*, 18(11), 2267–2279.
- Zhao, H., Liu, B., Zhang, W., Cao, J., & Jiang, W. (2019). Enhancement of quality and antioxidant metabolism of sweet cherry fruit by near-freezing temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 113–122.
- Zuverza-Mena, N., Armendariz, R., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2016). Effects of silver nanoparticles on radish sprouts: Root growth reduction and modifications in the nutritional value. *Frontiers in Plant Science*, 7, 90.

7.ÖZGEÇMİŞ

