

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI



GÖĞ (GÖK) ÜZÜM ÇEŞİDİNİN HASAT SONRASI
MUHAFAZASINDA BAKIR NANOPARTİKÜL (CUNP),
PUTRESİN VE BUNLARIN KOMBİNE UYGULAMALARININ
ETKİLERİ

BAHÇE BİTKİLERİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMMED S M SAMARA

TEZ DANIŞMANI:
Doç. Dr. Emrah GÜLER

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü.

BOLU, OCAK 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

MOHAMMED S M SAMARA tarafından hazırlanan “**GÖĞ (GÖK) ÜZÜM ÇEŞİDİNİN HASAT SONRASI MUHAFAZASINDA BAKIR NANOPARTİKÜL (CUNP), PUTRESİN VE BUNLARIN KOMBİNE UYGULAMALARININ ETKİLERİ**“ adlı tez çalışması jürimiz tarafından Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı Bahçe Bitkileri Programında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 2/01/2025

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Emrah GÜLER
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Umut ATEŞ
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....

MOHAMMED S M SAMARA

ÖZET

**GÖĞ (GÖK) ÜZÜM ÇEŞİDİNİN HASAT SONRASI MUHAFAZASINDA
BAKIR NANOPARTİKÜL (CUNP), PUTRESİN VE BUNLARIN
KOMBİNE UYGULAMALARININ ETKİLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOHAMMED S M SAMARA
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI
BAHÇE BİTKİLERİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. EMRAH GÜLER)
BOLU, ŞUBAT - 2024
XII + 69 sayfa**

Üzümlerin hasat sonrası kısa raf ömrü ve kalite kayıpları önemli bir sorundur. Bu çalışmada, Gök üzümünün hasat sonrası muhafazasında bakır nanopartiküller (CuNP), putresin (PUT) ve bunların kombinasyonlarının etkileri incelenmiştir. 30 ppm CuNP, 0,5 mM PUT ve kombinasyonlarının üzümün kalite, biyokimyasal ve enzimatik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, PUT ve kombine uygulamaların, üzümün suda çözünebilir kuru madde ve titre edilebilir asit miktarını iyileştirdiğini, ancak yalnızca CuNP'nin etkili olmadığını göstermiştir. Ayrıca, toplam antosiyanin dışındaki biyokimyasal içerikler, tüm uygulamalarla artmış; protein, fenolik ve flavonoid miktarı kontrolden düşük bulunmuştur. Antioksidan aktivitelerde CuNP+PUT uygulaması, özellikle CUPRAC ve FRAP testlerinde kontrol grubuna göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Enzim aktivitelerinde ise, antioksidan enzimler CAT ve SOD, CuNP+PUT kombinasyonu ile artmıştır. Sonuç olarak, PUT'nin yalnız kullanımı etkin olsa da, CuNP ile birleştiğinde antioksidan sistemi daha fazla aktive ettiği ve kombine uygulamanın üzümlerin muhafazası için umut verici bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Antioksidanlar, enzim aktivitesi, muhafaza, biyokimyasallar

ABSTRACT

EFFECTS OF COPPER NANOPARTICLE (CUNP), PUTRESCINE AND THEIR COMBINED APPLICATIONS ON POSTHARVEST STORAGE OF GÖĞ (GÖK) GRAPE VARIETY

MSC THESIS

MOHAMMED ŞAKİR SAMARA

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF HORTICULTURE

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. EMRAH GÜLER)

BOLU, FEBRUARY 2024

XII + 69 pages

Short postharvest shelf life and quality losses of grapes are important problems. In this study, the effects of copper nanoparticles (CuNP), putrescine (PUT) and their combinations on postharvest storage of Gok grape were investigated. The effects of 30 ppm CuNP, 0.5 mM PUT and their combinations on the quality, biochemical and enzymatic properties of grapes were evaluated. The results showed that PUT and combined applications improved the amount of water soluble solids and titratable acidity of grapes, but CuNP alone was not effective. In addition, biochemical contents except total anthocyanin increased with all applications; protein, phenolic and flavonoid amounts were found to be lower than the control. In antioxidant activities, CuNP+PUT application gave higher results than the control group, especially in CUPRAC and FRAP tests. In enzyme activities, antioxidant enzymes CAT and SOD increased with the CuNP+PUT combination. As a result, it was shown that although PUT was effective alone, it activated the antioxidant system more when combined with CuNP and the combined application was a promising method for the preservation of grapes.

KEYWORDS: Antioxidants, enzyme activity, preservation, biochemicals

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLO LİSTESİ	viii
FOTOĞRAF LİSTESİ	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	x
TEŞEKKÜR	xii
1.GİRİŞ	1
1.1 Putresin Nedir	5
1.2 Putresinin tarımda kullanımı:	6
1.3 Nanobakır Nedir	7
1.4 Nanobakırın tarımda kullanımı	8
1.5 Kombine Uygulamalar.....	11
1.6 Önceki Çalışmalar	12
2. MATERYAL ve YÖNTEM	23
2.1 Bitki Materyalleri ve Özellikleri.....	23
2.2 Meyve Materyalinin Uygulamaya Hazırlanması.....	24
2.3 Ağırlık kaybı.....	25
2.4 Kalite Analizleri.....	25
2.4.1 Meyve kabuk rengi	25
2.4.2 Meyve suyu pH'sı.....	25
2.4.3 Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM)	26
2.4.4 Titre edilebilir asit miktarı	26
2.5 Biyokimyasal analizler	27
2.5.1 Toplam antosiyanin miktarı tayini.....	28
2.5.2 FRAP analizi	28
2.5.3 DPPH analizi	29
2.5.4 CUPRAC analizi	30
2.5.5 ABTS+ indirgenme analizi	31
2.5.6 Toplam çözünebilir karbonhidrat analizi.....	31
2.5.7 Toplam çözünebilir protein tayini	32
2.5.8 Toplam fenolik madde tayini.....	32
2.5.9 Toplam flavonoid miktarı tayini.....	32

2.5.10	Enzim analizleri	33
2.5.11	MDA analizi.....	33
2.5.12	H ₂ O ₂ analizi.....	33
2.5.13	SOD analizi	34
2.5.14	APX analizi	34
2.5.15	CAT analizi	35
2.6	Deneme deseni ve istatistiki değerlendirmeler	35
3.	BULGULAR	36
3.1	pH	36
3.2	Suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM).....	36
3.3	Titre edilebilir asit miktarı (TA).....	36
3.4	Ağırlık kaybı.....	37
3.5	a* değeri.....	38
3.6	Hue değeri.....	39
3.7	Chroma değeri	39
3.8	L* değeri.....	40
3.9	b* değeri	40
3.10	Antosiyanin içeriği.....	41
3.11	CEAC değeri.....	42
3.12	CUPRAC aktivitesi.....	42
3.13	DPPH aktivitesi.....	43
3.14	FRAP değeri	43
3.15	Karbonhidrat içeriği.....	44
3.16	Protein.....	45
3.17	Toplam fenolik madde içeriği.....	45
3.18	Toplam flavonoid içeriği	45
3.19	CAT	46
3.20	H ₂ O ₂ aktivitesi.....	47
3.21	MDA	47
3.22	SOD	47
4.	TARTIŞMA	49
5.	SONUÇ ve ÖNERLER	62
KAYNAKLAR		63

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Uygulamalara ve depo zamanlarına göre bazı kalite parametrelerinin değişimi	38
Tablo 3.2. Renk değerlerinin uygulama ve depo süresine göre değişimleri.	41
Tablo 3.3 Toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitelerdeki değişimler.	44
Tablo 3.4 Toplam karbonhidrat, protein, fenolik ve flavonoid içeriğinin uygulama ve depo süresine göre değişimleri.	46
Tablo 3.5 Farklı uygulamalar ve depo sürelerinin, gök üzüm çeşidinin enzimatik aktivite ve oksidatif stres parametreleri üzerindeki etkileri.	48

FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 2.1 Hasat edilmiş Gök üzüm.	23
Fotoğraf 2.2 Uygulamadan sonra kurutulmaya alınmış salkımlar.	24
Fotoğraf 2.3 Kurutma sonrası etiketlenerek soğuk odaya götürülen örnekler.	25
Fotoğraf 2.4 SÇKM tayini	26
Fotoğraf 2.5 Titrasyon işleminin yapılışı	27
Fotoğraf 2.6 Biyokimyasal içeriklerin analizi için metanole numunenin alınması (a), örneklerin homojenize edilmesi (b), santrifüjlenmesi (c) ve analize hazır numuneler (d)	28
Fotoğraf 2.7 İki milimolar Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlanmış FRAP standartları	29
Fotoğraf 2.8 DPPH standartları. 2 mM Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlandı.	30
Fotoğraf 2.9 İki mM Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlanmış CUPRAC standartları	31

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

ABTS : 2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik Asit)
ACC : 1-Aminosiklopropan-1-Karboksilik Asit
ACO : 1-Aminosiklopropan-1-Karboksilik Asit Oksidaz
ACS : Depolama Süresince Antioksidan Aktivite
APX : Askorbat Peroksidaz
APX : Approximation
AVG : Aloe Vera Jeli
BSA : Bovine Serum Albumin
CAT : Katalaz
CuSO₄ : Bakır Sülfat
CUPRAC : Cupric İyon İndirgeme Antioksidan Kapasitesi
DPPH : Toplam Antioksidan Tespiti
EDTA : Etilendiamintetraasetik Asit
EK : Ekstraksiyon Kimyası
FDA : Gıda ve İlaç İdaresi
F.W : Formül Ağırlığı (Formula Weight)
IMZ : İnce Moleküler Zon
KI : Potasyum İyodür
MDA : Malondialdehit
MS : Mikro Sülfür
MSI : Moleküler Simülasyon İndirgemesi
MW : Molekül Ağırlığı (Molecular Weight)
NBT : Nitroblue Tetrazolyum
NS : Nöral Sinyal
PME : Paralel Moleküler Enerji
POX : Peroksidaz
PPM : Milyonda Bir Parça
PPE : Kişisel Koruyucu Ekipman
PUT : Putresin
PVP : Polivinilpirolidon
QE : Kuantum Verimliliği
RFW : Radyo Frekanslı Dalga
RWC : Redoks Su Çözeltisi
SA : Salisilik Asit
SÇKM : Suda Çözünür Kuru Madde
SEM : Tarama Elektron Mikroskobu
SO₂ : Kükürt Dioksit
SSC : Solid-Solution Chemistry
SSC : Toplam Çözünebilir Katı Madde
STS : Gümüş Tiyosülfid
SOD : Süperoksit Dismutaz

TAA : Toplam Antioksidan Aktivite
TBA : Tiobarbitürik Asit
TCA : Toplam Antosiyanin İçeriği
TCA : Trikarboksilik Asit
TEA : Titre Edilebilir Asitlik
TPC : Toplam Fenol İçeriği
TP : Toplam Fenol
TPTZ : 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazin
TSS : Toplam Çözünür Katı
XRD : X-Işını Difraksiyonu
°C : Santigrat Derece
CuNP : Bakır nano partiükülü
TA : Titrasyon asitliği
% : Yüzde
ml : Mililitre
mg : Miligram
UV : Ultraviyole
FRAP : Ferric reducing antioxidant power
mM : Milimolar

TEŞEKKÜR

Hamd, âlemlerin Rabbi olan Allah’a mahsustur. Salât ve selam, yaratılmışların en şerefli ve peygamberlerin efendisi olan Hz. Muhammed’e olsun. Başarı, yalnızca Allah’tandır; O’na tevekkül eder ve O’na yöneliriz. Cenâb-ı Hakk’ın yardımını ve lütfuyla yüksek lisans eğitimimi başarıyla tamamlayarak bu aşamaya geldim. Bu süreçte geceli gündüzlü çalışarak büyük bir emek ve çaba sarf ettim.

Bu vesileyle, bana destek olan, yanımda duran ve bu başarıda emeği geçen tüm aileme, arkadaşlarıma ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim. Özellikle Ahmed Mansur ve Muhammed Arslan’a verdikleri destek ve katkılar için minnettarım. Ayrıca Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ziraat Fakültesi akademik kadrosuna, özellikle tez danışmanım Doç. Dr. Emrah Güler’e değerli rehberliği ve katkıları için içten teşekkürlerimi sunarım. Üniversite yönetimine de laboratuvarlar ve gerekli malzemelerin temini konusundaki destekleri için şükranlarımı sunuyorum. Türkiye’ye gelmekten ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi’nde eğitim almaktan büyük mutluluk duyuyorum.

En içten dileklerle ve saygılarımla.

.

1.GİRİŞ

Üzüm, *Vitis* cinsine ait bir meyve türüdür ve dünya genelinde yaygın olarak tüketilmektedir. Hem taze meyve olarak hem de kurutulmuş formda (kuru üzüm) sıklıkla tercih edilir. Üzüm, genellikle sıcak ve ılıman iklimlerde yetişir ve bu nedenle Akdeniz, Orta Doğu ve Amerika'nın bazı bölgelerinde geniş bir tarım alanına sahiptir. Üzümler, yeşil, kırmızı, siyah ve bunların farklı tonları olmak üzere pek çok renge sahiptir. Ayrıca, üzüm suyu, şarap ve pekmez gibi birçok farklı ürüne dönüştürülerek, gıda sektöründe önemli bir yer tutar (Jones vd. 2005; He vd. 2010).

Besin değeri açısından zengin olan üzüm, C vitamini, K vitamini ve B vitaminleri gibi önemli besin öğeleri içerirken, flavonoidler bakımından da zengindir. Bu bileşikler, kalp sağlığını destekler ve vücutta iltihaplanmayı azaltma özelliğine sahiptir. Yüksek su içeriği sayesinde nemlendirici bir etki sunan üzüm, ayrıca sindirim sistemi sağlığını destekleyen lif açısından da faydalıdır. Bu özellikler, üzümü sadece lezzetli bir atıştırmalık değil, aynı zamanda sağlıklı bir besin seçeneği haline getirmektedir. Hasat sonrası süreçte, üzüm çeşitlerinin kalitesini korumak için farklı teknikler uygulanabilir. Asidik ve alkali ortamlardan kaçınmak, küf ve mantar gelişimini engellemek açısından etkili olabilir. Bazı üzüm çeşitleri için soğuk su ile yıkama ya da ozonlama gibi dezenfeksiyon yöntemleri de kullanılabilir. Ayrıca, üzümlerin uygun ambalajlanması da muhafaza sürecinde önemli bir rol oynar; uygun ambalaj malzemeleri kullanılarak fiziksel hasar, nem kaybı ve kontaminasyon riskleri azaltılabilir. Bu önlemler, hasat sonrası dönemde üzüm kalitesinin ve ticari değerinin korunmasına katkı sağlamaktadır (Butkhup vd. 2010; Safiei vd. 2017).

Gök üzümü, Türkiye'nin Ege ve Akdeniz bölgelerinde yetişen özgün bir üzüm çeşididir ve kendine has özellikleri ile dikkat çekmektedir. Genellikle yuvarlak ve küçük taneciklere sahip olan bu üzüm, koyu mor veya siyah renkte olup ince bir kabuğa sahiptir. Sıcak iklimde yetişmesi ve bol güneş ışığı alması, tat ve aroma açısından zenginleşmesine katkıda bulunur. Hasat dönemi genellikle yaz sonlarına doğru gerçekleşir ve bu dönemde üzümlerin olgunluk seviyesinin dikkatlice kontrol edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Olgunlaşma süreci, meyvenin şeker içeriğinin artmasına ve asidite seviyesinin dengelenmesine yardımcı olur. Gök üzümünün hasat sonrası muhafazası, uygun depolama koşullarında yapılmalı

ve düşük sıcaklık ile yüksek nem oranı sağlanmalıdır. Hava akışının sağlanması da tazelik açısından büyük önem taşımaktadır (Vian vd. 2006; Poudel vd. 2009).

Özellikle şarap yapımında tercih edilen Gök üzümü, aroması ve tadı ile şarap üreticileri tarafından değerli bir çeşit olarak görülmektedir. Zengin besin öğeleri, antioksidanlar ve vitaminler bakımından dikkat çekici olan bu üzüm, kalp sağlığını destekleyici özellikleri ile de bilinmektedir. Taze olarak tüketildiğinde ferahlatıcı bir atıştırmalık olmasının yanı sıra, kuru formu ile de enerji veren sağlıklı bir gıda seçeneği sunmaktadır. Üzümün hasat sonrası yönetimi, tarım tedarik zincirinin kritik bir unsurdur çünkü doğrudan meyvenin kalitesini, raf ömrünü ve pazarlanabilirliğini etkiler. Özellikle *Vitis vinifera* türü üzüm, hasattan sonra çeşitli fizyolojik ve mikrobiyal bozulma süreçlerine duyarlıdır; bu durum, miktar ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir. Tarım bilimindeki son gelişmeler, üzümün hasat sonrası ömrünü uzatmaya yönelik yenilikçi yaklaşımlar sunmakta olup, bunların başında putresin ve CuNP'leri gibi biyoaktif bileşiklerin kullanımı gelmektedir (Eker 2015).

Üzüm (*Vitis vinifera*) ve putresin üzerine yapılan literatür taraması, bu iki konunun birbirleriyle olan ilişkisini ve bireysel önemini ortaya koymaktadır. Putresin, biyojenik aminler arasında yer alan ve bitkilerde çeşitli biyolojik işlevleri bulunan bir poliamin olarak tanımlanmaktadır. Bu iki konunun birlikte incelenmesi, özellikle üzüm yetiştiriciliği ve hasat sonrası süreçlerinde putresinin rolünü anlamak açısından büyük bir önem taşımaktadır (Adámez vd. 2012).

Putresinin bitki gelişimi, olgunlaşma ve kalite üzerindeki etkileri, üzüm üreticileri ve gıda güvenliği açısından dikkate alınması gereken unsurlardır. Üzüm ve putresin arasındaki ilişkiyi incelemek hem tarımsal uygulamaların optimize edilmesi hem de gıda güvenliğinin sağlanması adına kritik bir gereksinimdir. Putresin uygulamaları, üzüm bitkilerinde verimliliği artırmak için etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bu biyolojik bileşiğin bitki sağlığına sağladığı olumlu katkılar, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırmakta ve bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını güçlendirmektedir. Dolayısıyla, putresin uygulamalarının tarımda daha geniş bir şekilde benimsenmesi, bitki verimliliğini artırmak için önemli bir adım olabilir. Ancak, putresin ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus, gıda ürünlerinde yüksek seviyelerde bulunmasının belirli sağlık riskleri oluşturabilmesidir. Gıda güvenliği alanında potansiyel tehditler arasında yer alan putresin, tüketici sağlığını korumak amacıyla

dikkatle izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Bu bağlamda, putresin seviyelerinin belirlenmesi ve yönetimi, tarımsal üretimden gıda tüketimine kadar geniş bir perspektife sahiptir (Adámez vd. 2012;Hurtado vd. 2023).

Putresin, olgunlaşma süreçlerini geciktirmede, etilen üretimini azaltmada ve depolama sırasında çeşitli meyvelerin genel kalitesini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Biyojenik bir amin olarak putresin, meyve yaşlanmasını geciktirip antioksidan aktivitesini artırarak üzüm kalitesini depolama sırasında iyileştirmektedir. Bu uygulama, meyve yumuşamasını engelleyip sertliğini koruyarak, tüketici kabulünü artıran özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, putresinin kitosan gibi diğer doğal koruyucularla sinerjik etkileri, üzüm kalitesinin uzun süreli depolama sırasında en iyi şekilde korunmasına yardımcı olmaktadır (Shiri vd. 2013 ; Mirdehghan vd.2016).

CuNP'ler, tarım ve hasat sonrası işlemlerdeki çok yönlü etkileri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bu CuNP'ler, bitki büyümesini teşvik etme, toprak sağlığını iyileştirme ve bitki patojenleriyle mücadele etme potansiyeline sahiptir. Bakır, bitkilerin fotosentez, solunum ve enzim aktiviteleri gibi çeşitli fizyolojik süreçleri için hayati bir mikro besin maddesi olarak önemli bir rol oynamaktadır. Son araştırmalar, CuNP'lerin mısır, buğday ve domates gibi bitkilerin büyümesini teşvik ettiğini ve besin alımını kolaylaştırarak metabolik aktiviteleri artırdığını göstermektedir (Francis vd. 2022) Biyojenik CuNP sentezi, bu CuNP'lerin kararlılığını ve etkinliğini artırarak sürdürülebilir tarım uygulamaları için cazip bir seçenek sunmaktadır (Ponmurugan vd.2016) CuNP'lerin bitki büyümesini teşvik edici etkilerinin yanı sıra, güçlü antimikrobiyal özellikleri de mevcuttur. Bu özellikler, bitki hastalıklarının ve hasat sonrası bozulmanın kontrol altına alınmasında kritik bir öneme sahiptir. CuNP'lerin antifungal aktivitesi, çay bitkileri ve diğer mahsulleri etkileyen çeşitli patojenlere karşı etkili sonuçlar vermiştir, böylece kimyasal fungisitlere olan bağımlılığı azaltmaktadır (Ponmurugan vd. 2016).*Fusarium oxysporum* gibi patojenik mantarların büyümesini engelleyebilme kapasiteleri, CuNP'leri çevre dostu bir pestisit alternatifi haline dönüştürmektedir (Al-Qaissi vd. 2023). Ayrıca, CuNP'lerin hasat sonrası işlemlerde kullanımı, mikrobiyal kontaminasyonu ve çürümeyi önleyerek tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatmaktadır (Rai vd. 2018a).

Ancak CuNP'lerin (Guler vd. 2021) kullanımı bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Aşırı CuNP konsantrasyonları, fitotoksisiteye yol açarak tohum

çimlenmesini ve bitki sağlığını olumsuz etkileyebilir (Akanbi-Gada vd. 2023) Bu nedenle, maksimum faydayı sağlamak ve olası olumsuz etkileri en aza indirmek için optimal uygulama oranlarının belirlenmesi önem arz etmektedir (Shafqat vd. 2023). Ayrıca, CuNP birikiminin toprak ve su ekosistemleri üzerindeki çevresel etkileri, uzun vadeli ekolojik zararların önlenmesi için dikkatlice izlenmeli ve kontrol edilmelidir (Navratilova vd. 2015). Nanoteknoloji, nanometre ölçeğindeki maddelerin benzersiz özelliklerini kontrol etme ve uygulama kabiliyeti gerektiren yenilikçi bir yaklaşımdır. Gıda zinciri boyunca, hasat sonrası hastalıklar insan tüketimi için gerekli olan gıdaların kalitesini, miktarını, raf ömrünü, tohum canlılığını ve besin değerini azaltmaktadır. Bu nedenle, bu kayıpları önlemenin yenilikçi ve sürdürülebilir bir yöntemi olarak nanoteknolojinin kullanımı, bilimsel ve tarımsal topluluklar tarafından ilgiyle takip edilmektedir. Çeşitli hasat sonrası patojenlere karşı antimikrobiyal aktivite gösteren birçok nanopartikül bulunmaktadır. Bu nanopartiküller, geleneksel pestisit formülasyonlarıyla birlikte kullanılarak depolama zararlılarının olumsuz etkilerini azaltacak etkili yöntemler geliştirilmesinde uygulanabilir. Gıda ürünleri, raf ömrünü uzatmak ve üstün niteliklere sahip olmak için nanomateriyallerle paketlenabilir veya kaplanabilir (Hoseinnejad vd. 2018; Mei ve Wang 2020).

Sonuç olarak, CuNP'leri, geleneksel fungusitlere alternatif olarak hasat sonrası işlemlerinde umut verici bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, bu nanoparçacıkların benzersiz antimikrobiyal özellikleri, üzümde gri küf hastalığına neden olan *Botrytis cinerea* gibi patojenlerin etkin bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımaktadır (Loyola-López vd. 2017). Üzümde bitki verimliliğini sağlamak için CuNP uygulamaları da son yıllarda tarımda önemli bir araştırma konusuna dönüşmüştür. CuNP'ler, bitkilerin büyümesini teşvik eden ve hastalıklara karşı dirençlerini artıran özelliklere sahiptir. Ayrıca, CuNP'lerin bitki kökleri tarafından hızlı bir şekilde emilmesi, bu nanopartiküllerin bitki içindeki besin maddelerinin taşınmasında etkili bir rol oynamasını sağlamaktadır (Cifuentes vd. 2010) Bu hızlı hareket, bitkilerin besin alımını artırarak genel verim, CuNP'ler, tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için umut vadeden bir çözüm sunmaktadır. Hem büyüme teşvik edici hem de antimikrobiyal ajanlar olarak çift yönlü işlevleri, onları modern tarımda değerli bir araç haline getirmektedir. Bununla birlikte, CuNP'lerin etkilerini tam olarak anlamak, güvenli uygulama protokolleri

oluşturmak ve uzun vadeli çevresel etkilerini değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Rizwan vd. 2017).

Putresin ve CuNP'ler birlikte kullanımı, üzümün hasat sonrası kalitesini artırmak için mikrobiyal ve fizyolojik bozulmayı ele alan kapsamlı bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu kombinasyon, bitki sağlığı ve patojen direnci üzerindeki sinerjik etkileri nedeniyle son yıllarda tarımsal uygulamalarda önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir. Küresel gıda güvenliğini sağlamak amacıyla karşılaşılan kayıpların azaltılmasında, nanoteknolojinin potansiyel hasat sonrası uygulamaları vurgulanmaktadır (Rienth vd. 2021).

CuNP'ler, güçlü antimikrobiyal özellikler taşıırken, putresin, hasat sonrası süreçte ürünlerin raf ömrünü uzatmada ve kalitesini korumada önemli bir rol oynamaktadır. Putresin, özellikle etilen üretimini azaltarak meyve olgunlaşmasını yavaşlatmakta ve hücre yapısını koruyarak ürünlerin fiziksel dayanıklılığını artırmaktadır. Bu durum, aynı zamanda sentetik fungusitlere olan bağımlılığı azaltarak daha çevre dostu bir alternatif sunmaktadır (Tanwar vd. 2023;Kumar vd. 2024).

Gelecek çalışmalarda, putresin ve CuNP'lerin gerçek tarımsal uygulamalardaki etkinliğini maksimize etmek için konsantrasyon ve uygulama yöntemlerinin optimize edilmesi gerektiği açıktır. Bu tez, ilgili araştırmaların ışığında, putresin ve CuNP'lerin kombineli uygulamalarının potansiyel faydalarını ve hasat sonrası süreçlerdeki etkilerini derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır.

1.1 Putresin Nedir

Putresin (kimyasal olarak 1,4-diaminobütan), biyolojik süreçlerde önemli bir rol oynayan biyojenik bir amindir. Spermidin ve spermin gibi poliamin ailesinin bir üyesidir ve özellikle bitkiler ile bakterilerde bulunur. Alifatik yapısı ve fizyolojik pH'ta pozitif yük taşıması nedeniyle, DNA, RNA ve proteinler gibi negatif yüklü makromoleküllerle etkileşime girer. Bu etkileşimler, gen ekspresyonu ve enzim aktivitesi gibi hücresel fonksiyonları düzenler.(Aktar vd. 2021).

Biyojenik aminler, gıdalarda bulunan serbest amino asitlerin dekarboksilasyonu sonucu oluşan bileşiklerdir ve putresin, bu gruptaki önemli bileşiklerden biridir (Doğu vd. 2015).

Putresin, bitkilerde hücre bölünmesi, farklılaşma ve abiyotik streslere (kuraklık, tuzluluk gibi) yanıt gibi önemli fizyolojik süreçlerde kritik bir büyüme düzenleyicisi olarak rol oynamaktadır.(Aktar vd. 2021 ;X.-J. Zhang vd. 2024).

Bitkiler çevresel stres altında putresin biriktirir. Putresin, bitkinin hücresel iyon dengesini ve hücre zarı stabilitesini koruyarak hayatta kalmasına yardımcı olur. Araştırmalar, putresinin dışarıdan bitkilere uygulanmasının, tuz stresi altındaki bitkilerin fizyolojik özelliklerini iyileştirdiğini ve büyüme ile klorofil içeriğini artırdığını göstermektedir. (R. H. Zhang vd. 2009 ;Cui vd. 2020).

1.2 Putresinin tarımda kullanımı:

Putresin, biyojenik bir amin ve poliamin olup, tarımda önemli uygulamalara sahiptir, özellikle bitki büyümesini, stres toleransını ve genel verimliliği artırma konusunda. Aşağıda, putresinin başlıca kullanımları özetlenmiştir:

Poliaminler (putresin dahil) birçok fonksiyona sahip bitki büyüme düzenleyicileridir. Hücre bölünmesi ve DNA replikasyonu gibi birçok bitki büyüme ve gelişme sürecinde rol oynarlar. Ayrıca poliaminler, olumsuz çevresel koşullar altında bitkinin strese verdiği tepkilerde de rol oynar (Abd Elbar vd. 2019). Örneğin, putresin uygulanan üzüm bitkilerinin, soğuk stresine karşı daha az zarar gördüğü ve bu sayede verimliliğin korunduğu gözlemlenmiştir (Jalili vd. 2023).

Putresin, kekik bitkilerinin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırmak için etkili bir bileşiktir. Yapraktan uygulandığında, kekik bitkisinin morfolojik ve anatomik özelliklerini değiştirir, klorofil konsantrasyonunu artırır, fenolik bileşik birikimini düzenler ve ilgili enzimlerin aktivitesini koruyarak kuraklık stresinin zararlı etkilerini azaltır. Bu sayede, putresin (0,2 mM) kekik bitkisinin büyümesini ve yağ üretimini iyileştirerek, su stresi koşullarında daha iyi gelişmesine yardımcı olur (Abd Elbar vd. 2019).

Putresinin, su stresi altındaki buğday bitkilerinin büyümesini, biyokimyasal bileşenlerini ve verimliliğini artıran uyarıcı bir etkiye sahiptir. Özellikle 1 mM'luk uygulama hem normal koşullarda hem de su eksikliği durumunda buğdayın büyüme performansını iyileştirmiştir. Bu etki, bitki boyu ve kök uzunluğunda önemli artışlara yol açmıştır. Kuraklık stresi altındaki buğdaylarda yaprak sayısı, üst yaprak alanı ve gövde sayısında, kontrol grubu bitkilerine göre %38,78 ile %79,96 arasında bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, putresinin uygulaması buğdayın

fizyolojik özelliklerini ve verim bileşenlerini de olumlu şekilde iyileştirmiştir (Hussein vd. 2023).

Kısa süreli ısı stresinden önce karpuzla yapraklardan putresin uygulanmasının, meyve kalitesini artırdığı gösterilmiştir. Putresin ($1,5$ ve 5 mM L^{-1}), karpuz bitkilerinin abiyotik streslere karşı toleransını artırır ve meyve içeriğinde toplam şeker ve poliamin düzeylerini yükseltir. Bu uygulama, karpuz meyvelerinin kalitesini olumlu yönde etkilerken, istenmeyen maddelerin (örneğin, nitrat gibi besinlerin) varlığını da azaltır (Piñero vd. 2021).

1.3 Nanobakır Nedir

Nanopartiküller, 1 ila 100 nanometre arasında değişen boyutlardaki partiküllerdir. Bu boyut, onları daha büyük malzemelerden farklı kılar, çünkü yüksek yüzey alanı-hacim oranı ve kuantum etkileri nedeniyle belirgin fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olurlar. Bu özel nitelikler, nanopartikülleri tıp, elektronik ve çevre bilimleri gibi çeşitli alanlarda kullanımı için oldukça uygun hale getirir. (Engels vd. 2010 ;Rai vd. 2018a).

Nanopartiküllere olan artan ilgi, özellikle yenilikçi malzemeler ve teknolojiler geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu ilgi, nanopartiküllerin sentezi, karakterizasyonu ve potansiyel uygulamaları üzerine yapılan kapsamlı araştırmalara yol açmıştır. Nanopartiküllerin benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri, çeşitli endüstriyel ve tıbbi alanlarda devrim yaratma potansiyeline sahiptir (Biçer ve Şişman 2010; Lai vd. 2013).

CuNP'ler, benzersiz özellikleri ve potansiyel kullanım alanları nedeniyle önemli bir araştırma konusu olmuştur. CuNP'ler, güçlü bir lokalize yüzey plazmon rezonansı (LSPR) sergilerler, bu da onları özellikle sensörler ve katalizörler gibi uygulamalarda oldukça yararlı kılar. Bu özellikleri, onları çeşitli teknolojik ve endüstriyel alanlarda faydalı kılmaktadır.(Markin vd. 2019;Liu vd. 2023). CuNP'lerin dikkat çekici antibakteriyel özellikleri, bakteri ve mantar gibi patojenlerin büyümesini etkili bir şekilde engellemesini sağlar. Bu etki, CuNP'lerin yüksek yüzey alanı sayesinde mikrobiyal hücrelerle etkileşimlerini artırarak, hücrelerde yapısal hasara ve ölüme yol açmalarından kaynaklanır. Örneğin, CuNP'ler *Escherichia coli*'nin hücre zarını bozarak önemli morfolojik değişikliklere neden olabilir (Raffi vd. 2010; Iliger vd. 2021).

CuNP'lerin sentezi, çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemler arasında kimyasal indirgeme, yeşil sentez ve elektrokimyasal teknikler yer alır. Yeşil sentez, özellikle çevre dostu ve maliyet açısından avantajlı olduğu için dikkat çekmektedir. Bu yöntemde, bitki özleri veya biyolojik malzemeler kullanılarak nanopartiküller elde edilir, bu da daha sürdürülebilir bir üretim süreci sağlar (Vijay ve Anu 2017; El-Rab vd. 2021) CuNP'lerin boyutu ve morfolojisi, belirli uygulamalar için istenilen özellikleri elde etmek amacıyla, kapama ajanlarının konsantrasyonu ve reaksiyon koşullarının ayarlanmasıyla özelleştirilebilir. Bu sayede, nanoparçacıkların özellikleri optimize edilerek, hedeflenen uygulamalara uygun performans sağlanabilir. (Deng vd. 2013; Yu vd. 2015) Polivinilpirolidon (PVP) kullanmanın, dar bir boyut dağılımına sahip CuNP hızlı bir şekilde oluşumunu desteklediği gösterilmiştir (Jianfeng vd. 2011).

CuNP'ler antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra, kataliz, ilaç dağıtımı ve elektronik cihazlarda iletken malzemeler gibi çeşitli alanlarda da potansiyel uygulamaları bulunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde, CuNP'leri teknoloji ve sağlık alanlarında önemli bir rol oynamaktadır (Pratiwi vd. 2021; Ma vd. 2022) Organik reaksiyonlarda katalizör olarak etkililikleri ve ilaç dağıtım sistemleri için hidrojellere entegrasyonları, bu materyallerin çok yönlülüğünü vurgular. Hidrojeller, suya duyarlı, biyolojik olarak uyumlu ve esnek yapıları sayesinde, organik reaksiyonları hızlandırmada etkili katalizörler olarak kullanılabilir. Aynı zamanda ilaç taşıma sistemlerinde, özellikle kontrollü ilaç salınımı sağlamak için entegre edilebilirler. Hidrojellerin su içeriği, pH, sıcaklık veya iyonik kuvvet gibi çevresel faktörlere duyarlı olmaları, onları dinamik koşullarda ilaç salınımı için ideal materyaller yapar. Böylece hem organik reaksiyonların verimliliği artar hem de ilaç tedavi sistemlerinde hedeflenmiş ve kontrollü dağıtım sağlanır (Villanueva vd. 2016; Dinda, Halder ve Mitra 2018). CuNP'ler çevre dostu alternatifler olarak geleneksel pestisitler ve gübrelerle karşı tarımsal kullanımlar için araştırılmaktadır. Bu nanopartiküller, çevreye zarar vermeden tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahiptir (Rai vd. 2018).

1.4 Nanobakırın tarımda kullanımı

Antimikrobiyal Özellikler: CuNP'ler, çeşitli patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etkinlik göstererek bitkilerdeki enfeksiyonlara karşı etkili olabilir. CuNP'lerin, *Colletotrichum gloeosporioides* gibi, tarım ürünlerinde antraknoz

hastalığına neden olan patojenlere karşı anti fungal ajan olarak etkili olduğu ve bu özelliklerinin birçok araştırma ile belgelenmiş olduğu bilinmektedir (Nguyen vd. 2020). Ayrıca, bakır bazlı fungusitler tarımda uzun yıllardır kullanılmakta olup, nano materyallerin bu fungusitlere entegrasyonu etkinliklerini artırmaktadır (J. Zhang vd. 2021).

Böcek ilaçlama uygulamaları: CuNP'lerin, özellikle depolama zararlıları olan *Tribolium castaneum*'a karşı böcek öldürücü özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir (El-Saadony vd. 2020). Bu özellik, zararlı popülasyonlarını etkili bir şekilde kontrol edebilen nano-pestisitlerin geliştirilmesine olanak tanır ve geleneksel pestisitlere kıyasla çevresel etkilerin azaltılmasında potansiyel sağlar (El-Saadony vd. 2020).

Nano-gübreler: CuNP'lerin nano-gübre olarak kullanımı, besin alımını artırarak ve ürün verimlerini iyileştirerek keşfedilmiştir. Bu uygulama, özellikle kuraklık gibi stres koşulları altında bitkilerin büyüme hızlarını artırabilir ve dayanıklılıklarını güçlendirebilir (Chandrashekar vd. 2023). CuNP'lerin benzersiz özellikleri, onları büyüme uyarıcıları olarak işlev görmesini sağlayarak genel tarımsal verimliliği artırır (Nazarova. 2020).

Biyosentez ve ekolojik dostluk: bitki özleri kullanılarak gerçekleştirilen CuNP'lerin yeşil sentezi, geleneksel yöntemlere ekolojik dost bir alternatif sunmaktadır. Bu yaklaşım, nanoparçacık üretiminin çevresel etkisini azaltmanın yanı sıra, bu nanoparçacıkların tarımsal uygulamalarda güvenliğini ve etkinliğini artırmaktadır. CuNP'lerin biyosentezi, gelişmiş antimikrobiyal etkinlik ile ilişkilendirilmiş olup, bunları sürdürülebilir tarım uygulamaları için uygun hale getirmektedir (Buvaneswari vd. 2018).

Toprak mikrobiyal aktivitesi: CuNP'ler, toprak sağlığı ve verimliliğini kormada önemli rol oynayan toprak mikrobiyal topluluklarını etkileyebilir. Bazı çalışmalar, belirli toprak mikroorganizmaları üzerinde potansiyel toksik etkiler gösterebileceğini belirtirken (Zaynitdinova vd. 2022), diğerleri uygun konsantrasyonlarda CuNP'lerin mikrobiyal aktiviteyi artırarak toprak sağlığına ve bitki büyümesine fayda sağlayabileceğini öne sürmektedir (Podlipná vd. 2017) .

CuNP'lerin uygulanması, bitkilerin hastalıklara karşı dirençlerini artırarak hastalıkların etkisini azaltmaktadır. Bu, bitkilerin savunma mekanizmalarını güçlendirir ve çeşitli patojenler tarafından meydana gelen hastalıkların görülme

sıklığını azaltarak daha sağlıklı ürünler ve potansiyel olarak daha yüksek verimler elde edilmesini sağlar (Giannousi vd. 2013;Nagaonkar vd. 2015).

Çevresel temizleme: CuNP'ler, özellikle ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde de rol oynayabilir. Uygulamalarının, toprakları detoxifiye ederek tarımsal kullanım için daha uygun hale gelmesine yardımcı olduğu gösterilmiştir (Ahmadi-Nouraldinvand vd. 2022). CuNP'lerin hem tarımsal verimliliği artırmadaki hem de çevresel sorunları giderme konusundaki çift fonksiyonu, bu malzemenin çok yönlülüğünü vurgulamaktadır.

CuNP'ler bitki verimliliği üzerindeki etkileri, çeşitli araştırmalarla desteklenmektedir. Örneğin, CuNP uygulamalarının bitkilerin fotosentetik aktivitesini artırdığı ve bu sayede bitkilerin büyüme hızını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (Atalar vd. 2021). CuNP'leri bitkilerdeki antifungal ve antibakteriyel etkileri sayesinde bitki hastalıklarının kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nanopartiküller, bitkilerin patojenlere karşı savunma mekanizmalarını güçlendirerek, hastalıklara karşı dirençlerini artırmaktadır (Rai vd. 2018; Gökmen vd. 2022). CuNP'ler bitki köklerine uygulanması, bitkilerin sağlık durumunu iyileştirir ve verimliliği artırır. Ancak, farklı nanopartikül türleri ve uygulama yöntemlerinin bitkiler üzerindeki etkileri değişken olabileceğinden, bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Gören vd. 2024).

CuNP'ler tarımda çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Geleneksel tarım yöntemlerine karşı, bitki özleri kullanılarak sentezlenen bu nanopartiküller, ekonomik ve çevresel açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kimyasal gübreler ve pestisitlerin olumsuz etkilerini azaltarak, daha güvenli ve verimli bir tarım pratiği sunmaktadır (Nartop 2019).

Bu yöntemler, kimyasal gübreler ve pestisitlerin kullanımını azaltarak tarımsal üretimde sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir. Ayrıca, CuNP'lerin bitki besin maddeleri ile etkileşimi, bitkilerin besin alımını artırarak verimliliği desteklemektedir (Ponmurugan vd. 2016).

Nano gübreler, besin kullanım verimliliğini artırarak sürdürülebilir tarımda önemli bir rol oynamaktadır. Boyutu 100 nm'den küçük olan bu nano materyaller, bitkilerin besin ihtiyaçlarını karşılayarak çevreye zarar vermez ve mahsul verimliliğini artırır. Yüksek emilim oranı ve düşük kayıp ile bitkilere daha verimli besin temini sağlar. Ayrıca, kontrol edilen salınım mekanizmaları sayesinde, çevresel faktörlere (ısı, nem gibi) tepki vererek besinleri ihtiyaç duyulduğunda

serbest bırakır. Bu özellikleri, nano gübreleri geleneksel gübrelerden daha etkili kılar. Ayrıca, nano gübreler, bitki enzimlerinin artmasını ve kök biyokütlesinin gelişmesini teşvik ederek besinlerin biyolojik kullanılabilirliğini artırır. Sonuç olarak, nano gübreler, sürdürülebilir tarım için çiftçilere alternatif bir çözüm sunar (Kumar vd. 2021).

Son zamanlarda, metal ve diğer nanopartiküller tarımda, mahsul büyümesini iyileştirmek, kimyasal kullanımı azaltmak, ürün güvenliğini artırmak ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, LVN 092 mısır çeşidi tohumları, ekimden önce farklı CuNP konsantrasyonlarıyla işlenmiştir. Sonuçlar, 20 mg/kg CuNP konsantrasyonunda işlenen sarı mısır tohumlarının, ekimden 7 gün sonra çimlenme ve üretkenlikte artış sağladığını göstermiştir. Bu durum, metalik nanopartiküllerle yapılan işlemenin, tarım ürünlerinin kalitesini etkilemeden üretimi artırabileceğini ortaya koymaktadır (Van 2018). CuNP'ler geniş spektrumlu antimikrobiyal özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bu nanopartiküller, gıda ambalajlarında mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek gıdanın raf ömrünü uzatmada kullanılabilir. Düşük konsantrasyonda metaloproteinlerin kofaktörü olarak görev alırken, yüksek konsantrasyonda gıda kaynaklı patojenlere karşı antimikrobiyal etki gösterir.

Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), gıda bozulmasını önlemek amacıyla Ag-Cu bimetalik nanopartiküllerin kullanılabileceğini önermektedir. Araştırmalar, kitosan kaplı CuNP belirli mantar türlerine karşı anti fungal etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Bakır, ayrıca mantar ilaçlarında ve bitkileri korumada yaygın olarak kullanılmaktadır. CuNP'ler ve uçucu yağların kombinasyonu, gıdalardaki mikropları inhibe etmek için yeni antimikrobiyal ajanlar geliştirme potansiyeline sahiptir. Nano ölçeğinde bakır, bitki hastalıklarıyla mücadele ve gıda ambalajlamasında da kullanılarak raf ömrünü uzatabilir. Ancak, CuNP'lerin yüksek konsantrasyonları bitki metabolizmasını etkileyebileceği için, tarımda güvenli kullanım için nanopartiküller ile bitkiler arasındaki etkileşimin anlaşılması önemlidir (Rai vd. 2018).

1.5 Kombine Uygulamalar

Putresin ve nanopartikül uygulamaları, üzüm bitkilerinde bitki verimliliğini artırmak için etkili bir kombinasyon sunmaktadır. Putresin, bitkilerin büyümesini teşvik eden ve stres koşullarına karşı direncini artıran bir biyojenik amin olarak

bilinir. Bu bileşik, bitkilerin hücre bölünmesini ve büyümesini destekleyerek, genel verimliliği olumlu yönde etkileyebilir (Koyuncu vd. 2018) Nanopartiküller ise, bitkilerin besin alımını artırarak ve patojenlere karşı koruma sağlayarak bitki sağlığını iyileştirmektedir (Das vd. 2021). Bu iki bileşenin bir arada kullanılması hem bitki gelişimini desteklemek hem de hastalıklara karşı direnç sağlamak açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Örneğin, bakır veya altın nanopartiküllerinin putresin ile kombinasyonu, bitkilerin besin maddelerini daha etkili bir şekilde almasını sağlayarak, genel büyüme ve verimliliği artırabilir (Ashfaq vd. 2023). Bu tür kombinasyonlar, bitkilerin stres koşullarına karşı daha dayanıklı hale gelmesine de katkıda bulunmaktadır

Ayrıca, putresin ve nanopartikül uygulamalarının birlikte kullanılması, bitkilerin antioksidan sistemlerini güçlendirmekte ve oksidatif stresi azaltmaktadır (Sheikhalipour vd. 2021). Bu durum, bitkilerin hastalıklara karşı direncini artırarak, verim kaybını önlemekte önemli bir rol oynamaktadır.

Bassiony vd. (2018) çalışmalarına göre, nano bakırın putresin ile birlikte uygulanması, meyve sertliğini ve genel kalitesini depolama sırasında artırmaktadır. Bu sinerjik etki, putresinin fizyolojik süreçleri düzenlemedeki rolü ile nano bakırın antimikrobiyal faydalarının birleşimiyle açıklanmakta olup, birlikte meyvenin hasat sonrası bütünlüğünü korumaya yardımcı olmaktadır.

1.6 Önceki Çalışmalar

Flame Seedless üzüm çeşidinin ticari olgunluk aşamasında toplanan taze üzümlerine farklı konsantrasyonlarda (0,0, 0,5, 1,0 ve 1,5 mM) putresin ve spermidin uygulanarak, bu uygulamaların meyve sertliği, kabuk rengi, antosiyanin stabilizasyonu, pektin metilesteraz aktivitesi, elektrolit sızıntısı oranı ve diğer fizikokimyasal kalite parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Depolama süresi boyunca elde edilen bulgular ışığında, üzümlerin raf ömrünün artırılması için en etkili uygulama ve dozaj kombinasyonu belirlenmiştir. Üzümler, ticari olgunluk aşamasında manuel olarak toplanmış ve farklı konsantrasyonlarda putresin ve spermidin ile ıslatılmıştır. Daha sonra, bu üzümler 3-4 °C ve %90-95 bağıl nem koşullarında saklanmıştır. Fizikokimyasal parametreler ve diğer meyve kalite özellikleri, uygulama öncesinde 0. gün ve 30, 45, 60 ve 75. günlerde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, en düşük doz olan 0.5 mM putresin ve spermidin uygulamasının üzüm tanelerinin sertliğini ve kabuk rengini koruduğunu

ve antosiyaninleri stabilize ettiğini, ayrıca pektin metilesteraz aktivitesini baskıladığını ve elektrolit sızıntısı oranını azalttığını göstermektedir. Bu poliaminler, toplam çözünebilir katı madde (SÇKM) ve titrasyon asitliğinin (TA) azalmasını yavaşlatmış, daha yüksek toplam fenolik içerik sağlamış ve bozulmayı azaltmıştır. 1,0 mM dozunda uygulanan putresin ve spermidin de benzer etkiler göstermiş, ancak en yüksek doz olan 1,5 mM'nin kütle kaybı, bozulma oranı, sap kahverengileşmesi ve organoleptik özellikler üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubunun yalnızca 45 güne kadar ticari olarak kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan doğrusal regresyon ve korelasyon analizi, birçok kalite parametresinin birbirleriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, spermidin veya putresin'in 0,5 mM dozda 5 dakika süreyle uygulanmasının, Flame Seedless üzümünün depolama süresini uzatmak ve raf ömrünü artırmak için etkili bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır (Champa vd. 2014).

Nar meyvelerinin fonksiyonel özellikleri (antosiyaninler, antioksidan, askorbik asit ve tanin) ile duyu skorları, 2 mM putresin ve 1:10 oranında carnauba mumu (carnauba mumu: su) uygulandıktan sonra, iki farklı depolama sıcaklığında (3 °C ve 5 °C) incelenmiştir. Bu uygulama yöntemleri, meyvelerin 60 gün süreyle depolanmasından önce daldırma yöntemi ile uygulanmıştır. Her iki uygulama, kontrol meyveleri ile karşılaştırıldığında, depolama koşullarında antosiyaninler, antioksidan, askorbik asit, tanin ve duyu niteliklerin önemli ölçüde daha yüksek seviyelerde korunmasını sağlamıştır. Putresin ve carnauba mumunun birleşik uygulanması hem putresin ile uygulanan hem de uygulanmayan meyvelere göre fonksiyonel özellikleri koruma açısından daha iyi bir sonuç göstermiştir. Putresin ve carnauba mumu uygulamalarının etkileri, 3-5 °C depolama sıcaklığında, fonksiyonel ve duyu niteliklerin korunmasında 30 gün sonra daha belirgin hale gelmiştir. 60 günlük depolama sonrası, putresin ve carnauba mumu kombinasyonu, hem 3 °C hem de 5 °C depolama sıcaklıklarında yaklaşık %25 daha yüksek antioksidan aktivite korumuştur (Barman vd. 2014).

Olgun Santa Rosa erikleri farklı konsantrasyonlarda (1-4 mM/L) putresin ve salisilik asit çözeltilerine daldırılmış ve ardından 4 °C'de %95 bağıl nem koşullarında 25 gün süreyle depolanmıştır. Ağırlık kaybı, meyve sertliği, toplam çözünür katı madde, titrasyon asidi, pH, olgunluk indeksi, askorbik asit, toplam fenolikler ve antioksidan aktivite gibi kalite parametreleri belirli aralıklarla

değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, putresin ve salisilik asidin, meyve ağırlık kaybını ve yumuşamasını azaltmada, ayrıca askorbik asit, toplam fenoller ve antioksidan aktivite gibi önemli kalite unsurlarını korumada etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada, tüm uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışmada, olgun meyveler farklı konsantrasyonlarda (1-4 mmol/L) putresin ve salisilik asit çözeltilerine daldırılarak, ardından 4 °C’de %95 bağıl nem altında 25 gün süreyle depolanmıştır. Deneme, tamamen rastgele blok tasarımı ile dört tekrar halinde gerçekleştirilmiştir. Ağırlık kaybı, meyve sertliği, toplam çözünür katı madde, titrasyon asidi, pH, olgunluk indeksi, askorbik asit, toplam fenolikler ve antioksidan aktivite gibi parametreler belirli aralıklarla ölçülmüştür. Depolama süresince ağırlık kaybı, toplam çözünür katı madde, pH ve olgunluk indeksi artarken; meyve sertliği, titrasyon asidi, askorbik asit, toplam fenolikler ve antioksidan aktivite azalmıştır. Tüm uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Putresin ve salisilik asit, meyvelerin ağırlık kaybı ve yumuşamasını azaltmaya yardımcı olmuş; aynı zamanda asitlik, askorbik asit, toplam fenoller ve antioksidan aktivite gibi özellikleri korumada da etkili bulunmuştur (Davarynejad vd. 2015).

Hasat öncesi putresin uygulamaları, meyve kalitesi parametrelerinin korunmasında ve soğuk depolama süresinin uzatılmasında etkili bulunmuştur. Depolama süresince ağırlık kaybı, meyve yumuşaması ve TSS artışı gibi değişimlerin putresin ile uygulanan gruplarda daha yavaş gerçekleştiği, ayrıca TA, C vitamini, toplam fenol ve antioksidan aktivite seviyelerinin daha yüksek korunduğu belirlenmiştir. Meyve kalitesi değerlendirmeleri, depolama süresinin 0±1 °C ve %80-85 nispi nemde 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21. haftalarında yapılmış; bu süre zarfında ağırlık kaybı, sertlik, SÇKM, TA, lezzet indeksi, kabuk rengi, C vitamini, toplam fenol ve toplam antioksidan aktivite gibi parametreler değerlendirilmiştir. Depolama süresince, ağırlık kaybı, meyve yumuşaması, SÇKM ve pH değerleri artmış, ancak bu değişimlerin artış oranı 1 ve 2 mM putresin ile uygulanan meyvelerde belirgin şekilde daha düşük bulunmuştur. Putresin uygulaması, kontrol grubuna göre TA, C vitamini, toplam fenolik, toplam antosiyanin, L ve Hue açısı değerlerini daha yüksek seviyelerde korumuş ve çürümeyi azaltmıştır. Ayrıca, daha yüksek putresin dozları, meyvelerin depolama süresini ve pazarlanabilirliğini 127-142 gün daha uzun süre uzatmada etkili olmuştur. Sonuç olarak, hasat öncesinde yapılan putresin uygulamasının, armutun

soğuk depolama sonrası raf ömrünü uzatmak için etkili bir yöntem olabileceği belirtilmiştir (M S Hosseini vd. 2017).

Taze üzümün hasat sonrası çürüklüğünü kontrol etmenin etkili bir yönteminin kükürt dioksit (SO₂) kullanımı olduğunu bilinmektedir. Ancak belirli koşullar altında SO₂ kullanımı, meyvelerin beyazlamasına neden olarak önemli kayıplara yol açabilmektedir. Bu bağlamda araştırmacılar, modifiye atmosferde bakır nanoparçacıkları içeren ve içermeyen torbaların, *Botrytis cinerea* kontrolünü sağlarken kükürt dioksit ihtiyacını ortadan kaldıracılabileceği fikrini geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, SO₂ üretimi gerektirmeyen modifiye atmosfer paketlerinin, hasat sonrası *B. cinerea*'yı kontrol etmede ve Thompson Seedless taze üzümünün fiziksel ve kimyasal parametrelerini korumada etkili olduğunu göstermiştir. Beyazlatma, dehidratasyon ve sap çürüklüğü gibi parametrelerde belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca bir grup panelist, uygulamaya bakılmaksızın üzümlerin duyuşal özellikleri ve kabul edilebilirlikleri arasında anlamlı bir fark görememiştir (Loyola-López vd. 2017).

Bal vd. (2017), üzümün hasat sonrası yaşamını uzatmak ve biyokimyasal bileşenlerdeki değişiklikleri değerlendirmek amacıyla, putresin (1 ve 2 mM) ve ultrason uygulamalarını (32 kHz, 10 dakika) tek başına veya kombinasyon halinde uygulamıştır. Uygulama sonrasında salkımlar, modifiye atmosfer ambalajında kutulara yerleştirilmiş ve 1-2 °C'de, %90-95 nispi nem koşullarında 60 gün süreyle saklanmıştır. Saklama süresinin 0, 20, 40 ve 60. günlerinde, kütle kaybı, SÇKM, TA, toplam antosiyaninler, toplam fenolik içeriği, antioksidan kapasitesi, sap kahverengileşmesi, bozulma oranı ve görsel görünüm gibi parametreler kaydedilmiştir. Farklı uygulamalar arasında, kütle kaybı ve toplam çözünebilir katı madde dışındaki tüm ölçülen parametrelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler, bireysel olarak uygulanan putresin veya ultrason uygulamalarının, depolama süresince üzüm kalitesini koruma konusunda olumlu etkiler yarattığını göstermiştir. Ancak putresin uygulamasının ultrason ile birleştirilmesi daha iyi sonuçlar vermiştir. Kombinasyon uygulamaları, toplam antosiyaninler, toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasitesinde daha yüksek seviyelerin korunmasını sağlamış, ayrıca kontrol grubuna kıyasla duyuşal kabul edilebilirlik kaybını ve bozulma oranını azaltmıştır. Depolama süresinin sonunda kontrol grubu üzümleri belirgin bir kalite kaybı yaşarken, tüm uygulamalar görsel

kaliteyi daha iyi korumuştur. Bu sonuçlar, putresin ve ultrason kombinasyon uygulamalarının, üzümün hasat sonrası depolama kalitesini korumada umut verici bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

Hernández-Fuentes vd. (2017), tuz stresine maruz kalan domates bitkilerinden elde edilen meyvelerin biyoaktif bileşik içeriklerinin depolama süreleri ve koşullarından nasıl etkilendiğini incelemiştir. Çalışmada dört farklı uygulama yöntemi kullanılmıştır: tuz stresiyile birlikte bakır nanopartiküllerinin (250 mg L^{-1}) yapraktan püskürtülmesi, yalnızca bakır nanopartiküllerinin uygulanması, yalnızca tuz stresi ve kontrol grubu. Sonuçlar, bakır nanopartiküllerinin toplam fenoller, β -karoten ve C vitamini gibi biyoaktif bileşiklerin birikimini artırmada olumlu etkiler sağladığını göstermiştir. Tuz stresinin, domates meyvelerinin biyoaktif bileşikleri ve antioksidan kapasitesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı, ancak bu olumsuz etkilerin bakır nanopartiküllerinin uygulanmasıyla hafifletilebileceği belirlenmiştir. Dolayısıyla, bakır nanopartikülleri, domateslerdeki biyoaktif bileşikleri koruma ve tuz stresinin zararlı etkilerini azaltma potansiyeline sahip bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Pinedo-Guerrero vd. (2017), dört farklı uygulama yöntemi kullanılmıştır: mutlak kontrol grubu, Cs-PVA ve 0,02, 0,2, 2 ve 10 mg (CuNP) g^{-1} (Cs-PVA) ile yapılan uygulamalar. Bakır nanopartiküllerinin kitosan-PVA hidrojelleri içinde kullanılması, kontrol grubuna kıyasla kapsaisin içeriğini %51 oranında artırmıştır. Ayrıca, bu uygulama, 15 gün boyunca oda sıcaklığında depolanan jalapeño biber meyvelerindeki ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit)) ve DPPH (2,2-diphenyl-1-pikrilhidrazil) antioksidanlarının yanı sıra toplam fenoller ve flavonoidlerin içeriğini sırasıyla %4, %6,6, %5,9 ve %12,7 oranında artırmıştır. Soğutma koşullarında ise, DPPH antioksidanları, toplam fenoller ve flavonoidlerin içeriğinde sırasıyla %23,9, %1,54 ve %17,2 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Kitosan-PVA hidrojellerinde bakır nanopartiküllerinin uygulanması, sadece jalapeño biber bitkisinin gelişimini değil, aynı zamanda jalapeño biber meyvelerinin hasat sonrası özelliklerini de değiştirmiştir.

Bassiony vd. (2018), putresin ve salisilik asitin yapraktan uygulamalarının Flame Seedless taze üzüm çeşidinin verim, meyve kalitesi ve depolanabilirlik üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmiştir. Uygulamalar,

meyve çapının yaklaşık 4-6 mm'ye ulaştığı bezelye aşamasında ve ben düşme aşamasında olmak üzere iki kez gerçekleştirilmiştir. Bulgular, 2.0 mM putresin ve 4.0 mM salisilik asit kombinasyonunun toplam verimi ve salkım kalitesini (ağırlık, uzunluk ve genişlik) artırdığını göstermiştir. Ayrıca, bu kombinasyon meyve uzunluğu, çapı, ağırlığı, sertliği ve 100 meyvenin hacmini iyileştirmiştir. Kombinasyon uygulaması, 0-2°C ve %90-95 bağıl nemdeki soğuk depolama sırasında kalite özelliklerini korumuş; salkım ağırlık kaybını, meyve dökülmesini, sap kahverengileşmesini ve meyve çürümesini en aza indirmiştir. Bunun yanı sıra, 60 gün boyunca SSC%, asidite, SSC/asit oranı ve antosiyanin içeriği korunmuş ve en yüksek meyve sertliği ile çıkarma kuvveti sağlanmıştır. Sonuç olarak, tüm kombinasyon uygulamaları, kontrol grubuna kıyasla pazarlanabilir salkım yüzdesini önemli ölçüde artırmış ve salkım raf ömrünü uzatmıştır.

(El-Shemy 2019), ponkan mandalinasının (*Citrus reticulata*, Blanco) 2017 ve 2018 sezonlarında, Kafr El-Sheikh Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait deneme arazisinde, kil toprakta yetiştirilen 10 yıllık ağaçlar üzerinde, hasat öncesi uygulama olarak 0, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarındaki putresin ve hasat sonrası uygulama olarak 0, 200 ve 400 ppm salisilik asit kombinasyonlarının 5 ± 1 °C ve %90-95 bağıl nemde 90 gün süreyle soğuk depolama sırasında meyve özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, putresin ve salisilik asit uygulamalarının, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, soğuk depolama süresi boyunca meyvelerin kabul edilebilir kalitelerde gerçekleşmesini sağladığını göstermiştir. 50 ppm putresin ile hasat öncesi sprey uygulaması ve 400 ppm salisilik asit ile hasat sonrası daldırma kombinasyonunun, soğuk depolama sırasında meyve ağırlık kaybı, çürüme, sertlik, SŞKM, asidite, SÇKM/asit oranı ve C vitamini gibi meyve kalitesi parametreleri üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, putresin ve salisilik asit uygulamalarının, hasat sonrası kayıpları önlemenin yanı sıra, depolanan meyvelerin kalitesini artırma kapasitesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

(Marjan Sadat Hosseini vd. 2019), armut çeşitlerinin depolama ömrünü uzatmada putresinin etkisini incelemiştir. Çalışmada, ağaçlara farklı putresin konsantrasyonları (0,5, 1 ve 2 mM) ile saf su (kontrol) olarak püskürtülmüştür. Hasat sonrası tüm örnekler, 21 hafta boyunca 0 ± 1 °C sıcaklıkta ve %80-%85 bağıl nemde saklanmış, depolama sürecinin başlangıcında ve 7, 14, 21. haftalarda

fizikokimyasal özellikler ölçülmüştür. Sonuçlar, 1 ve 2 mM'lik putresin uygulamalarının meyve yumuşamasını, ağırlık kaybını, renk değişimlerini (L, renk tonu açısı) ve mantar enfeksiyonunu azalttığını, ayrıca SÇKM, TA, askorbik asidin, toplam fenolün ve toplam antioksidan aktivitenin bozulmasını geciktirdiğini ortaya koymuştur.

(Sedaghathoor vd. 2020), gümüş tiyosülfat (STS) ve putresinin kesilmiş krizantemlerin vazodaki yaşam süresi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, 0,05 ve 0,1 mM STS uygulamalarının kesilmiş krizantemlerin vazoda yaşam süresini uzattığını göstermiştir. Ayrıca, 150 ve 300 ppm putresin uygulamaları bağıl ağırlığı artırarak ve solma oranını azaltarak vazoda yaşam süresini iyileştirmiştir. Her iki faktörün etkileşiminin solma oranı ve vazoda yaşam süresi gibi birçok özellik üzerinde önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu durum, her iki maddenin tek başına uygulanmasının hasat sonrası kaliteyi artırmak için yeterli olduğunu göstermektedir.

(Ennab vd. 2020), Murcott mandalinasının hasat sonrası kaybını azaltmak ve meyve kalitesini korumak amacıyla salisilik asit ve putresinin etkisini değerlendirmiştir. Meyveler, 5 dakikalık beş farklı daldırma uygulamasına tabi tutulmuştur. Bu uygulamalar; salisilik asit (200 ve 400 ppm), putresin (50 ve 100 ppm) ve kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Meyveler, 5 ± 1 °C ve %90-95 bağıl nemde veya 23 ± 1 °C ve %60-70 bağıl nemde olmak üzere iki farklı koşulda 45 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince kalite parametreleri hasat, 15, 30 ve 45. günlerde kaydedilmiştir. Salisilik asit ve putresin uygulamalarının, meyve ağırlık kaybını ve çürümeyi önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca her iki madde, meyve sertliğini, SÇKM, TA, SÇKM:TA oranını ve askorbik asidi depolama süresince korumada etkili olmuştur. Özellikle 400 ppm salisilik asit uygulamasının, ağırlık kaybını ve çürümeyi azaltmada ve meyve kalitesini korumada putresin uygulamalarına göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, salisilik asit ve putresinin, Murcott mandalinasının hasat sonrası bozulmasını geciktirerek kabul edilebilir kaliteyle depolama süresini uzattığı görülmüştür.

(Ehteshamnia vd. 2021), hasat öncesinde farklı konsantrasyonlarda (0, 2,0 ve 3,0 mM) putresin uygulamalarının ve hasat sonrası meyvelerin aloe vera jeli (AVG) ile ıslatılmasının (25,0 ve 33,0%) taze üzümün (Yaghouti) kalitesi ve raf ömrü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Üzümler, depolama süresince 4 °C'de 0, 9,

18, 27 ve 36. günlerde değerlendirilmiştir. Çalışmada SÇKM, TA, askorbik asit, toplam antosiyanin içeriği, toplam fenol içeriği, meyve sertliği ve taze üzüm raf ömrü gibi parametreler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, her iki putresin konsantrasyonunun da meyve sertliğini, C vitamini, toplam antosiyanin ve fenol içeriğini artırdığını, ayrıca depolama süresince kontrol grubuna göre raf ömrünü daha uzun koruduğunu göstermektedir. Tüm ölçümlerde, en yüksek fenol ve toplam antosiyanin içeriği ile sertlik değerleri 2,0 mM putresin uygulaması ve %25 ile %33 AVG kaplama ile elde edilmiştir; en düşük değerler ise kontrol grubuna aittir. Ayrıca, hasat öncesi putresin kullanımı, depolama sırasında meyvenin yumuşamasını önemli ölçüde önlemiş ve sertliğini korumuştur. Sonuç olarak, hasat öncesi 2,0 mM putresin uygulaması ve hasat sonrası %25 ile %33 AVG kaplama işlemleri, kontrol grubuna kıyasla *Yaghouti* çeşidinin raf ömrünü 16 gün artırmıştır.

(Bikdeloo vd. 2021), *Botrytis cinerea* kaynaklı gri küf hastalığının, domatesin depolama süresini ve pazarlama ömrünü önemli ölçüde azalttığı tespit etmiştir. Araştırmada, *Rosmarinus officinalis* ekstresi kullanılarak hızlı bir hazırlama yöntemiyle yeşil bakır nanopartikülleri sentezlenmiş ve bu nanopartiküllerin, *B. cinerea*'ya karşı in vitro antifungal aktiviteleri farklı konsantrasyonlarda değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 15 mM/L konsantrasyondaki bakır nanopartiküllerinin, inokülasyondan beş gün sonra güçlü bir inhibitör etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, *B. cinerea* ile yapay olarak inoküle edilen domates meyvelerinin kalitesinin, bakır nanopartiküllerinin artan konsantrasyonları ile iyileştiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yeşil bakır nanopartiküllerinin kimyasal fungusitlere etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, çeşitli metal nanopartiküllerinin antifungal aktivitelerinin, hasat sonrası hastalıkların yönetimi için etkili bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

(Sadek vd . 2022), bakır nanopartiküllerinin hıyar (*Cucumis sativus*) meyvelerinin raf ömrünü uzatma potansiyelini araştırmıştır. Çalışmada, yeşil yöntemle sentezlenen Cu-NP'lerin *Botrytis cinerea* ve *Sclerotinia sclerotiorum* üzerindeki antifungal etkinlikleri değerlendirilmiştir. Antifungal etkinlikler, 5-100 µg/mL konsantrasyonundaki Cu-NP'ler, CuSO₄ (4000 µg/mL) ve mikro sülfür (MS) ile karşılaştırılarak incelenmiş; uygulamalar hem in vitro hem de in vivo olarak 10 ve 20 °C sıcaklıklarda hıyar meyveleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, toplam fenolik içeriği ve SÇKM analizi yapılarak Cu-NP'lerin hıyar

meyvelerinin raf ömrü üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, CuNP'lerin antifungal aktivitesinin konsantrasyon arttıkça yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda fungal büyümenin azaldığı raporlanmıştır. Bunun yanı sıra, NP'lerin sitotoksosite özelliklerini değerlendirmek amacıyla WI-38 ve Vero hücre hatları üzerinde yapılan analizlerde, CuNP'lerin daha yüksek sitotoksositeye neden olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, CuNP uygulamalarının hıyar meyvelerinin raf ömrünü uzatmada etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

(Song vd. 2022), putresinin maviyemişte (*Vaccinium spp.*) meyve sertliğini koruma ve depolama süresini uzatma üzerindeki rolünü incelemiştir. Hasat edilen maviyemiş meyveleri, 1 mM putresin çözeltisine 10 dakika daldırılmıştır, ve uygulama sonrasında, meyveler 20 ± 0.5 °C ve %80 bağıl nemde 10 gün süreyle depolanmıştır. Elde edilen sonuçlar, putresin uygulamasının maviyemiş yumuşamasını geciktirdiğini göstermiştir. Kontrol grubuna kıyasla, putresin ile uygulama yapılan maviyemiş meyvelerinin sertlik ve protopektin seviyeleri daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, putresin uygulaması, hücre duvarı metabolizmasında yer alan enzimlerin, özellikle poligalakturonaz (PG), β -galaktosilaz (β -Gal) ve β -glukozidaz (β -Glu) aktivitelerini ve ifade seviyelerini önemli ölçüde inhibe etmiştir. Putresin uygulaması, putresin sentezine katkıda bulunan VcODC geninin ifadesini artırırken, putresin metabolizmasında rol oynayan VcSPDS geninin ifadesini inhibe etmiştir.

(Hernández-Fuentes vd. 2023), sera koşullarında üretilen yerel böbrek şekilli domates genotipine, kitosan-poli (vinil alkol) (Cs-PVA) hidrojenleri içinde CuNP uygulamış ve bu uygulamanın meyvelerin hasat sonrası fizikokimyasal bileşenleri ve biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Uygulamalar, bitki başına 0, 0,57, 1 ve 2 mg CuNP/g Cs-PVA şeklinde yapılmış ve bu uygulamaların etkileri kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, CuNP'nin Cs-PVA ile birlikte uygulanmasının, biyoaktif bileşenlerin konsantrasyonlarını artırdığını göstermiştir. Özellikle, likopen ve β -karoten ile toplam fenol ve flavonoid içerikleri sırasıyla 99,68 mg/100 g DW, 24,60 mg/100 g DW, 4,12 mg GAE/g DW ve 8,27 mg QE/g DW olarak belirlenmiştir. Ayrıca, antioksidan aktivite 24,33 μ M Trolox/g DW olarak ölçülmüş ve bu değerler, kontrol grubundan daha yüksek bulunmuştur. 0,57 ve 1 mg CuNP/g Cs-PVA ile uygulama yapılan meyveler, toplam çözünür katı madde içeriğinde artış göstermiş ve kontrol grubuna kıyasla %50'ye kadar daha

az ağırlık kaybı sergilemiştir. Bu sonuçlar, CuNP'nin Cs-PVA ile kombine uygulanmasının, yerel böbrek şekilli domates meyvelerinin fizikokimyasal kalitesini koruyarak biyoaktif bileşen içeriklerini artırabileceğini ve böylece depolama süresini uzatabileceğini göstermektedir.

(Kucuker vd. 2023), hassas bir meyve yapısına sahip olan incirin kısa depolama ve raf ömrünün sebep olduğu ekonomik kayıplara çözüm bulmayı amaçlamıştır. Çalışmada, incirlerde hasat sonrası farklı dozlarda (0, 0,5, 1,0, 2,0 ve 4,0 mM) putresin uygulamasının soğukta depolama süresince meyve kalite özellikleri ve biyokimyasal içerik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Soğukta depolama sonunda meyvelerdeki çürüme hızı ve ağırlık kaybı sırasıyla %1,0-1,6 ve %1,0-5,0 aralığında gerçekleşmiştir. Putresin uygulanan meyvelerde çürüme hızı ve ağırlık kaybı daha düşük seviyelerde gözlemlenmiştir. Ayrıca, putresin uygulaması meyve eti sertlik değerleri üzerinde olumlu bir etki sağlamıştır. Meyvelerin SÇKM oranı %14-20 arasında değişmiş ve depolama süresiyle putresin dozuna bağlı olarak bu oranlarda önemli farklılıklar görülmüştür. Putresin uygulaması sayesinde, soğukta muhafaza süresinde incir meyvesinin asitlik oranındaki azalma daha az olmuştur; soğukta muhafaza sonunda asitlik oranı %1,5-2,5 ile %1,0-5,0 arasında değişiklik göstermiştir. Putresin uygulamaları ayrıca toplam antioksidan aktivite değerlerini de etkilemiş ve dozlara bağlı olarak bu değerlerde değişimler meydana gelmiştir. Çalışmada, incir meyvesindeki fenolik asit miktarının muhafaza süresince azaldığı, ancak putresin dozlarının bu azalışı engellediği gözlemlenmiştir. Putresin uygulaması, soğukta muhafaza süresince organik asit miktarındaki değişimleri de etkilemiş, bu etkinin organik asit türüne ve muhafaza süresinin uzunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada putresin uygulamalarının incirlerde hasat sonrası meyve kalitesinin korunmasında etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

(Şekerci vd .2024), nergis türünün kesme çiçek kalitesini etkileyen önemli parametreler olan vaz ömrü ve çiçek kalitesi üzerine odaklanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, nano bakırın antimikrobiyal özellikleri ve etilen inhibisyonu sayesinde sodyum hipoklorit ve nano gümüş ile benzer etkiler gösterdiği hipotezini test ederek çiçek vaz ömrü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, 20 ppm CuNP, 20 ppm CuNP, 30 ppm CuNP, 30 ppm nano gümüş, sodyum hipoklorit (3 ml/L) ve musluk suyu (kontrol) dahil olmak

üzere altı farklı uygulama kullanılmış; bu uygulamaların nergisin vaz ömrü, relatif taze ağırlık ve günlük su alım parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. İlk iki günde görece taze ağırlık ve günlük su alımında bir artış gözlemlenirken, takip eden günlerde bu değerlerde bir azalma yaşanmıştır. Ancak nanopartikül eklenmiş vazolarda, görece taze ağırlık ve günlük su alımı artmaya devam etmiş ve kontrol grubuna kıyasla vazo ömrü belirgin bir şekilde uzamıştır. Nanopartikül uygulamaları, vazo ömrünü ve çiçek kalitesini olumlu yönde etkilemiş, ayrıca nano bakırın vazo suyuna eklenmesi, nano gümüşe göre daha yüksek bir etki göstererek vazo ömrünü diğer tüm uygulamalara kıyasla önemli ölçüde uzatmıştır. Sonuç olarak, nano bakırın antimikrobiyal aktiviteyi azaltarak vazo ömrünü uzattığı ve vazo suyuna besleyici bir etki sağladığı belirlenmiştir.



2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Bitki Materyalleri ve Özellikleri

Bu tez çalışmasında bitkisel materyal olarak Gök üzüm meyvesi kullanılmıştır. Gök üzüm, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yetiştirilen ve genellikle beyaz üzüm çeşitleri arasında yer alan bir üzümdür. Çeşidin özellikleri aşağıda verilmiştir:

Renk: Genellikle yeşil veya sarımtırak renkte olabilir.

Tat: Tatlı ve hafif aromalıdır.

İklim isteği: Genellikle sıcak, güneşli bölgelerde yetişir (Keskin vd. 2022; Karakus vd. 2023).



Fotoğraf 2.1 Hasat edilmiş Gök üzüm.

Araştırma, 2024 yılında Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan üzümler, Bolu ili Seben ilçesinden temin edilmiş ve Eylül ayının başında, tam olgunluk döneminde hasat edilmiştir. Olgunluk, üzüm tanelerinin çeşide has renge ulaşması ve toplam

SÇKM içeriğinin 18-20% değerine ulaşması kriterine göre belirlenmiştir. Hasat edilen üzümler, Aynı gün Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü laboratuvarlarına getirilerek denemeler kurulmuştur.

2.2 Meyve Materyalinin Uygulamaya Hazırlanması

Çürük, ezik ve yaralı olan tüm meyveler ayrılarak, tamamen sağlıklı görünen üzümler uygulamaya alınmıştır (Fotoğraf 2.2). İlk aşamada salkımlar %0,5 çamaşır suyu içeren saf suya daldırılmış ve 5 dakika boyunca dezenfekte edilmiştir. Daha sonra üzümler dört farklı uygulamaya ayrılmıştır. Üzümler, her bir uygulama için ayrı ayrı oda sıcaklığında beş dakika boyunca ilgili çözeltiye daldırılmıştır. Çalışmada kontrol (saf su), 0,5 mM putresin (PUT), 30 ppm CuNP ve CuNP+PUT olarak uygulamaları kullanılmıştır.



Fotoğraf 2.2 Uygulamadan sonra kurutulmaya alınmış salkımlar.

Üzüm meyveleri uygulamadan sonra, her bir uygulamanın adı ve tekerrür numarasının yazıldığı düşük yoğunluklu polietilen gıda paketlerine konulmuş ve $4 \pm 0,5$ °C sıcaklıkta ve 90 ± 5 % nem oranındaki soğuk hava deposuna yerleştirilmiştir (Fotoğraf 2.3). Çalışmada ölçümler, depolama başlangıcında 7., 14. ve 21. günlerde yapılmıştır.



Fotoğraf 2.3 Kurutma sonrası etiketlenerek soğuk odaya götürülen örnekler.

2.3 Ağırlık kaybı

Ağırlık kaybı, 7, 14 ve 21. günlerde depodan çıkarılan örneklerin 0.001 g duyarlılıktaki hassas terazi ile tartılmasıyla aşağıdaki formül göre belirlenmiştir:

$$\text{Ağırlık kaybı} = [(\text{ilk ağırlık} - \text{son ağırlık}) / \text{ilk ağırlık}] \times 100$$

2.4 Kalite Analizleri

2.4.1 Meyve kabuk rengi

Üzüm meyvesinin renk değerlerini belirlemek için Colorimeter NR60CP (3nh Technology Co. Ltd) kullanılmıştır. Ölçümden önce üzümler dikkatlice seçilip temizlenmiş ve yüzeylerinin tamamen kuru olmasına özen gösterilmiştir. Cihaz, ölçümden önce beyaz veya siyah bir yüzeye kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonrası üzümler teker teker sensöre yerleştirilmiş, cihazın aydınlatması ve yansıyan ışığın analiziyle L*, a*, b*, Hue ve Chroma değerleri kaydedilmiştir.

2.4.2 Meyve suyu pH'sı

Üzüm meyvelerinin pH değeri, Thermo Scientific Orion Star A111 cihazıyla ölçülmüştür. Ölçüm için üzümler elle sıkılarak yaklaşık 5 ml taze meyve suyu hazırlanmış, temiz bir kaba aktarılmış ve cihaz kalibre edilmiştir. pH elektrodu, meyve suyuna daldırılarak asitlik seviyesi ölçülmüş ve sonuç cihaz ekranında gösterilmiştir. Doğru sonuçlar için elektrot ölçüm öncesi saf suyla

temizlenip kurutulmuş, meyve suyu taze tutulmuş ve ölçüm sonrası elektrot uygun şekilde muhafaza edilmiştir.

2.4.3 Suda çözünabilir kuru madde (SÇKM)

Üzüm meyvesinin SÇKM miktarı taşınabilir el tipi refraktometre (ATC, BX50) ile ölçülmüştür. Önce üzümler elle sıkılarak yaklaşık 5 ml taze meyve suyu hazırlanmış, temiz bir kaba aktarılmıştır. Refraktometre cihazı temizlendikten sonra prizmaya birkaç damla meyve suyu damlatılmış ve ışık kırılma derecesi ölçülerek SÇKM değeri belirlenmiştir (Fotoğraf 2.4). Ölçüm sonrası cihaz temizlenip saklanmıştır.



Fotoğraf 2.4 SÇKM tayini

2.4.4 Titre edilebilir asit miktarı

Bu işlem, üzümlerden taze meyve suyu elde edilmesiyle başlamıştır. Meyveler elle sıkılarak yaklaşık 5 ml üzüm suyu hazırlanmıştır. Elde edilen meyve suyu, ölçümün doğru yapılabilmesi için temiz bir kaba aktarılmış ve herhangi bir yabancı maddeden arındırılmıştır.

Hazırlanan üzüm suyu numunesi, bir titrasyon kabına alınmış ve pH ölçüm cihazı yardımıyla başlangıç pH değeri ölçülmüştür. Titrasyon işlemi sırasında,

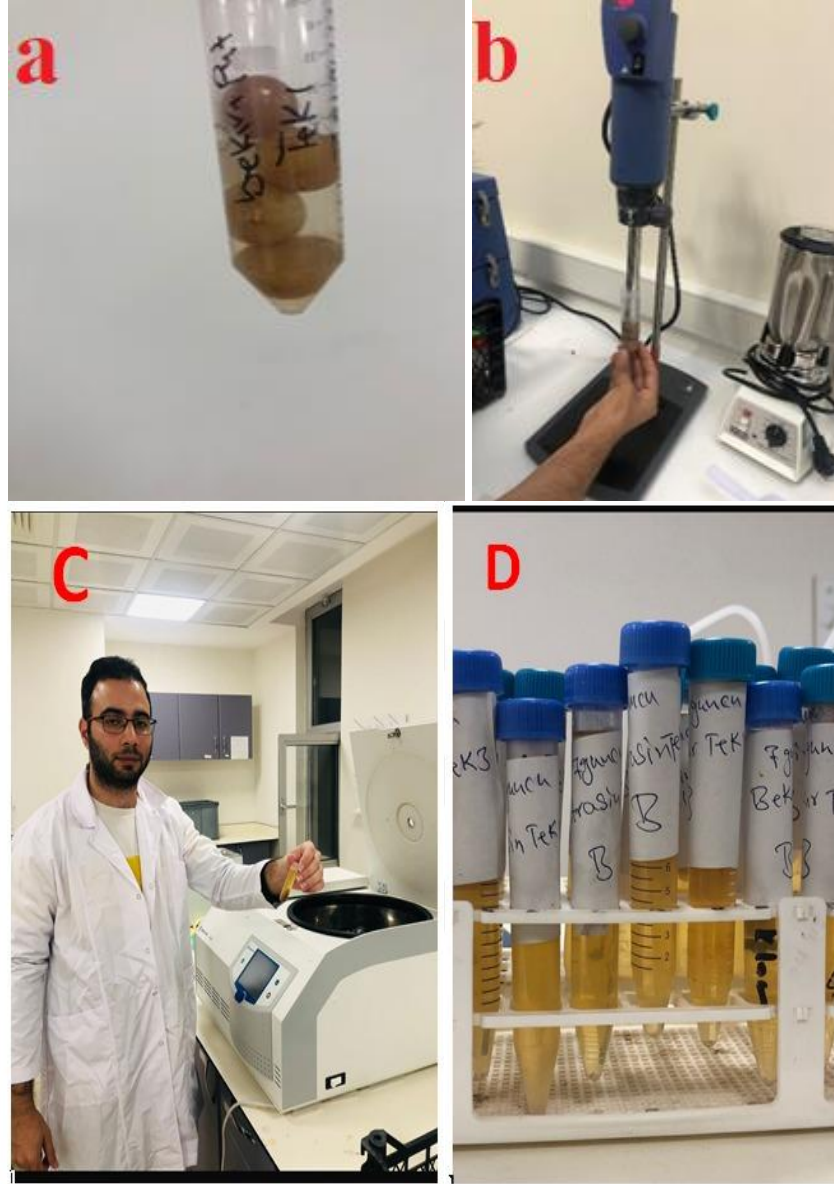
üzüm suyunun asitliğini nötralize etmek amacıyla, küçük miktarlarda 0,1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi dikkatlice eklenmiştir. Her ekledikten sonra, numunenin pH değeri ölçülmüş ve karışım iyice homojen hale getirilmiştir. Bu işlem, pH değeri 8,1 seviyesine ulaşana kadar tekrarlanmıştır (Fotoğraf 2.5). titrasyon asitliği miktarı tartarik asit eşdeğerliği cinsinden Cemeroğlu (2007) tarafından bildirilen formüle göre hesaplanmıştır.



Fotoğraf 2.5 Titrasyon işleminin yapılışı

2.5 Biyokimyasal analizler

Biyokimyasal analizler için bilinen gramda üzüm örneği 5 ml metanolde (%90) homojenize edilmiştir. Daha sonra bu homojenat 10000 devir/dakikada santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrasında süpernatant kısım kapaklı falcon tüplere alınmış ve biyokimyasal analizler bu süpernatandan alınan örneklerle gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 2.6).



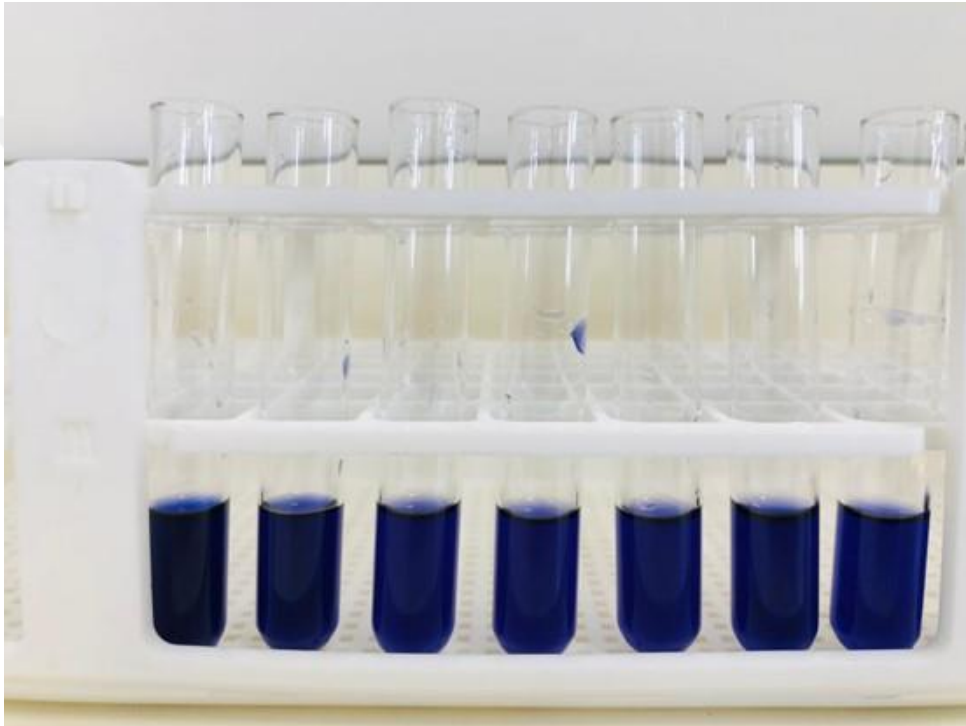
Fotoğraf 2.6 Biyokimyasal içeriklerin analizi için metanole numunenin alınması (a), örneklerin homojenize edilmesi (b), santrifüjlenmesi (c) ve analize hazır numuneler (d).

2.5.1 Toplam antosiyanin miktarı tayini

Üzümdeki antosiyaninlerin analizi için 500 mikrolitre taze üzüm suyu örneği kullanılmıştır. Analiz işlemi, 500 mikrolitre meyve suyu örneğinin, 2000 mikrolitre 1/30/70 (v/v/v) oranında hazırlanmış HCl/etanol/su karışımına eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Karışım homojen hale getirildikten sonra, numuneler spektrofotometreye yerleştirilmiş ve 540 nm dalga boyunda absorbans ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, antosiyanin miktarını belirlemek için standart bir referans eğrisi kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.5.2 FRAP analizi

FRAP analizi için 40 mikrolitre üzüm suyu örneği, 1500 mikrolitre FRAP reaktifi ile karıştırılarak ölçüm yapılmıştır. FRAP reaktifi; asetat tamponu (pH 3.6), TPTZ çözeltisi ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinden oluşmuş ve 10:1:1 oranında hazırlanmıştır. Karışım homojen hale getirildikten sonra oda sıcaklığında 4-8 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Ardından spektrofotometrede 593 nm dalga boyunda absorbans ölçümü gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları standart eğri kullanılarak değerlendirilmiştir. FRAP reaktifi taze hazırlanmış ve ışıktan korunmuştur. Standart için 2 mM askorbik asit seri sulandırılarak hazırlanmıştır.

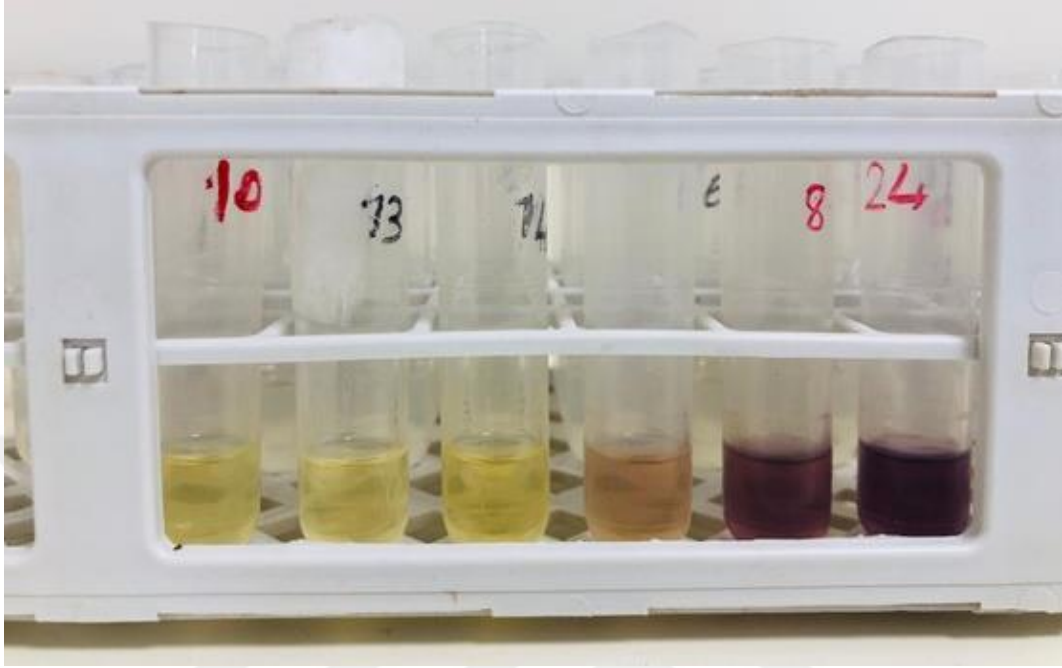


Fotoğraf 2.7 İki milimolar Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlanmış FRAP standartları

2.5.3 DPPH analizi

Üzümdeki antioksidan aktiviteyi belirlemek için DPPH analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, 2 mM askorbik asit seri dilüsyon yöntemiyle standart çözelti olarak hazırlanmıştır. Numune analizi için 100 μL üzüm suyu, 1500 μL etanol ve 500 μL DPPH solüsyonu bir tüpte karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım, homojen hale getirildikten sonra oda sıcaklığında karanlık bir ortamda kısa bir süre inkübasyona bırakılmıştır. Numunelerin ışık absorpsiyonu, spektrofotometre kullanılarak 517 nm dalga boyunda ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar standart eğriye

göre değerlendirilmiştir. Bu yöntem, üzümdeki serbest radikal giderme kapasitesini belirlemek için etkili bir analiz sunmaktadır.



Fotoğraf 2.8 DPPH standartları. 2 mM Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlandı.

2.5.4 CUPRAC analizi

Üzümdeki antioksidan kapasiteyi belirlemek için CUPRAC analizi yapılmıştır. Standart eğri oluşturmak amacıyla 2 mM askorbik asit seri dilüsyon yöntemiyle hazırlanmıştır. CUPRAC analizi için 40 µL üzüm suyu örneği, 1500 µL CUPRAC reaktifi ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım homojen hale getirildikten sonra oda sıcaklığında kısa bir süre bekletilmiştir. Numunelerin ışık Emilimi, spektrofotometre ile 450 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, standart eğriye göre değerlendirilmiş ve üzümlerdeki toplam antioksidan kapasite hesaplanmıştır. Bu yöntem, üzümlerin antioksidan potansiyelini hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlemek için kullanılmıştır.



Fotoğraf 2.9 İki mM Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlanmış CUPRAC standartları

2.5.5 ABTS+ indirgenme analizi

ABTS radikal süpürücü aktivitesi, Li vd. (2008) tarafından tanımlanan yöntemle bazı modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. ABTS⁺ stok çözeltisi, 7 mM ABTS'nin sulu çözeltisinin eşit hacimde 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile reaksiyona sokulmasıyla hazırlanmıştır. Bu karışım, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 12-16 saat boyunca reaksiyona bırakılarak ABTS⁺ radikalinin oluşumu sağlanmıştır. Daha sonra, 1 ml ABTS⁺ çözeltisi, farklı konsantrasyonlarda (0,05-0,30 mg/ml) hazırlanan 0,50 ml sulu ekstrakt veya standart (askorbik asit) ile karıştırılmıştır. Karışım, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda tam olarak 10 dakika inkübe edilmiştir. Kontrol çözeltisi, 1 ml ABTS⁺ çözeltisinin 0,50 ml çift damıtılmış su ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Süpürücü aktivitesi Askorbik asitin seri sulandırılmasıyla hazırlanmış standartlardan elde edilen eğriyle hesaplanmıştır.

2.5.6 Toplam çözünebilir karbonhidrat analizi

Üzümdeki karbohidrat miktarını belirlemek için fenol-sülfirik asit metodu kullanılmıştır. Kısaca, 50 mikrolitre metanolik ekstrakt 20 mikrolitre fenol ve 1500 mikrolitre konsantre sülfirik asit ile karıştırılmıştır. Karışım homojen hale getirildikten sonra spektrofotometre cihazı kullanılarak 490 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Analizde standart olarak glikoz kullanılmış ve standartlar %10'luk glikoz çözeltisinin seri sulandırılmasıyla hazırlanmıştır. Standartlara da örneklerle uygulanan prosedürün aynısı uygulanmış ve elde edilen eğrinin denklemi

kullanılarak örneklerin içerdği gerçek çözünebilir karbonhidrat miktarı bu denklem yardımıyla belirlenmiştir.

2.5.7 Toplam çözünebilir protein tayini

Üzümdeki çözünebilir protein miktarını belirlemek için Bradford analizi uygulanmıştır. Protein analizi için 100 µL üzüm suyu örneği, 1500 µL Bradford reaktifi ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım homojen hale getirildikten sonra oda sıcaklığında kısa bir süre inkübasyona bırakılmıştır. Numunelerin ışık absorbansı, spektrofotometre kullanılarak 595 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Bu analizde, standart eğri oluşturmak amacıyla %10 sığır serum albumini seri dilüsyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan standartlar örneklerle aynı prosedüre tabi tutulmuş ve bunların ölçümüyle standard eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, standart eğriye göre değerlendirilmiş ve üzümlerdeki toplam protein miktarı hesaplanmıştır.

2.5.8 Toplam fenolik madde tayini

Toplam fenolik madde tayini Waterhouse (2002) tarafından bildirilen yöntem modifiye edilerek yapılmıştır. Kısaca, 50 mikrolitre örneğin üzerine 1600 mikrolitre saf su ve 50 mikrolitre Folin-Ciocalteu eklenmiş ve karıştırılmıştır. Daha sonra üzerine 300 mikrolitre %7'lik sodium karbonat çözeltisi eklenerek vortexle güzelce karıştırılmıştır. Karışım 2 saat karanlıkta bekletildikten sonra örneklerin absorbansları spektrofotometre yardımıyla 760 nm dalga boyunda okunmuştur. Standard olarak 1 mM'dan seri sulandırılan gallik asit kullanılmış ve standard hazırlanırken de yukarıdaki protokolün aynısı kullanılmıştır. Standarttan elde edilen eğrinin formülü yardımıyla toplam fenolik madde içerikleri gerçek değerlere çevirilmiştir.

2.5.9 Toplam flavonoid miktarı tayini

Üzümdeki flavonoid miktarını belirlemek için spektrofotometrik bir analiz yapılmıştır. Standart eğri oluşturmak amacıyla 0.2 mM askorbik asit seri dilüsyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Flavonoid analizi için 100 µL üzüm suyu, 100 µL alüminyum nitrat çözeltisi, 100 µL sodyum nitrat çözeltisi, 800 µL sodyum hidroksit çözeltisi ve 1000 µL etanol bir tüpte karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım homojen hale getirildikten sonra oda sıcaklığında kısa bir süre bekletilmiştir. Numunelerin ışık emilimi, spektrofotometre ile 431 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, standart eğri kullanılarak değerlendirilmiş ve üzümlerdeki

flavonoid içeriği hesaplanmıştır. Bu yöntem, üzümlerdeki flavonoid seviyesini hızlı ve hassas bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır.

2.5.10 Enzim analizleri

Enzim analizlerine hazırlanması: Dondurucuda muhafaza edilen üzümlerden 1-2 adet üzüm numunesi alınarak tartımları yapılmıştır. Daha sonra analizler için gerekli uygulama, homojenizasyon makinesi ve santrifüj cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki resimde de görüldüğü gibi, bu işlem sonucunda üzüm suyu elde edilmiştir. Özellikle enzim analizlerinde, enzimin bozulmadan ve zarar görmeden korunabilmesi için meyve suyu örneklerinin mutlaka buz içerisinde saklanması gerektiği önemle vurgulanmalıdır. Bu aşamadan sonra, gerekli ölçümlerin yapılabilmesi için hazırlık sürecine başlanır.

2.5.11 MDA analizi

MDA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz için, 1 gram üzüm örneği 3 mL %10'luk TCA içerisinde çözülmüş %0.6 TBA ile karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. %10 TCA içerisinde %0.6 TBA hazırlamak için, 25 gram TCA 250 mL'lik bir behere alınmış, üzerine 100 mL saf su eklenmiş, ardından 1.5 gram TBA sıcak saf suda çözülerek TCA çözeltisine ilave edilmiş ve son hacim 250 mL'ye tamamlanmıştır.

Hazırlanan karışım, 100 °C'de su banyosunda 15 dakika inkübe edilmiş, ardından buz banyosunda hızla soğutulmuştur. Soğutulan numuneler, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiş ve elde edilen süpernatant kısmı alınmıştır. Örneklerin absorbansı spektrofotometre kullanılarak 450 nm, 532 nm ve 600 nm dalga boylarında ölçülmüştür.

MDA miktarı; $MDA (\mu\text{mol/g/FW}) = 6.45 \times (532 \text{ nm} - 600 \text{ nm}) - (0.56 \times 450 \text{ nm})$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek miktarı 1 gramdan farklı olduğunda, sonuçlar örnek miktarına göre düzeltilerek 1 gram eşdeğerine dönüştürülmüştür.

2.5.12 H₂O₂ analizi

İlk olarak, örnekler %0.1'lik trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. Bu çözeltinin hazırlanması için 1 gram TCA, 1 litre saf suda çözülmüştür. Elde edilen ekstraktan 0,5 mL alınmış ve üzerine 0,5 mL 100 mM potasyum fosfat tamponu ile 2 mL 0,1 M potasyum iyodür (KI) eklenmiştir.

Standart eğri oluşturulması amacıyla, farklı derişimlerde hidrojen peroksit (H_2O_2) çözeltileri hazırlanmıştır. %35'lik sıvı H_2O_2 'den 100 mL 1 mM stok çözeltisi, 10 μ L H_2O_2 'nin 100 mL saf suda çözülmesiyle elde edilmiştir. Bu stok çözeltisinden alınan 100 μ L, 5 mL'lik bir tüpe konmuş, üzerine 900 μ L saf su eklenerek 100 μ M H_2O_2 çözeltisi hazırlanmıştır. Ardından, seri sulandırma işlemi uygulanarak toplam yedi-sekiz farklı derişimde çözelti elde edilmiştir.

Karışımlar, karanlık bir ortamda 1 saat bekletilmiş ve ardından absorbens değerleri 390 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

SOD, CAT ve APXEkstraksiyonu

0,2 gram örnek, 0,5 mM sodyum EDTA içeren 2 mL 0.1 M potasyum fosfat tamponunda homojenize edilmiştir. APX analizi için, fosfat tamponuna 1 mM L-askorbik asit eklenmiştir. Bu tampon çözeltisi, 0,017 gram sodyum EDTA ve 1,42 gram potasyum fosfatın 100 mL saf su içinde çözülmesiyle hazırlanmıştır. APX analizi için, bu çözeltiliye 0,035 gram L-askorbik asit eklenmiştir.

2.5.13 SOD analizi

Analiz için 3 mL reaksiyon karışımı hazırlanmış ve karışım şu bileşenleri içermiştir: 13,33 mM metionin, 75 μ M nitroblue tetrazolyum (NBT), 0.1 mM EDTA, 50 mM fosfat tamponu (pH 7.8), 50 mM sodyum karbonat ve 0.1 mL enzim ekstraktı. Reaksiyonu başlatmak için 2 mM riboflavin çözeltisinden 0.1 mL eklenmiş ve tüpler 15 dakika boyunca ışık altında bekletilmiştir. Absorbans değerleri, spektrofotometre ile 560 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

Hesaplama:

SOD aktivitesi, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{SOD aktivitesi} = (A_{\text{kör}} - A_{\text{okunan}}) / A_{\text{kör}} \times 100 \times \text{sulandırma faktörü}$$

Bu formülde:

- $A_{\text{kör}}$, kontrol numunesine ait absorbens değerini,
- A_{okuma} , okunan örnek absorbens değerini,
- Okunan çözelti hacmi, ölçümde kullanılan toplam çözeltinin hacmini,
- Sulandırma faktörü, örneğin sulandırılma oranını ifade etmektedir.

2.5.14 APX analizi

Reaksiyon karışımı, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7,0), 0,5 mM askorbik asit ve 0,1 mM EDTA içerecek şekilde hazırlanmıştır. Analiz için, 2,9 mL

reaksiyon karışımına 0,1 mL örnek ekstraktı eklenmiş 290 nm dalga boyunda dakikadaki absorbans değişimi kaydedilmiştir.

2.5.15 CAT analizi

Kimyasalların hazırlanması ve analiz süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir: 50 mM fosfat tamponu (pH 7) hazırlamak için, 0.68 potasyum fosfat tartılarak saf su ile 100 mL'ye tamamlanmıştır. Elde edilen tamponun pH'ı 7'ye ayarlanmıştır; eğer pH düşükse sodyum hidroksit, yüksekse hidroklorik asit kullanılarak ayarlama yapılmıştır. %0.036 hidrojen peroksit çözeltisi hazırlamak için, mevcut %35'lik hidrojen peroksitten 100 mikrolitre alınmış ve saf su ile 100 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan fosfat tamponu ve hidrojen peroksit çözeltisi aynı beherde karıştırılarak reaksiyon karışımı elde edilmiştir.

Analiz sırasında, spektrofotometre cihazı 240 nm dalga boyuna ayarlanmıştır. Reaksiyon karışımından 3 mL alınarak kuvars küvete konmuş ve spektrofotometreye yerleştirilmiştir. Daha sonra, küvete 100 mikrolitre örnek ekstraktı eklenmiş ve küvetin kapağı kapatılmıştır. İlk ölçüm yapılarak sıfırcı saniyedeki absorbans değeri kaydedilmiştir. Ardından, 60 saniye beklenmiş ve ekranda görülen absorbans değeri ikinci ölçüm olarak not edilmiştir.

2.6 Deneme deseni ve istatistiki değerlendirmeler

Çalışma iki faktörlü (uygulama ve depo süresi) olarak faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Elde edilen veriler önce iki yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve faktörlerin önem dereceleri belirlenmiştir. F değerinin önemli çıkması durumunda ortalamalar arasındaki farklılığın değerlendirilmesi için Fisher's LSD (asgari önemli fark) testi uygulanmıştır. Denemenin planlanmasında ve verilerin analizinde JMP Pro 16 istatistik programından (SAS, ABD) faydalanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1 pH

Depolama süresi pH üzerinde çok güçlü bir etkiye sahiptir ($p \leq 0,001$). Uygulamalar ise bu parametreyi daha düşük bir düzeyde anlamlı şekilde etkilemiştir ($p \leq 0,05$). Depolama süresi ve uygulamaların etkileşimi ise oldukça anlamlıdır ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca, 0. günde pH 4.03 ile en yüksek seviyede gözlemlenirken, 7. günde 3,73, 14. günde 3,74 olarak ölçülmüş ve 21. günde 3,70 ile en düşük seviyeye gerilemiştir. Uygulama gruplarına göre değerlendirildiğinde, en yüksek pH değeri CuNP uygulamasında (3,84), en düşük pH değeri ise CuNP+PUT uygulamasında (3,73) gözlemlenmiştir. İnteraktif etkilere göre, 0. günde 4,03 ile en yüksek pH değerleri görülmüş, en düşük değer ise 3,59 ile CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde kaydedilmiştir. Buna karşılık, CuNP uygulaması, 21. günde 3,78 pH ile diğer uygulamalara kıyasla daha stabil bir pH seviyesi sağlamıştır (Tablo 3.1).

3.2 Suda çözünabilir kuru madde miktarı (SÇKM)

Depo süresinin SÇKM üzerindeki etkisi anlamlı sonuçlar vermiştir ($p \leq 0,001$). Uygulamalar açısından, SÇKM üzerinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p \leq 0,05$). Ancak, SÇKM üzerine interaktif etkiler anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Depo süresi boyunca, 0. günde SÇKM değeri %22,50 iken, 7. günde %16,21 ile en düşük seviyeye gerilemiş, 21. günde ise %17,81 ile hafif bir artış göstermiştir. Uygulama gruplarına göre incelendiğinde, CuNP uygulaması %19,29 ile en yüksek SÇKM değerini sağlarken, CuNP+PUT uygulaması %17,75 ile en düşük değeri göstermiştir. İnteraktif etkilere göre, en yüksek SÇKM değeri tüm uygulamalarda 0. günde %22,50 olarak gözlemlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değer %15,00 ile PUT uygulamasının 7. gününde kaydedilmiştir. Ancak, 0. günden sonra en yüksek SÇKM değeri CuNP (30 ppm) uygulamasında, 7. günde %19,00 olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.1).

3.3 Titre edilebilir asit miktarı (TA)

Depo süresinin TA üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,05$) Uygulamalar açısından, TA üzerinde de istatistiksel anlamlılık meydana gelmiştir ($p \leq 0,05$). TA üzerinde interaktif etkilerin anlamlı bir değişim yarattığı belirlenmiştir ($p \leq 0,05$). Depolama süresinin TA üzerinde önemli bir etkisi olduğu

bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Depo süresi boyunca TA değerleri, 0. günde 6,44 g/L iken, Daha sonra 7. günde 6,73'e yükseldi. 14. günde 7,75 g/L ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Daha sonra 21. günde 7,64 g/L'ye gerilemiştir. Uygulama gruplarına göre bakıldığında, CuNP uygulaması ve CuNP+PUT uygulaması 7,74 g/L ile en yüksek TA değerine sahipken, PUT uygulaması 6,14 g/L ile en düşük değeri göstermiştir. İnteraktif etkilere göre, CuNP+PUT uygulamasının 14. gününde 10,51 g/L ile en yüksek TA değeri gözlemlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değer 5,40 g/L ile PUT uygulamasının 7. gününde kaydedilmiştir (Tablo 3.1).

3.4 Ağırlık kaybı

Depo süresi ve uygulamaların ağırlık kaybı üzerindeki etkileri analiz edildiğinde, depo süresinin ağırlık kaybı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p \leq 0,001$). Çalışmanın sonuçlarına göre 0. günde ağırlık kaybı %0 seviyesinde kalırken, 7. günde ortalama ağırlık kaybı %3,93'e yükselmiş ve 14. günde bu değer %3,98 ile 7. gün seviyesine benzer bir sonuç vermiştir. 21. günde ise ağırlık kaybı %5,01 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Uygulamaların ağırlık kaybı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış ($p > 0,05$), ancak kontrol grubu %2,46 ile en düşük ağırlık kaybını yaşarken, PUT ve CuNP+PUT uygulaması %4,23 ile en yüksek ağırlık kaybını sergilemiştir. Uygulama ve depo süresi arasındaki etkileşim de istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte ($p > 0,05$), 21. günde kontrol grubunda %6,26 ile en yüksek ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca, PUT ve CuNP kombinasyonunun depo süresinin ilerleyen dönemlerinde ağırlık kaybını azaltma potansiyeli gösterdiği bulunmuştur; örneğin, PUT+CuNP kombinasyonu 21. günde %8,06 ağırlık kaybı ile dikkat çekmişken, PUT (yalnız) uygulaması %4,38 ile kontrol grubuna göre daha düşük bir kayıp sergilemiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Uygulamalara ve depo zamanlarına göre bazı kalite parametrelerinin değişimi

Uygulama	Ağırlık kaybı (%)	SÇKM (%)	PH	TA (g/L)	
Kontrol	2,46 ± 0,44 a	18,33 ± 0,96 a	3,81 ± 0,05 a	6,94 ± 0,33 ab	
CuNP	2,83 ± 0,95 a	19,29 ± 0,72 a	3,84 ± 0,05 a	7,74 ± 0,55 a	
PUT	3,48 ± 0,96 a	17,79 ± 0,94 a	3,82 ± 0,05 a	6,14 ± 0,20 b	
CuNP+PUT	4,23 ± 1,67 a	17,75 ± 0,94 a	3,73 ± 0,06 a	7,74 ± 0,54 a	
Depo süresi					
0	0,00 ± 0,00 b	22,50 ± 0,05 a	4,03 ± 0,04 a	6,44 ± 0,04 b	
7	3,93 ± 0,80 a	16,21 ± 0,62 c	3,73 ± 0,02 b	6,73 ± 0,58 ab	
14	3,98 ± 0,87 a	16,55 ± 0,62 bc	3,74 ± 0,03 b	7,75 ± 0,51 a	
21	5,01 ± 1,41 a	17,81 ± 0,54 b	3,70 ± 0,04 b	7,64 ± 0,44 ab	
Depo süresi × Uygulama					
Kontrol	0	0,00 ± 0,00 c	22,50 ± 0,12 a	4,03 ± 0,09 a	6,44 ± 0,09 bc
	7	3,05 ± 0,15 abc	15,50 ± 1,04 de	3,67 ± 0,02 bcd	6,80 ± 1,11 bc
	14	3,30 ± 0,22 abc	15,33 ± 0,67 e	3,74 ± 0,02 bcd	6,90 ± 0,69 bc
	21	3,50 ± 0,15 abc	20,00 ± 0,00 b	3,81 ± 0,06 bc	7,60 ± 0,61 bc
CuNP	0	0,00 ± 0,00 c	22,50 ± 0,12 a	4,03 ± 0,09 a	6,44 ± 0,09 bc
	7	2,49 ± 0,44 bc	19,00 ± 1,15 bc	3,78 ± 0,06 bc	8,00 ± 2,00 ab
	14	5,74 ± 3,35 ab	18,00 ± 1,53 bc	3,77 ± 0,08 bc	7,99 ± 0,60 ab
	21	3,08 ± 0,20 abc	17,67 ± 0,67 cd	3,78 ± 0,05 bc	8,51 ± 1,00 ab
PUT	0	0,00 ± 0,00 c	22,50 ± 0,12 a	4,03 ± 0,09 a	6,44 ± 0,09 bc
	7	6,56 ± 2,95 ab	15,00 ± 0,58 e	3,76 ± 0,06 bc	5,40 ± 0,46 c
	14	3,01 ± 0,16 abc	15,33 ± 0,88 e	3,81 ± 0,00 b	6,50 ± 0,44 bc
	21	4,38 ± 0,38 abc	18,33 ± 0,33 bc	3,67 ± 0,06 bcd	6,20 ± 0,36 bc
CuNP+PUT	0	0,00 ± 0,00 c	22,50 ± 0,12 a	4,03 ± 0,09 a	6,44 ± 0,09 bc
	7	3,62 ± 0,34 abc	15,33 ± 0,67 e	3,70 ± 0,02 bcd	6,70 ± 0,56 bc
	14	3,81 ± 0,97 abc	18,00 ± 1,00 bcd	3,61 ± 0,06 cd	10,51 ± 0,00 a
	21	8,06 ± 4,58 a	15,88 ± 1,01 de	3,59 ± 0,06 d	8,10 ± 1,02 ab
ANOVA					
$F_{\text{depo süresi}}$	4,70**	53,71***	24,04***	3,08*	
F_{uygulama}	0,40öd	3,00*	2,09öd	4,09*	
$F_{\text{depo süresi} \times \text{uygulama}}$	0,75öd	3,73**	0,94öd	1,16öd	

Aynı sütun içerisinde farklı harflerle ifade edilen değerler arasında anlamlı farklılık vardır ($p \leq 0,05$). öd: önemli değil, *, **, *** sırasıyla $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ ve $p \leq 0,001$ derecesinde önemi belirtmektedir.

3.5 a* değeri

Depolama süresinin a* değeri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır ($p > 0,05$). Benzer şekilde, uygulamalar ve depolama süresi-uygulama etkileşimi de a* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmamıştır ($p > 0,05$). Bu bulgular, depolama süresi ve uygulamaların a* değeri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Depolama süresi boyunca a* değeri, tüm dönemler boyunca benzer seviyelerde kalmıştır. Özellikle, 0. günde 3,18, 7. günde 3,21, 14. günde 3,10 ve 21. günde 3,51 olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, depo süresinin bu

parametre üzerindeki etkisinin minimal olduğunu ortaya koymaktadır. Uygulamalar açısından ise en yüksek a^* değeri CuNP+PUT uygulamasında 3,78 olarak kaydedilmiş, en düşük değer ise PUT uygulamasında 3,06 olarak belirlenmiştir. Bu, farklı uygulamaların a^* değeri üzerinde anlamlı farklılıklar yarattığını göstermektedir. İnteraktif etkilere bakıldığında ise, en yüksek a^* değeri CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde 4,67 olarak ölçülmüştür. Buna karşın, en düşük değer CuNP+PUT uygulamasının 14. gününde 2,62 olarak kaydedilmiştir (Tablo 3.2). Bu bulgular, uygulamalar arasındaki etkileşimin, özellikle depolama süresinin sonlarında, a^* değeri üzerinde değişimlere yol açabileceğini göstermektedir.

3.6 Hue değeri

Depolama süresinin Hue değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı bulunmuştur ($p > 0,05$). Aynı şekilde, uygulamaların Hue değeri üzerindeki etkileri de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Ancak, depolama süresi ve uygulamalar arasındaki etkileşim (Uygulama*Gün) Hue değeri üzerinde sınırlı düzeyde anlamlı bir etkiye sahiptir ($p \leq 0,05$). Depolama süresine göre, 0. günde 74,72 olan Hue değeri, 7. günde hafif bir düşüşle 46,74'e gerilemiştir. Ardından, 14. günde 69,32 ile en düşük seviyeye gerileyen bu değer, 21. gün sonunda tekrar artarak 75,12 seviyesine ulaşmıştır. Bu değişiklikler, depolama süresinin Hue değeri üzerindeki etkilerini göstermektedir. İncelenen uygulamalar arasında, en yüksek Hue değeri Kontrol uygulamasında 75,26 olarak ölçülürken, en düşük değer ise CuNP+PUT uygulamasında 69,91 olarak kaydedilmiştir. Bu bulgular, uygulamalar arasında belirgin farkların olduğunu ortaya koymaktadır. İnteraktif etkilere göre, en yüksek Hue değeri, 76,80 ile Kontrol uygulamasının 21. gününde elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değer ise 45,21 ile CuNP+PUT uygulamasının 14. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.2). Bu, uygulamaların etkileşimiyle birlikte, Hue değeri üzerinde değişimlerin görülebileceğini göstermektedir.

3.7 Chroma değeri

Depolama süresinin Chroma değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0,05$). Ancak, uygulamaların Chroma değeri üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Depolama süresine göre Chroma

değeri, 0. günde 12,00 seviyesindeyken, 7. günde bu değer 11,27'ye düşmüş, 14. günde ise 13,01 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ancak, 21. günde 33,11 ile tekrar gerilemiştir. Bu, depolama süresi boyunca Chroma değerinin dalgalandığını göstermektedir. Uygulamalara göre en yüksek Chroma değeri CuNP+PUT uygulamasında 12,08 olarak belirlenirken, en düşük değer ise PUT uygulamasında 11,31 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, farklı uygulamaların Chroma değeri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. İnteraktif etkilere göre en yüksek Chroma değeri, 14,33 ile CuNP uygulamasının 14. gününde elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değer ise 9,84 ile PUT uygulamasının 21. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.2). Bu bulgular, uygulamalar arasındaki etkileşimin Chroma değeri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

3.8 L* değeri

Depolama süresinin L* değeri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır ($p > 0,05$). Aynı şekilde, uygulamaların ve depolama süresi-uygulama etkileşimlerinin de bu parametre üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir ($p > 0,05$). Bu sonuçlar, depolama süresi ve uygulamaların L* değeri üzerinde belirgin bir değişim yaratmadığını göstermektedir. Depolama süresine göre L* değeri depolama boyunca küçük dalgalanmalar göstermiştir. 0. günde 22,28, 7. günde 21,75, 14. günde 22,61 ve 21. günde ise 21,85 olarak kaydedilmiştir. Bu değişimler, L* değerinin depolama süresiyle birlikte sınırlı bir değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Uygulamalara göre en yüksek L* değeri Kontrol uygulamasında 22,37 olarak tespit edilirken, en düşük değer PUT uygulamasında 21,88 olarak kaydedilmiştir. İnteraktif etkilere göre en yüksek L* değeri, 22,87 ile PUT uygulamasının 14. gününde elde edilmiştir. Bu, parlaklığın bu dönemde en üst seviyeye ulaştığını göstermektedir. Buna karşın, en düşük değer ise 19,63 ile PUT uygulamasının 21. gününde ölçülmüştür (Tablo 3.2).

3.9 b* değeri

Depolama süresinin b* değeri üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Ancak, uygulamaların tek başına etkisi anlamlı bulunmamış ve depolama süresi ile uygulamaların etkileşimi ise anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bu sonuçlar, sadece depolama süresinin b* değeri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu, ancak uygulamaların ve etkileşimlerinin bu parametre üzerinde etkili

olmadığını göstermektedir. Depolama süresine göre, başlangıçta 11,88 ile en yüksek seviyede olan b* değeri, 7. ve 21. günlerde 10,91 ile en düşük seviyeye gerilemiştir. 14. günde ise b* değeri tekrar artarak 11,70 seviyesine ulaşmıştır. Bu dalgalanmalar, depolama süresi boyunca b* değerinin değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Uygulamalara göre en yüksek b* değeri CuNP+PUT uygulamasında 11,87 olarak ölçülürken, en düşük b* değeri PUT uygulamasında 10,88 olarak kaydedilmiştir. Bu durum, farklı uygulamaların b* değeri üzerinde belirli etkiler yarattığını göstermektedir. İnteraktif etkilere göre, en yüksek b* değeri, 12,13 ile CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değer ise 9,44 ile PUT uygulamasının 21. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Renk değerlerinin uygulama ve depo süresine göre değişimleri.

Uygulama	a*	b*	Chroma	Hue	L*	
Kontrol	3,13 ± 0,15 a	11,41 ± 0,21 ab	12,06 ± 0,60 a	75,26 ± 0,46 a	22,37 ± 0,23 a	
CuNP	3,07 ± 0,11 a	11,17 ± 0,28 ab	12,01 ± 0,63 a	74,69 ± 0,58 a	21,99 ± 0,29 a	
PUT	3,06 ± 0,09 a	10,88 ± 0,33 b	11,31 ± 0,34 a	74,25 ± 0,46 a	21,88 ± 0,68 a	
CuNP+PUT	3,78 ± 0,50 a	11,87 ± 0,24 a	12,08 ± 0,24 a	69,91 ± 4,99 a	22,19 ± 0,22 a	
Depo süresi						
0	3.18 ± 0.06 a	11,88 ± 0,10 a	12,00 ± 0,17 ab	74,72 ± 0,20 a	22,28 ± 0,09 a	
7	3.21 ± 0.22 a	10,91 ± 0,25 b	11,27 ± 0,25 b	74,46 ± 0,71 a	21,75 ± 0,36 a	
14	3.10 ± 0.11 a	11,70 ± 0,23 a	13,01 ± 0,81 a	69,32 ± 5,42 a	22,61 ± 0,12 a	
21	3.51 ± 0.46 a	10,91 ± 0,36 b	11,33 ± 0,36 b	75,12 ± 0,53 a	21,85 ± 0,63 a	
Depo süresi × Uygulama						
Kontrol	7	3,17 ± 0,10 ab	11,64 ± 0,68 ab	13,74 ± 2,34 ab	74,30 ± 0,63 a	22,45 ± 0,26 a
	14	3,24 ± 0,65 ab	10,83 ± 0,31 bc	11,00 ± 0,29 cd	76,80 ± 1,46 a	22,66 ± 0,71 a
	21	3,50 ± 0,15 abc	20,00 ± 0,00 b	3,81 ± 0,06 bc	7,60 ± 0,61 bc	
CuNP	7	2,83 ± 0,37 b	10,05 ± 0,59 cd	10,14 ± 0,23 d	74,07 ± 2,37 a	21,10 ± 1,05 ab
	14	3,29 ± 0,17 ab	11,88 ± 0,10 ab	14,33 ± 1,95 a	74,75 ± 1,12 a	22,52 ± 0,24 a
	21	2,95 ± 0,09 b	10,86 ± 0,41 bc	11,56 ± 0,39 bcd	75,21 ± 0,27 a	22,06 ± 0,26 a
PUT	7	3,11 ± 0,15 b	10,87 ± 0,09 bc	11,61 ± 0,37 bcd	74,42 ± 0,99 a	22,73 ± 0,59 a
	14	3,15 ± 0,24 b	11,35 ± 0,42 ab	11,80 ± 0,47 bcd	74,99 ± 1,18 a	22,87 ± 0,26 a
	21	2,81 ± 0,17 b	9,44 ± 0,69 d	9,84 ± 0,73 d	72,85 ± 0,83 a	19,63 ± 2,49 b
CuNP+PUT	7	3,99 ± 0,70 ab	11,42 ± 0,65 ab	11,80 ± 0,55 bcd	74,13 ± 2,01 a	21,07 ± 0,10 ab
	14	2,62 ± 0,35 b	12,04 ± 0,74 ab	11,73 ± 0,05 abcd	45,21 ± 29,91 b	22,60 ± 0,34 a
	21	4,67 ± 1,36 a	12,13 ± 0,49 a	12,53 ± 0,52 abc	75,50 ± 0,30 a	22,76 ± 0,16 a
ANOVA						
F _{depo süresi}	0,28öd	6,20**	3,13*	2,6öd	1,15öd	
F _{uygulama}	0,86öd	3,47*	0,69öd	2,64öd	0,32öd	
F _{depo süresi × uygulama}	0,83öd	1,79öd	1,33öd	2,23*	1,57öd	

Aynı sütun içerisinde farklı harflerle ifade edilen değerler arasında anlamlı farklılık vardır ($p \leq 0,05$). öd: önemli değil, * ve ** sırasıyla $p \leq 0,05$ ve $p \leq 0,01$ derecesinde önemi ifade etmektedir.

3.10 Antosiyanin içeriği

Depolama süresinin antosiyanin içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Ancak, uygulamaların tek başına antosiyanin seviyelerine etkisi anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Depolama süresi ve uygulamalar arasındaki etkileşim ise oldukça anlamlıdır ($p \leq 0,01$). Depo süresi boyunca 0. gününde 4,23 mg/L olarak ölçülen antosiyanin miktarı, 21. gün sonunda 4,54 mg/L ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır ancak 14 günde 3,97 mg/L en düşük seviyede bulunmuştur. Uygulama gruplarına göre bakıldığında, CuNP+PUT uygulaması 4,32 mg/L ile en yüksek antosiyanin değerine sahipken, kontrol grubunda 4,08 mg/L ile en düşük değer elde edilmiştir. İnteraktif etkilere göre, CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde antosiyanin miktarı 5,47 mg/L ile zirveye ulaşmıştır Buna karşılık, en düşük değer ise 14. günde hem kontrol uygulamasında hem de CuNP+PUT uygulamasında 3,77 olarak gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).

3.11 CEAC değeri

Depolama süresinin CEAC değerleri üzerinde oldukça güçlü bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p \leq 0,001$). Ancak, uygulamaların ve uygulama-depolama etkileşiminin bu parametreye anlamlı bir katkısı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Depo süresi boyunca CEAC değerleri 0. gününde 3,29 mM iken, 7 günde 3,16 mM ile en düşük seviyeye ulaşmıştır. 14. günde 3,70 mM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Daha sonra 21.günde tekrar 3,42'ye düştü. Uygulamalara bakıldığında, CuNP uygulaması en yüksek CEAC değerini (3,49 mM) sağlarken, PUT uygulamasında 3,31 mM ile daha düşük bir değer görülmüştür. İnteraktif etkilerde ise CuNP+PUT uygulamasının 14. gününde 3,92 mM ile en yüksek CEAC değeri elde edilmiştir Buna karşılık, en düşük değer 2,87 (mM) ile PUT uygulamasının 7. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).

3.12 CUPRAC aktivitesi

CUPRAC (antioksidan kapasitesi) analizinde depo süresi boyunca anlamlı değişimler tespit edilmiştir ($p < 0,001$). Depo süresi boyunca 0. gününde 16,43 mM olarak ölçülürken, en düşük değer 7. günde 20,76'ya yükselmiş, 14. günde 21,81'e ve 21. gün sonunda 23,52 mM değerine ulaşmıştır. CuNP uygulaması 21,78 mM ile en yüksek değeri sağlarken, kontrol grubunda 18,29 mM ile en düşük seviyede kalmıştır. İnteraktif etkiler incelendiğinde, PUT uygulamasının 21. gününde

CUPRAC değeri 26,47 mM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Buna karşılık, en düşük değer 16,43 mM ile başlangıçta gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).

3.13 DPPH aktivitesi

Depolama süresi DPPH üzerinde oldukça güçlü bir etkiye sahip bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Uygulamaların tek başına etkisi anlamlı olmasa da ($p > 0,05$), depolama süresi ve uygulamaların etkileşimi bu parametre üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca en düşük DPPH değeri 0. ve 7. gününde 0,39 mM olarak tespit edilirken, 14. günde 0,40 mM'a yükseldi. 21. günde 0,60 mM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Uygulamalara bakıldığında, CuNP+PUT uygulamasında ise DPPH değeri 0,43 mM ile en düşük seviyede ölçülmüş, CuNP uygulamasında ise 0,46 mM ile en yüksek seviyeye çıkmıştır. İnteraktif etkilerde PUT uygulamasının 21. gününde DPPH değeri 0,67 mM ile zirve yapmıştır. Buna karşılık, en düşük değer 0,36 (mM) ile PUT uygulamasının 14. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).

3.14 FRAP değeri

FRAP değerleri hem depolama süresi hem de uygulama-depolama etkileşimi tarafından güçlü bir şekilde etkilenmiştir ($p \leq 0,001$). Ayrıca uygulamaların tek başına etkisi de anlamlıdır ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca en düşük FRAP değeri 0. gününde 0,66 mM seviyeye ulaşmıştır 7. günde değer 1,55'e yükseldi. 14. günde 1,25'e düşerken, en yüksek değer 21. günde 1,70 mM seviyeye ulaşmıştır. Uygulama gruplarında CuNP+PUT uygulamasının 1,52 mM ile en yüksek FRAP değerine sahipken, kontrol grubunda 1,03 mM ile en düşük değer elde edilmiştir. İnteraktif etkilere göre CuNP uygulamasının 21. gününde FRAP değeri 2,05 mM ile zirve yapmıştır. Buna karşılık, en düşük değer 0,66 (mM) ile tüm uygulamalarda 0. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitelerdeki değişimler.

Uygulama	Antosiyanin (mg/L)	CEAC	CUPPAC	DPPH	FRAP	
Kontrol	4,08 ± 0,50 a	3,39 ± 0,22 a	18,29 ± 2,10 b	0,45 ± 0,11 a	1,03 ± 0,40 b	
CuNP(30ppm)	4,31 ± 0,42 a	3,39 ± 0,27 a	21,78 ± 3,36 a	0,46 ± 0,12 a	1,22 ± 0,56 ab	
PUT(0.5mM)	4,13 ± 0,34 a	3,31 ± 0,41 a	21,67 ± 3,86 a	0,45 ± 0,14 a	1,38 ± 0,65 ab	
CuNP+PUT	4,32 ± 0,74 a	3,49 ± 0,30 a	20,78 ± 3,18 ab	0,43 ± 0,07 a	1,52 ± 0,59 a	
Depo süresi						
0	4,23 ± 0,13 ab	3,29 ± 0,10 bc	16,43 ± 0,49 c	0,39 ± 0,01 b	0,66 ± 0,02 c	
7	4,10 ± 0,44 b	3,16 ± 0,38 c	20,76 ± 3,23 b	0,39 ± 0,04 b	1,55 ± 0,64 ab	
14	3,97 ± 0,29 b	3,70 ± 0,17 a	21,81 ± 2,00 ab	0,40 ± 0,07 b	1,25 ± 0,45 b	
21	4,54 ± 0,80 a	3,42 ± 0,20 b	23,52 ± 2,16 a	0,60 ± 0,10 a	1,70 ± 0,26 a	
Depo süresi × Uygulama						
Kontrol	7	4,16 ± 0,43 bc	3,43 ± 0,40 bcde	16,78 ± 1,12 h	0,43 ± 0,08 bcd	1,40 ± 0,41 c
	14	3,77 ± 0,33 c	3,57 ± 0,08 abcd	18,72 ± 0,45 g	0,37 ± 0,03 d	0,71 ± 0,08 ef
	21	4,16 ± 0,92 bc	3,27 ± 0,06 cde	21,24 ± 0,66 ef	0,62 ± 0,06 a	1,35 ± 0,08 cd
CuNP	7	4,32 ± 0,62 bc	3,10 ± 0,27 ef	24,65 ± 0,89 b	0,37 ± 0,01 d	0,73 ± 0,10 ef
	14	4,08 ± 0,24 bc	3,55 ± 0,03 bcd	23,26 ± 0,35 bcd	0,42 ± 0,03 bcd	1,84 ± 0,06 ab
	21	4,62 ± 0,52 b	3,60 ± 0,26 abc	22,78 ± 0,79 cde	0,65 ± 0,05 a	1,66 ± 0,05 bc
PUT	7	4,10 ± 0,44 bc	2,87 ± 0,49 f	21,76 ± 2,08 de	0,39 ± 0,03 cd	2,05 ± 0,60 a
	14	4,27 ± 0,18 bc	3,76 ± 0,12 ab	22,01 ± 0,82 cde	0,36 ± 0,05 d	1,02 ± 0,08 de
	21	3,93 ± 0,53 c	3,31 ± 0,19 cde	26,47 ± 0,72 a	0,67 ± 0,03 a	1,81 ± 0,11 ab
CuNP+PUT	7	3,83 ± 0,35 c	3,25 ± 0,22 de	19,86 ± 1,31 fg	0,38 ± 0,02 d	2,01 ± 0,13 a
	14	3,77 ± 0,02 c	3,92 ± 0,04 a	23,23 ± 0,61 bcd	0,47 ± 0,11 b	1,43 ± 0,19 c
	21	5,47 ± 0,17 a	3,50 ± 0,10 bcd	23,59 ± 1,55 bc	0,47 ± 0,05 bc	1,99 ± 0,20 ab
ANOVA						
F _{depo süresi}	4,39*	14,02***	118,86***	59,62***	61,49***	
F _{uygulama}	1,15öd	1,50öd	34,14***	1,03öd	12,94***	
F _{depo süresi × uygulama}	3,10**	2,03öd	10,62***	5,36***	12,50***	

Aynı sütun içerisinde farklı harflerle ifade edilen değerler arasında anlamlı farklılık vardır ($p \leq 0,05$).
öd: önemli değil, *, **, *** sırasıyla $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ ve $p \leq 0,001$ derecesinde önemi belirtmektedir.

3.15 Karbonhidrat içeriği

Elde edilen sonuçlar, depolama süresinin karbonhidrat yüzdesi üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ($p \leq 0,001$). Uygulamalar ise bu parametreyi daha düşük bir düzeyde anlamlı şekilde etkilemiştir ($p \leq 0,05$). Depolama süresi ile uygulamaların etkileşimi ise oldukça anlamlıdır ($p \leq 0,001$). Depolama süresi boyunca, 0. günde uygulama gruplarına göre karbonhidrat yüzdesi %7,72 ile en düşük seviyede ölçülmüştür. Bu değer, 7. günde %11,13'e yükselmiştir. 14. günde ise karbonhidrat yüzdesi %16,21 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 21. günde ise bu değer %14,80'e düşmüştür. Uygulama gruplarına göre en düşük karbonhidrat yüzdesi CuNP+PUT grubunda %12,10 olarak ölçülmüştür. En yüksek karbonhidrat değeri ise kontrol grubunda %12,97 olarak bulunmuştur. İnteraktif etkilere göre, en yüksek değer 14. günde kontrol grubunda %18,34 olarak

elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değer 0. günde kontrol grubunda %7,72 olarak gözlemlenmiştir (Tablo 3.4).

3.16 Protein

Protein yüzdesi hem depolama süresi hem de uygulama-depolama etkileşiminden güçlü bir şekilde etkilenmiştir ($p \leq 0,001$). Ayrıca uygulamaların da anlamlı bir etkisi vardır ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca 0. Gününde 3,63% olan protein içeriği, en düşük değer 7 günde 3,48% bulunmuştur. 14. günde 3,77'ye yükselirken, 21. günde ise 4,96% ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Uygulama gruplarında PUT uygulaması 3,96% ile en yüksek protein değerini sağlarken, kontrol grubunda 3,16% ile en düşük değer elde edilmiştir. İnteraktif etkilerde CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde protein miktarı 4,96% ile zirve yapmıştır. Buna karşılık, en düşük değer 2,55% ile Kontrol uygulamasının 14. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.4).

3.17 Toplam fenolik madde içeriği

Toplam fenolik içeriği, depolama süresi ve uygulamalar tarafından anlamlı bir şekilde etkilenmiştir ($p \leq 0,05$). Ancak, depolama ve uygulamalar arasındaki etkileşim anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Depo süresi boyunca 0 gününde 0,39 mM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır 7. ve 14. günlerde 0,37 olarak kaydedilerek düşerken, en düşük 21. gününde 0,36 mM olarak bulunmuştur. Uygulamalara göre CuNP+PUT uygulaması 0,38 mM ile en yüksek fenolik içeriği sağlarken, kontrol grubunda 0,35 mM ile en düşük değer elde edilmiştir. İnteraktif etkilerde En yüksek değer 0,40 mM ile CuNP+ PUT uygulamasının 21. gününde elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değer 0,32 mM ile kontrol uygulamasının 21. gününde gözlemlenmiştir (Tablo 3.4).

3.18 Toplam flavonoid içeriği

Depolama süresi ve uygulamaların toplam flavonoid içeriği üzerinde oldukça anlamlı etkileri olduğu tespit edilmiştir ($p \leq 0,001$). Ancak bu iki faktörün etkileşimi anlamlı değildir ($p > 0,05$). Flavonoid içeriğinde depo süresi boyunca anlamlı farklılıklar bulunmamıştır. 0. gününde ve 21. gün arasında flavonoid içeriği 0,07–0,09 mM arasında değişim göstermiştir. Uygulamalarda en yüksek flavonoid içeriği CuNP, PUT ve CuNP+PUT uygulamasında 0,08 mM ölçülürken, kontrol grubunda 0,07 mM ile en düşük değer elde edilmiştir. İnteraktif etkilerde En yüksek

değer 0,09 mM ile tüm uygulamalarda 0. gününde gözlemlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değer 0,07 mM ile birçok uygulama ve gün kombinasyonunda gözlemlenmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Toplam karbonhidrat, protein, fenolik ve flavonoid içeriğinin uygulama ve depo süresine göre değişimleri.

Uygulama	Karbonhidrat (%)	Protein (%)	Toplam Fenolik (mM)	Toplam Flavonoid (mM)	
Kontrol	12,97 ± 5,39 a	3,16 ± 0,50 b	0,35 ± 0,03 b	0,07 ± 0,01 a	
CuNP	12,69 ± 3,20 a	3,95 ± 0,64 a	0,37 ± 0,02 ab	0,08 ± 0,01 a	
PUT	12,10 ± 3,75 a	3,96 ± 0,61 a	0,38 ± 0,01 a	0,08 ± 0,01 a	
CuNP+PUT	12,12 ± 3,24 a	3,87 ± 0,54 a	0,38 ± 0,04 a	0,08 ± 0,01 a	
Depo süresi					
0	7,72 ± 0,23 c	3,63 ± 0,11 ab	0,39 ± 0,01 a	0,09 ± 0,00 a	
7	11,13 ± 2,74 b	3,48 ± 0,51 b	0,37 ± 0,03 ab	0,07 ± 0,01 b	
14	16,21 ± 1,48 a	3,77 ± 0,88 ab	0,37 ± 0,03 ab	0,07 ± 0,01 b	
21	14,80 ± 2,63 a	4,05 ± 0,75 a	0,36 ± 0,03 b	0,07 ± 0,01 b	
Depo süresi × Uygulama					
Kontrol	7	7,99 ± 0,75 g	3,08 ± 0,49 e	0,35 ± 0,03 bcd	0,07 ± 0,00 d
	14	18,34 ± 1,07 a	2,55 ± 0,26 f	0,36 ± 0,02 abcd	0,07 ± 0,00 d
	21	17,82 ± 0,98 a	3,38 ± 0,28 de	0,32 ± 0,01 d	0,07 ± 0,00 cd
CuNP	7	13,24 ± 1,81 d	3,66 ± 0,35 cd	0,37 ± 0,01 abc	0,08 ± 0,01 bcd
	14	15,10 ± 0,83 bc	3,53 ± 0,11 cde	0,38 ± 0,01 ab	0,08 ± 0,00 abc
	21	14,70 ± 0,32 bc	4,96 ± 0,12 a	0,33 ± 0,01 cd	0,07 ± 0,01 cd
PUT	7	9,48 ± 0,58 f	3,23 ± 0,34 de	0,39 ± 0,01 ab	0,08 ± 0,01 abc
	14	15,54 ± 0,70 b	4,47 ± 0,25 b	0,39 ± 0,01 ab	0,07 ± 0,00 bcd
	21	15,64 ± 0,94 b	4,50 ± 0,20 ab	0,38 ± 0,01 ab	0,08 ± 0,01 ab
CuNP+PUT	7	13,81 ± 0,93 cd	3,93 ± 0,49 c	0,38 ± 0,06 ab	0,07 ± 0,01 cd
	14	15,88 ± 0,53 b	4,54 ± 0,41 ab	0,35 ± 0,05 bcd	0,07 ± 0,01 bcd
	21	11,05 ± 0,53 e	3,37 ± 0,21 de	0,40 ± 0,02 a	0,07 ± 0,01 cd
ANOVA					
$F_{\text{depo süresi}}$	276,91***	8,96***	3,43*	16,41***	
F_{uygulama}	3,53*	22,05***	3,90*	3,20*	
$F_{\text{depo süresi} \times \text{uygulama}}$	27,48***	13,6***	2,05öd	1,16öd	

Aynı sütun içerisinde farklı harflerle ifade edilen değerler arasında anlamlı farklılık vardır ($p \leq 0,05$). öd: önemli değil, * ve *** sırasıyla $p \leq 0,05$ ve $p \leq 0,001$ derecesinde önemi belirtmektedir.

3.19 CAT

CAT değerleri üzerinde uygulamalar ve depolama süresi oldukça anlamlı bir etki göstermiştir ($p \leq 0,001$). Ayrıca, uygulama ve depolama süresi arasındaki etkileşim de anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca CAT değerleri 0. günde 0,38 μM iken, 7. günde 0,57 μM seviyesine düşüş görülmüştür. 14. günde

1,44 μM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ancak, 21. günde 1,06'ya düşmüştür. Uygulamalara bakıldığında, CuNP uygulaması en yüksek CAT değerini (0,98 μM), kontrol grubu ise en düşük değeri (0,69 μM) sağlamıştır. İnteraktif etkilerde en yüksek CAT değeri PUT uygulamasının 14. gününde 1,93 uM olarak bulunmuştur. Buna karşılık, en düşük CAT değeri başlangıçta 0,38 uM olarak ölçülmüş (Tablo 3.5).

3.20 H₂O₂ aktivitesi

H₂O₂ değerlerine hem uygulamaların hem de depolama süresinin etkileri oldukça anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Bununla birlikte, bu iki faktörün etkileşimi de anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca H₂O₂ seviyeleri, depo süresinin 0. günde 4,74 μM ile en düşük seviyede bulunmuştur. 7. gününde 5,58 μM ile en yüksek seviyeye ulaşırken, 14. günde 5,17'ye düştü, ardından 21. günde 4,93'e düşmeye devam etti. Uygulamalara bakıldığında kontrol grubu en yüksek H₂O₂ seviyesine (5,52 μM), CuNP+PUT uygulaması ise en düşük seviyeye (4,81 μM) sahiptir. İnteraktif etkilerde En yüksek H₂O₂ değeri, kontrol, 7 uygulamasında 6,34 uM olarak ölçülmüştür. En düşük H₂O₂ değeri ise PUT, 21 uygulamasında 4,18 uM olarak bulunmuştur (Tablo 3.5).

3.21 MDA

MDA değerleri üzerinde, depolama süresi ve uygulamaların etkisi anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Ayrıca, bu iki faktör arasındaki etkileşim de anlamlıdır ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca 0. günde 0,18 μM ile en düşük seviyede gözlemlenen MDA, 7. günde 0,68 μM 'e yükselirken, 14. günde 0,57 μM 'ye düşmüştür. 21. günde 0,72 μM ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Uygulamalara bakıldığında En yüksek MDA seviyesi kontrol grubunda (0,65 μM), en düşük MDA seviyesi ise CuNP+PUT uygulamasında (0,40 μM) bulunmuştur. İnteraktif etkilerde En yüksek MDA değeri, Kontrol uygulamasının 21. gününde 0,95 μM olarak ölçülmüştür. Buna karşılık, en düşük MDA değeri başlangıçta 0,18 μM olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

3.22 SOD

SOD değerleri açısından hem uygulamalar hem de depolama süresi oldukça anlamlı etkilere sahiptir ($p \leq 0,001$). Uygulama ve depolama süresi arasındaki etkileşim de anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Depo süresi boyunca 0. günde 7,57%

ile en düşük seviyede olan SOD aktivitesi, 7. günde 11,59%'a yükseldi, ardından yükselmeye devam ederek 14. günde 13,19% olarak kaydedildi. 21. günde 16,37% ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Uygulamalara bakıldığında en yüksek SOD aktivitesi CuNP+PUT uygulamasında (16,43%), en düşük aktivite ise kontrol grubunda (10,04%) gözlemlenmiştir. İnteraktif etkilerde en yüksek SOD aktivitesi, CuNP+PUT, 21 uygulamasında 24,83% olarak ölçülmüş. Buna karşılık, en düşük SOD aktivitesi, başlangıçta 7,57% olarak bulunmuştur.

Tablo 3.5 Farklı uygulamalar ve depo sürelerinin, gök üzüm çeşidinin enzimatik aktivite ve oksidatif stres parametreleri üzerindeki etkileri.

Uygulama	CAT (uM)	H ₂ O ₂ (uM)	MDA (uM)	SOD (%)	
Kontrol	0.69 ± 0.32 a	5.52 ± 0.64 a	0.65 ± 0.31 a	10.04 ± 2.11 b	
CuNP	0.98 ± 0.58 a	5.16 ± 0.41 ab	0.58 ± 0.30 ab	11.30 ± 3.25 b	
PUT	0.94 ± 0.64 a	4.93 ± 0.57 b	0.52 ± 0.23 ab	10.93 ± 3.19 b	
CuNP+PUT	0.84 ± 0.38 a	4.81 ± 0.27 b	0.40 ± 0.15 b	16.43 ± 7.29 a	
Depo süresi					
0	0.38 ± 0.01 c	4.74 ± 0.14 c	0.18 ± 0.01 c	7.57 ± 0.22 c	
7	0.57 ± 0.14 c	5.58 ± 0.59 a	0.68 ± 0.12 ab	11.59 ± 2.38 b	
14	1.44 ± 0.42 a	5.17 ± 0.31 b	0.57 ± 0.15 b	13.19 ± 5.00 ab	
21	1.06 ± 0.33 b	4.93 ± 0.64 bc	0.72 ± 0.23 a	16.37 ± 5.57 a	
Depo süresi × Uygulama					
Kontrol	7	0.42 ± 0.03 gh	6.34 ± 0.14 a	0.68 ± 0.02 c	9.45 ± 0.29 ghi
	14	1.10 ± 0.15 cd	5.23 ± 0.22 cde	0.80 ± 0.03 b	11.21 ± 2.60 efg
	21	0.86 ± 0.07 de	5.76 ± 0.23 b	0.95 ± 0.08 a	11.95 ± 0.66 ef
CuNP	7	0.48 ± 0.08 fgh	5.57 ± 0.55 bc	0.76 ± 0.06 bc	9.98 ± 0.42 fgh
	14	1.58 ± 0.04 b	5.18 ± 0.22 cde	0.47 ± 0.03 ef	11.77 ± 0.32 ef
	21	1.49 ± 0.08 b	5.16 ± 0.12 cdef	0.92 ± 0.02 a	15.89 ± 1.48 c
PUT	7	0.70 ± 0.03 ef	5.38 ± 0.24 bcd	0.78 ± 0.08 b	14.56 ± 2.12 cd
	14	1.93 ± 0.41 a	5.41 ± 0.37 bcd	0.58 ± 0.06 d	8.79 ± 1.25 hi
	21	0.75 ± 0.12 e	4.18 ± 0.18 h	0.55 ± 0.03 de	12.79 ± 0.93 de
CuNP+PUT	7	0.67 ± 0.11 efg	5.03 ± 0.41 def	0.51 ± 0.07 def	12.35 ± 1.26 de
	14	1.16 ± 0.28 c	4.86 ± 0.24 efg	0.44 ± 0.07 f	20.99 ± 0.11 b
	21	1.15 ± 0.24 c	4.60 ± 0.06 g	0.47 ± 0.05 f	24.83 ± 3.29 a
ANOVA					
<i>F</i> _{depo süresi}	119,68***	24,22***	315,43***	87,51***	
<i>F</i> _{uygulama}	8,75***	17,97***	58,92***	54,46***	
<i>F</i> _{depo süresi × uygulama}	9,24***	6,72***	24,38***	19,41***	

Aynı sütun içerisinde farklı harflerle ifade edilen değerler arasında anlamlı farklılık vardır ($p \leq 0,05$).

*** $p \leq 0,001$ derecesinde önemi belirtmektedir.

4. TARTIŞMA

Çalışmamızda, depolama süresi boyunca pH değerlerinin düştüğü ve CuNP uygulamasının pH'ı daha stabil tuttuğu, CuNP+PUT kombinasyonunun ise pH'ı en düşük seviyeye indirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, literatürde poliamin ve CuNP uygulamalarının pH stabilitesini artırıcı etkileriyle uyum göstermektedir Davarynejad vd. (2015), Santa Rosa eriklerinde putresin ve salisilik asidin depolama süresince asiditeyi koruyarak pH düşüşünü yavaşlattığını ifade etmiştir. Bu bulgular, pH seviyelerinin stabilizasyonunun meyve kalitesi üzerindeki önemini ortaya koymaktadır. El-Shemy vd. (2019) ise salisilik asit ve putresin uygulamalarının pH seviyesindeki değişiklikleri minimize ettiğini göstermiştir. Ayrıca, Khamis Yousse vd. (2019), nanomalzemelerin hasat sonrası ürünlerin pH stabilitesini artırarak kaliteyi koruduğunu bildirmiştir. Daha sonraki çalışmalarda, Hanifa vd. (2020), depolama sırasında putresin uygulamalarının meyve kalitesini korumada etkili olduğunu ve pH seviyelerinin stabilizasyonuna katkı sağladığını ifade etmiştir. Davood Ghanbari vd. (2021), CuNP uygulamalarının domates gibi hassas ürünlerde pH stabilitesini artırarak bozulmayı azalttığını belirtmiştir. Son olarak, Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin domates meyvelerinde fizikokimyasal parametreleri koruduğu ve pH seviyelerini stabilize ettiği rapor edilmiştir. Çalışmamızda, CuNP uygulamasının pH değerini daha stabil bir seviyede tutması (21. günde 3.78), bu literatürdeki bulgularla uyum göstermektedir. Ayrıca, CuNP+PUT kombinasyonunun pH seviyesini düşürme etkisinin, meyve yumuşama enzimlerinin ve mikrobiyal aktivitenin kontrol altına alınmasında potansiyel bir avantaj sunduğu düşünülmektedir. Bu durum, CuNP ve putresin uygulamalarının depolama süresince meyve kalitesini artırıcı etkilerini desteklemektedir.

Çalışmamızda, depo süresi boyunca SÇKM değerlerinin önemli değişiklikler gösterdiği ve CuNP uygulamasının SÇKM değerlerini stabilize ettiği belirlenmiştir. Literatürle uyumlu olarak, CuNP+PUT kombinasyonunun etkisinin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Bassiony vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, poliamin ve nanomalzeme kombinasyonlarının üzümde SÇKM seviyelerini koruyarak kaliteyi artırdığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Ehteshamnia vd. (2021), putresin uygulamalarının meyve şeker içeriğini artırarak SÇKM seviyelerini stabil tuttuğunu göstermiştir. Çalışmamızda, CuNP uygulamasının

SÇKM değerlerini stabilize etme etkisinin bu sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Depo süresi boyunca PUT uygulamasının 7. günde %15.00 ile en düşük SÇKM değerine sahip olması, Champa vd. (2014)'ün üzümelerde putresin ve spermidin uygulamalarının toplam çözünebilir katı madde kaybını yavaşlattığını belirttiği çalışmasıyla uyumlu olmakla birlikte, kombinasyonların tek başına uygulamalara göre daha az etkili olduğu bulgumuzu desteklemektedir. Bunun yanı sıra, Kalyan Barman vd. (2014), nar meyvelerine putresin ve carnauba mumu uygulamalarının SÇKM değerlerini koruduğunu ve depolama süresi boyunca daha yüksek seviyelerde tutulmasını sağladığını bildirmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının bu etkiyi sağlaması, bu bulgularla örtüşmektedir. Sonuç olarak, CuNP uygulamasının SÇKM değerlerini koruma ve stabilize etme konusunda etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ennab vd. (2020) ise salisilik asit uygulamalarının benzer şekilde SÇKM seviyelerinin korunmasında etkili olduğunu vurgulamıştır. Bu durum, çalışmamızdaki CuNP uygulamasının etkisini daha da desteklemektedir. Ancak, CuNP+PUT kombinasyonunun etkisinin sınırlı olması, interaktif etkilerin daha detaylı araştırılmasını gerektirmektedir.

Çalışmamızda, depolama süresi boyunca TA değerlerinin en yüksek seviyeye 14. günde ulaştığı ve CuNP uygulaması ile CuNP+PUT kombinasyonunun TA değerlerini artırdığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, literatürdeki poliamin ve CuNP uygulamalarının asitlik üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir. Davarynejad vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Santa Rosa eriklerinde putresin ve salisilik asit uygulamalarının TA seviyelerini koruduğu ve depolama süresince asidite kaybını azalttığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Harindra Champa vd. (2014), poliamin uygulamalarının üzümde asiditeyi stabilize ettiğini ve depolama sırasında TA seviyelerini koruduğunu rapor etmiştir. Kalyan Barman vd. (2014) ise nar meyvelerinde putresin ve carnauba mumu uygulamalarının TA değerlerini artırarak depolama süresince kaliteyi desteklediğini göstermiştir. Çalışmamızda, CuNP uygulamasının 7.74 g/L ile en yüksek TA değerlerinden birini sağlaması ve depolama süresince asidite kaybını minimize etmesi, literatürde bildirilen bu bulgularla örtüşmektedir. Ayrıca, CuNP+PUT kombinasyonunun 14. günde 10.51 g/L ile en yüksek TA değerine ulaşması, poliamin ve nanomalzeme kombinasyonlarının asiditeyi artırıcı etkilerini desteklemektedir. Sonuç olarak, CuNP ve PUT kombinasyonlarının meyve

asiditesini artırma potansiyeli, depolama süresince ürün kalitesinin korunmasında önemli bir avantaj sunmaktadır

Çalışmamızda, depolama süresi boyunca ağırlık kaybının arttığı ve 21. günde en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. PUT ve CuNP+PUT kombinasyonunun ağırlık kaybını artırdığı, kontrol grubunun ise daha düşük seviyede kaldığı gözlemlenmiş olup bu bulgular literatürdeki çalışmalarla uyum göstermektedir. Davarynejad vd. (2015), Santa Rosa eriklerinde putresin ve salisilik asit uygulamalarının ağırlık kaybını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir. Bal vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, ultrason ve poliamin kombinasyonlarının depolama sırasında ağırlık kaybını azalttığı ve meyve kalitesini artırdığı belirtilmiştir. Housseini vd. (2019), putresin uygulamalarının ağırlık kaybını %20'ye kadar azaltabileceğini ifade etmiştir. Benzer şekilde, Ennab vd. (2020), salisilik asit ve putresin uygulamalarının mandalina meyvesinde ağırlık kaybını kontrol altına alarak kaliteyi koruduğunu göstermiştir. Song vd. (2022), poliaminlerin depolama sırasında meyve su kaybını minimize ettiğini göstermiştir. Bassiony vd. (2018) ise putresin ve nanomalzeme kombinasyonlarının depolama sırasında ağırlık kaybını azaltmada etkili olduğunu vurgulamıştır. Çalışmamızda, PUT uygulamasının ağırlık kaybını kontrol grubuna göre azaltması (%4.38), bu çalışmalarda ifade edilen bulgularla uyum göstermektedir. Ayrıca, CuNP+PUT kombinasyonunun ağırlık kaybını artırması, interaktif etkilerin daha ayrıntılı araştırılması gerektiğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, poliamin ve nanomalzeme uygulamalarının depolama süresince ağırlık kaybını kontrol altına alma konusundaki önemini desteklemektedir.

Çalışmamızda, depolama süresi ve uygulamaların a değeri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamış, tüm süre boyunca benzer seviyelerde kalmıştır. En yüksek a değeri CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde (4,67), en düşük değer ise 14. gününde (2,62) gözlemlenmiştir. Bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Champa vd. (2014)'ün üzüm kabuk rengini koruma üzerindeki poliamin etkilerini incelediği ve putresin uygulamalarının kabuk rengini stabil tuttuğunu bildirdiği çalışmalarla kısmen uyum göstermektedir. Bununla birlikte, Hernández-Fuentes vd. (2023), bakır nanopartiküllerinin meyve renk parametrelerini koruyarak depolama süresince fiziksel özelliklerin stabil kalmasını sağladığını ifade etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının a değeri

üzerindeki hafif değişimleri destekleyen bu bulgular, uygulamanın kabuk rengindeki farklılıkları sınırlı düzeyde koruyabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, CuNP+PUT kombinasyonunun, depolama süresince a değeri üzerinde bir miktar etkili olduğu, ancak bu etkinin istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığı belirlenmiştir. Bulgularımız, literatürdeki çalışmalarla genel olarak uyumlu olup, kabuk rengi gibi fiziksel özelliklerin stabil kalmasında uygulama türlerinin etkisinin sınırlı olabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda, depolama süresi boyunca Hue değeri belirgin dalgalanmalar göstermiş, en yüksek değer kontrol grubunun 21. gününde (76,80), en düşük değer ise CuNP+PUT uygulamasının 14. gününde (45,21) kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, uygulamaların renk stabilitesine sınırlı etkisini ortaya koymaktadır. Literatürde, Champa vd. (2014), poliamin uygulamalarının üzüm kabuk rengi üzerindeki etkisini incelemiş ve depolama sırasında renk stabilitesini korumada etkili olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının Hue değerindeki düşüşe rağmen, diğer uygulamalara göre renk değişimini kontrol altına alabilmesi, bu bulgularla örtüşmektedir. Ayrıca, Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin renk parametrelerini stabilize etme potansiyelini vurgulamış, ancak kontrol grubunun stabil bir Hue değeri sağlaması, bu etkinin uygulamaların bir arada değerlendirilmesinde sınırlı olabileceğini işaret etmektedir. Sonuç olarak, çalışmamızda depolama süresi boyunca Hue değeri üzerindeki değişikliklerin sınırlı düzeyde anlamlı olduğu ve CuNP+PUT uygulamasının kontrol grubuna kıyasla daha düşük Hue değeri gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, bu sonuçlar, depolama sırasında renk stabilitesini etkileyen diğer faktörlerin de önemli olabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda, depolama süresinin Chroma değeri üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu, ancak uygulamaların etkisinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Depo süresi boyunca Chroma değeri dalgalanmalar göstermiş ve literatürdeki benzer bulgularla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin renk parametreleri üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamış ve özellikle depolama süresince meyve renginin korunmasına katkı sağladığını belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının 14. günde en yüksek Chroma değerine ulaşması, bu bulgularla uyumlu bir sonuç sunmaktadır. Bunun yanı sıra, Champa vd. (2014), poliamin uygulamalarının üzüm meyvesinde renk değişimlerini

yavaşlatıcı etkisini bildirmiştir. PUT uygulamasının nispeten düşük Chroma değeri, bu bulgularla uyumlu bir şekilde, poliamin etkisinin sınırlı kalabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, depolama süresi boyunca Chroma değerindeki değişimlerin anlamlı olduğu, ancak uygulamaların sınırlı bir etkisinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, depolama süresinin Chroma değeri üzerindeki etkisini uygulamalara kıyasla daha belirgin hale getirmiştir. Bulgularımız, literatürdeki benzer çalışmalarla genel olarak uyumludur ve depolama koşullarının Chroma değerindeki değişimlere önemli ölçüde etki ettiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, depolama süresi ve uygulamaların L değeri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı, değerlerin depo süresi boyunca küçük dalgalanmalar gösterdiği belirlenmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin meyve parlaklığı (L değeri) üzerindeki etkisini incelemiş ve depolama süresince L değerindeki değişimlerin sınırlı olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda L değeri üzerindeki etkilerin istatistiksel olarak anlamlı olmaması, bu bulgularla uyumludur. Ayrıca, Champa vd. (2014), poliamin uygulamalarının üzüm kabuk rengini ve parlaklığını koruduğunu ifade etmiş, ancak bu etkinin bazı depolama dönemlerinde sınırlı kalabileceğini vurgulamıştır. PUT uygulamasının L değeri üzerindeki dalgalı etkisi, bu gözlemlerle paralellik göstermektedir. Sonuç olarak, L değerindeki değişikliklerin depolama süresi ve uygulamalar açısından istatistiksel olarak belirgin olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, parlaklığın bazı dönemlerde (örneğin, 14. gün PUT uygulaması) artış göstermesi, depolama süresi ve uygulama türlerinin farklı etkiler yaratabileceğini düşündürmektedir. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla genel bir uyum sergilemektedir.

Çalışmamızda, depolama süresi b* değeri üzerinde anlamlı bir etki göstermiş, ancak uygulamaların ve etkileşimlerin etkisi sınırlı kalmıştır. Depolama süresi boyunca b* değeri dalgalanmalar gösterirken, en yüksek değer CuNP+PUT uygulamasında (21. günde 12,13) gözlemlenmiş ve literatürdeki bulgularla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Champa vd. (2014), poliaminlerin üzüm kabuk rengindeki sarılık (b değeri) parametresini koruma konusunda etkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının yüksek b* değerini sağlaması, bu bulgularla paralellik göstermektedir. Ayrıca, Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının meyve renk stabilitesine katkıda bulunduğunu ve renk değişimlerini sınırlandırdığını belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT kombinasyonunun 21. günde b değerini en yüksek seviyede koruması, bu çalışmayı

destekler niteliktedir. Bununla birlikte, PUT uygulamasının daha düşük b değeri göstermesi, poliaminlerin renk üzerindeki etkilerinin uygulama süresi ve dozuna bağlı olarak değişebileceğini ortaya koyan literatürle uyumludur. Örneğin, Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının meyve kabuk rengi üzerindeki etkilerinin depolama süresine göre değişkenlik gösterebileceğini rapor etmiştir. Sonuç olarak, b değeri üzerindeki değişimlerin depolama süresine bağlı olduğu, ancak uygulamaların tek başına etkisinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir. CuNP+PUT kombinasyonunun b* değerini koruma konusundaki potansiyeli, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumludur.

Çalışmamızda, depolama süresinin antosiyanin içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğu, ancak uygulamaların tek başına etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. CuNP+PUT uygulamasının antosiyanin içeriğini özellikle 21. günde 5,47 mg/L ile en yüksek seviyede koruduğu, bu bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ehteshamnia vd. (2021) ise putresin uygulamalarının taze üzümelerde antosiyanin seviyelerini artırarak depolama süresince kaliteyi desteklediğini göstermiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin meyve içeriğindeki antosiyanin seviyelerini artırarak depolama süresince stabilizasyon sağladığını ifade etmiştir. Benzer şekilde, Champa vd. (2014), poliaminlerin üzüm antosiyaninlerini stabilize ettiğini ve depolama süresi boyunca kayıpları yavaşlattığını belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının antosiyanin seviyelerini yüksek tutması, bu bulgularla uyum göstermektedir. Ayrıca, Kalyan Barman vd. (2014), nar meyvesinde putresin ve carnauba mumu kombinasyonunun antosiyanin içeriklerini koruma konusunda etkili olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışma, CuNP+PUT uygulamasının benzer koruyucu etkisini desteklemektedir. Sonuç olarak, antosiyanin içeriği üzerindeki değişimlerin depolama süresine bağlı olduğu ve CuNP+PUT uygulamasının bu içeriği korumada etkili bir yöntem sunduğu görülmüştür. Bulgularımız, literatürdeki çalışmalara paralellik göstermekte ve depolama süresince antosiyanin seviyelerinin korunmasında CuNP ve PUT kombinasyonunun potansiyelini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, depolama süresinin CEAC değerleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu, ancak uygulamaların ve etkileşimlerin etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. CuNP+PUT uygulamasının 14. günde 3,92 mM ile en yüksek CEAC değerini sağlaması, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu bulgulara işaret

etmektedir. Davarynejad vd. (2015), poliamin ve salisilik asit uygulamalarının depolama sırasında antioksidan kapasiteyi artırarak oksidatif stresi azalttığını belirtmiştir. Benzer şekilde, Bal vd. (2017), ultrason ve putresin kombinasyonlarının CEAC değerlerini artırarak meyve kalitesini koruduğunu göstermiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP'lerin antioksidan kapasitesini artırarak meyve kalitesini koruma konusunda etkili olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının yüksek CEAC değerleri sağlaması, bu bulgularla uyum göstermektedir. Ayrıca, Kalyan Barman vd. (2014), nar meyvesinde putresin uygulamalarının antioksidan aktiviteyi koruma konusunda sınırlı bir etkisi olduğunu ifade etmiştir; bu durum, çalışmamızda PUT uygulamasının nispeten düşük CEAC değerleriyle uyumludur. Bunun yanı sıra, Champa vd. (2014), poliaminlerin üzümde antioksidan kapasitesini artırdığını ve depolama süresince stabil kalmasını sağladığını belirtmiştir. Çalışmamızdaki CuNP+PUT kombinasyonunun, CEAC değerlerini en yüksek seviyede tutması bu bulgularla örtüşmektedir. Sonuç olarak, CEAC değerlerinin depolama süresine bağlı olarak değiştiği ve CuNP uygulamasının bu değerleri koruma ve artırma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. CuNP+PUT kombinasyonu ise, antioksidan kapasiteyi destekleyerek depolama sırasında kaliteyi artırmada umut vadeden bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla genel bir uyum içindedir.

Çalışmamızda, CUPRAC değerlerinin depolama süresi boyunca sürekli arttığı ve bu artışın uygulamalarla güçlendiği tespit edilmiştir. CuNP uygulaması 21.78 mM ile en yüksek değeri sağlarken, kontrol grubunda bu değer 18.29 mM olarak kaydedilmiştir. Bu bulgular literatürdeki çalışmalarla uyumlu olup, CuNP uygulamasının antioksidan kapasiteyi artırıcı etkilerini desteklemektedir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının antioksidan kapasiteyi artırarak CUPRAC seviyelerini iyileştirdiğini göstermiştir. Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının depolama süresince antioksidan aktiviteyi desteklediğini belirtmiştir. Ayrıca, Bal vd. (2017), ultrason ve poliamin kombinasyonlarının antioksidan kapasiteyi artırdığını bildirmiştir. Bikdeloo vd. (2021) ise bakır nanopartiküllerinin oksidatif stresi azaltarak CUPRAC seviyelerini yükselttiğini ifade etmiştir. Çalışmamızda, PUT uygulamasının 21. günde CUPRAC değerini 26,47 mM ile zirveye ulaştırması, bu çalışmalarda bildirilen sonuçlarla uyumludur. CuNP uygulamasının da CUPRAC seviyesini artırması, depolama

süresince meyve kalitesinin korunmasında bu uygulamanın etkisini desteklemektedir.

Çalışmamızda, depolama süresinin DPPH değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu, ancak uygulamaların tek başına etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Depolama süresi ve uygulamalar arasındaki etkileşim, DPPH parametresi üzerinde anlamlı bir fark yaratmıştır. En yüksek DPPH değeri, PUT uygulamasının 21. gününde 0,67 mM olarak gözlemlenmiştir, bu bulgu literatürdeki çalışmalarla uyumlu olup, PUT uygulamasının antioksidan kapasiteyi artırıcı etkilerini desteklemektedir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının meyve antioksidan kapasitesini artırarak depolama süresince stabil kalmasını sağladığını rapor etmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının 0,46 mM ile yüksek bir DPPH seviyesi sağlaması, bu bulgularla uyumludur. Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının meyve antioksidan seviyelerini korumada etkili olduğunu ve bu etkinin depolama süresinin ilerleyen dönemlerinde daha belirgin hale geldiğini ifade etmiştir. Çalışmamızdaki PUT uygulamasının 21. günde en yüksek DPPH değerine ulaşması bu çalışmayla paralellik göstermektedir. Ek olarak, Champa vd. (2014), poliaminlerin depolama sırasında antioksidan aktiviteyi artırıcı etkilerinden bahsetmiş ve bu etkinin depolama süresince antioksidan kaybını azaltarak meyve kalitesini desteklediğini belirtmiştir. Çalışmamızda, CuNP ve PUT kombinasyonunun antioksidan kapasite üzerindeki etkileri bu sonuçlarla örtüşmektedir. Sonuç olarak, DPPH değerlerinin depolama süresince arttığı ve özellikle PUT ve CuNP uygulamalarının bu parametre üzerinde olumlu etkiler sağladığı görülmüştür. Bu bulgular, CuNP ve PUT uygulamalarının depolama sırasında kaliteyi koruma ve artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymakta ve literatürdeki diğer çalışmalarla uyum göstermektedir.

Çalışmamızda, FRAP değerlerinin depolama süresi ve uygulama-depolama etkileşimi tarafından güçlü bir şekilde etkilendiği belirlenmiştir. CuNP uygulamasının 21. günde 2,05 mM ile en yüksek FRAP değerini sağladığı, bu bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bal vd. (2017), poliamin ve ultrason uygulamalarının FRAP değerlerini artırarak depolama süresince meyve kalitesini desteklediğini rapor etmiştir. Benzer şekilde, Ennab vd. (2020), salisilik asit ve putresin uygulamalarının antioksidan kapasiteyi artırarak FRAP seviyelerini iyileştirdiğini vurgulamıştır. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının antioksidan kapasiteyi artırma üzerindeki etkisini

vurgulamış ve FRAP değerlerinin depolama süresince stabil tutulmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının yüksek FRAP değerleri sağlaması, bu bulgularla uyum göstermektedir. Benzer şekilde, Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının meyve antioksidan seviyelerini artırdığını ve depolama süresi boyunca bu etkinin koruyucu bir rol oynadığını ifade etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının 1,52 mM ile en yüksek ortalama FRAP değerine ulaşması bu sonuçları desteklemektedir. Ek olarak, Champa vd. (2014), poliaminlerin meyvelerde oksidatif stresin etkilerini azaltarak antioksidan kapasiteyi artırmada önemli bir rol oynadığını ifade etmiştir. Çalışmamızda FRAP değerlerinin depolama süresince artış göstermesi, bu çalışmayla paralellik göstermektedir. Sonuç olarak, FRAP değerlerinin hem depolama süresine hem de uygulamalara bağlı olarak değiştiği ve özellikle CuNP ile CuNP+PUT uygulamalarının bu parametre üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla genel bir uyum içindedir ve depolama sırasında kaliteyi koruma ve artırmada CuNP ve PUT kombinasyonunun etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda, depolama süresinin karbonhidrat yüzdesi üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Uygulamalar ise bu parametreyi daha düşük düzeyde anlamlı bir şekilde etkilemiştir. En yüksek karbonhidrat değeri, kontrol uygulamasının 14. gününde %18,34 olarak kaydedilmiştir. Literatürde, bu bulgularla ilişkili birçok çalışma bulunmaktadır. Champa vd. (2014), üzümde poliamin uygulamalarının toplam çözünabilir katı madde içeriğini koruyarak meyve kalitesini artırdığını ve karbonhidrat kaybını yavaşlattığını rapor etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının karbonhidrat yüzdesini artırıcı etkisinin sınırlı kalması, bu çalışmanın poliaminlerin etkisinin uygulama dozuna ve depolama süresine bağlı olduğunu ifade eden bulgularıyla uyum göstermektedir. Ayrıca, Kalyan Barman vd. (2014), putresin ve carnauba mumu uygulamalarının meyvelerde karbonhidrat içeriğini koruma açısından etkili olduğunu ve depolama süresince kayıpları sınırlandığını belirtmiştir. Çalışmamızda, CuNP ve PUT kombinasyonunun 14. günde yüksek karbonhidrat seviyeleri sağlaması bu bulgularla paralellik göstermektedir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının meyve içeriklerini koruma üzerindeki etkisini vurgulamış, özellikle karbonhidrat seviyelerini sabit tutma potansiyelini rapor etmiştir. Çalışmamızda CuNP uygulamasının karbonhidrat yüzdesi üzerindeki olumlu etkisi,

bu sonuçları desteklemektedir. Sonuç olarak, karbonhidrat yüzdesinin depolama süresine bağlı olarak anlamlı değişimler gösterdiği ve CuNP ile PUT uygulamalarının bu parametre üzerinde olumlu etkiler sağladığı görülmüştür. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla genel bir uyum içindedir ve depolama sırasında kaliteyi artırmada bu uygulamaların etkinliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, protein yüzdesinin hem depolama süresi hem de uygulama-depolama etkileşiminden güçlü bir şekilde etkilendiği tespit edilmiştir. Depolama süresince protein içeriği artmış ve 21. günde CuNP+PUT uygulamasında %4,96 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu bulgular literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu sonuçlar sunmaktadır. Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının meyvelerde protein içeriğini artırarak depolama süresince stabil kalmasını sağladığını belirtmiştir. Çalışmamızda PUT uygulamasının %3,96 ile en yüksek protein değerlerinden birini sağlaması bu bulgularla uyumludur. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının meyve içeriğindeki protein seviyelerini koruma ve artırma potansiyeline sahip olduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT kombinasyonunun 21. günde %4,96 ile protein içeriğinde zirve yapması, bu sonuçlarla örtüşmektedir. Champa vd. (2014), poliaminlerin meyve metabolizmasını destekleyerek protein içeriğini artırıcı etkilerinden bahsetmiştir. Çalışmamızdaki CuNP ve PUT uygulamalarının protein seviyelerini artırması bu çalışmayı desteklemektedir. Sonuç olarak, protein yüzdesinin depolama süresine bağlı olarak anlamlı değişimler gösterdiği ve CuNP ile PUT uygulamalarının bu parametre üzerinde olumlu etkiler sağladığı görülmüştür. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla uyum göstermektedir ve depolama sırasında kaliteyi artırmada bu uygulamaların etkinliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, toplam fenolik içeriğinin depolama süresi ve uygulamalar tarafından anlamlı bir şekilde etkilendiği, ancak etkileşimin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. En yüksek toplam fenolik içeriği, CuNP+PUT uygulamasının 21. gününde 0,40 mM olarak kaydedilmiştir. Bu bulgu, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumludur. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının toplam fenolik içeriği artırarak meyve kalitesini koruma ve oksidatif stres etkilerini azaltmada etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT uygulamasının toplam fenolik içeriği yüksek seviyede tutması bu bulgularla uyumludur.

Bal vd. (2017), poliamin ve ultrason kombinasyonlarının toplam fenolik içeriği artırarak meyve kalitesini koruduğunu ve oksidatif stresi azalttığını rapor etmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023) ise CuNP uygulamalarının domates meyvelerinde fenolik bileşenlerin korunmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Kalyan Barman vd. (2014), putresin ve carnauba mumu kombinasyonunun nar meyvesinde toplam fenolik içeriği koruma konusunda etkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda PUT uygulamasının toplam fenolik içeriği artırıcı etkisi bu çalışmayı desteklemektedir. Z.H. Pinedo-Guerrero vd. (2017), CuNP ve kitosan bazlı uygulamaların, özellikle fenolik bileşiklerin birikimini artırarak depolama süresince fenolik içeriği koruma üzerinde olumlu etkiler sağladığını rapor etmiştir. Çalışmamızdaki CuNP+PUT uygulamasının benzer sonuçlar vermesi, bu bulgularla paralellik göstermektedir. Champa vd. (2014), poliaminlerin üzüm fenolik içeriği üzerinde stabilizatör bir rol oynadığını ve fenolik kayıpları yavaşlattığını ifade etmiştir. Çalışmamızda PUT uygulamasının kontrol grubuna göre daha yüksek fenolik içerik sağlaması, bu çalışmayı destekler niteliktedir.

Sonuç olarak, toplam fenolik içeriği üzerindeki değişimlerin depolama süresi boyunca azaldığı, ancak CuNP ve PUT uygulamalarının bu düşüşü sınırladığı ve fenolik içeriği koruma konusunda etkili olduğu görülmüştür. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla güçlü bir uyum göstermekte ve depolama sırasında kaliteyi artırmak için CuNP ve PUT kombinasyonlarının etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, depolama süresi ve uygulamaların toplam flavonoid içeriği üzerinde anlamlı etkileri olduğu, ancak etkileşimin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Flavonoid içeriği 0. günden 21. güne kadar 0,07–0,09 mM arasında değişim göstermiş ve CuNP, PUT, CuNP+PUT uygulamaları en yüksek değeri (0,08 mM) sağlamıştır. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının flavonoid içeriğini artırarak meyve kalitesini koruma ve antioksidan kapasiteyi destekleme konusundaki etkilerini vurgulamıştır. Çalışmamızda CuNP uygulamasının kontrol grubuna göre daha yüksek flavonoid içeriği sağlaması bu bulgularla uyumludur.

Kalyan Barman vd. (2014), putresin uygulamalarının meyvelerde flavonoid içeriklerini koruma ve oksidatif strese karşı direnç artırma konusundaki etkilerini rapor etmiştir. Çalışmamızda PUT uygulamasının flavonoid içeriği üzerindeki etkisi bu bulgularla örtüşmektedir. Z.H. Pinedo-Guerrero vd. (2017), nanopartikül bazlı uygulamaların flavonoid içeriğini stabilize ettiğini ve depolama süresince

kayıpları sınırlandırdığını belirtmiştir. Çalışmamızda CuNP ve CuNP+PUT uygulamalarının flavonoid içeriklerini yüksek seviyelerde koruması bu çalışmayı desteklemektedir. Champa vd. (2014), poliaminlerin flavonoid içeriğini artırıcı etkilerini vurgulamış ve depolama süresince bu parametrelerin korunmasında önemli bir rol oynadığını ifade etmiştir. Çalışmamızda PUT uygulamasının flavonoid içeriği üzerindeki olumlu etkisi bu sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Sonuç olarak, toplam flavonoid içeriğinin depolama süresince belirgin değişiklikler göstermediği, ancak CuNP, PUT ve CuNP+PUT uygulamalarının bu içeriği koruma ve artırma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Bulgularımız, literatürdeki diğer çalışmalarla uyum içindedir ve depolama sırasında flavonoid içeriğini koruma açısından bu uygulamaların etkinliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, CAT aktivitesinin depolama süresi boyunca anlamlı değişiklikler gösterdiği ve hem uygulamaların hem de uygulama-depolama etkileşimlerinin bu parametre üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu belirlenmiştir. CAT aktivitesi, depo süresinin başında 0,38 μM iken, 14. günde 1,44 μM ile en yüksek seviyeye ulaşmış, 21. günde ise 1,06 μM 'ye gerilemiştir. CuNP uygulaması 0,98 μM ile en yüksek CAT aktivitesini sağlarken, kontrol grubu en düşük değeri (0,69 μM) göstermiştir. Bu bulgular, literatürdeki birçok çalışma ile uyumluluk göstermektedir. Davarynejad vd. (2015), poliamin ve salisilik asit uygulamalarının katalaz aktivitesini artırarak oksidatif stresi azalttığını ifade etmiştir. Ayrıca, Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının oksidatif stresi azaltarak katalaz aktivitesini desteklediğini belirtmiştir. Çalışmamızda, PUT uygulamasının 14. günde 1,93 μM ile en yüksek CAT aktivitesine ulaşması, bu literatürde bildirilen bulgularla paralellik göstermektedir. CuNP uygulamasının katalaz aktivitesini artırması, oksidatif stresin kontrolünde poliamin ve nanomalzeme uygulamalarının etkili olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.

Çalışmamızda, hidrojen peroksit (H_2O_2) seviyelerinin depolama süresi boyunca anlamlı değişiklikler gösterdiği ve uygulamaların bu parametre üzerindeki etkisinin güçlü olduğu bulunmuştur. H_2O_2 seviyesi, depo süresinin başında 4,74 μM iken, 7. günde 5,58 μM ile zirveye ulaşmış, 21. günde ise 4,93 μM 'ye düşmüştür. CuNP+PUT uygulaması 4,81 μM ile en düşük H_2O_2 seviyesini sağlarken, kontrol grubunda bu değer 5,52 μM olarak kaydedilmiştir. Davarynejad vd. (2015), poliamin ve salisilik asit uygulamalarının oksidatif stres göstergesi olan H_2O_2 seviyelerini azalttığını belirtmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023) ise CuNP

uygulamalarının H_2O_2 seviyelerini kontrol altına alarak meyve kalitesini desteklediğini göstermiştir. Çalışmamızda, PUT uygulamasının 21. günde $4,18 \mu M$ ile en düşük H_2O_2 seviyesine ulaşması, bu çalışmalarda bildirilen bulgularla uyumludur. Bu durum, poliamin ve nanomalzeme kombinasyonlarının oksidatif stresle mücadelede etkin bir araç olduğunu desteklemektedir.

Çalışmamızda, MDA seviyelerinin depolama süresi boyunca anlamlı değişiklikler gösterdiği ve uygulamaların bu parametre üzerindeki etkisinin oldukça güçlü olduğu belirlenmiştir. MDA seviyesi, depo süresinin başında $0,18 \mu M$ iken, 7. günde $0,68 \mu M$ 'ye yükselmiş, 14. günde $0,57 \mu M$ 'ye düşmüş ve 21. günde $0,72 \mu M$ ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. CuNP+PUT uygulaması $0,40 \mu M$ ile en düşük MDA seviyesini sağlarken, kontrol grubu $0,65 \mu M$ ile en yüksek değeri göstermiştir. Davarynejad vd. (2015), poliamin ve salisilik asit uygulamalarının MDA seviyelerini azaltarak lipid peroksidasyonu kontrol ettiğini rapor etmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023), CuNP uygulamalarının oksidatif stresle mücadelede MDA seviyelerini düşürdüğünü ifade etmiştir. Çalışmamızda CuNP+PUT kombinasyonunun MDA seviyelerini azaltması, bu bulgularla paralellik göstermektedir. Bu sonuçlar, oksidatif stresin kontrol altına alınmasında nanomalzeme ve poliamin uygulamalarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin depolama süresi boyunca anlamlı değişiklikler gösterdiği ve uygulamaların bu parametre üzerinde güçlü etkiler sağladığı belirlenmiştir. SOD aktivitesi, depo süresinin başında %7,57 iken, 21. günde %16,37 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. CuNP+PUT uygulaması %16,43 ile en yüksek SOD aktivitesini sağlarken, kontrol grubunda bu değer %10,04 ile daha düşük seviyede kalmıştır. Bu bulgular, literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Bu bulgular, literatürdeki çeşitli çalışmalarla uyumludur. Ennab vd. (2020), poliamin uygulamalarının SOD aktivitesini desteklediğini rapor etmiştir. Hernández-Fuentes vd. (2023) ise CuNP uygulamalarının depolama süresince SOD aktivitesini artırarak ürün kalitesini iyileştirdiğini belirtmiştir. Çalışmamızda, CuNP+PUT kombinasyonunun 21. günde %24,83 ile en yüksek SOD aktivitesine ulaşması, bu bulgularla uyum göstermektedir. Bu sonuçlar, oksidatif stresin kontrol altına alınmasında poliamin ve nanobakır kombinasyonlarının sinerjik etkilerini desteklemektedir.

5.SONUÇ ve ÖNERLER

Bu çalışmada, Gök üzüm çeşidinin hasat sonrası muhafazasında CuNP, putresin ve bu iki bileşiğin kombinasyonunun etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, her iki uygulamanın (Putresin ve CuNP) tek başına veya kombinasyon halinde, üzümün kalite parametreleri üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermiştir. Putresin uygulamaları, üzümün hasat sonrası kalite iyileştirmelerinde olumlu katkılar sağlamıştır. Bu nedenle, putresin uygulamaları, üzümün depolanmasında üreticiler için verimli çözüm sunmaktadır. CuNP uygulamaları da üzüm kalitesini iyileştiren bir diğer önemli faktör olmuştur. CuNP, özellikle antioksidan kapasiteyi artırarak, üzümün depolama süresi boyunca kalitesinin korunmasına yardımcı olmuştur. CuNP'nin uygulanması, kalite parametrelerinde belirgin bir artış sağlamış ve bitkilerin fenolik içeriklerini güçlendirmiştir.

Putresin ve CuNP'nin kombinasyonu ise her iki bileşiğin tek başına uygulandığına kıyasla daha belirgin ve olumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Bu kombinasyon, üzümdeki kalite parametrelerinde önemli iyileşmeler sağlamış ve depo koşullarına karşı daha dayanıklı bir metabolizma ortaya çıkarmıştır. Özellikle 21. günde, putresin ve CuNP'nin birlikte uygulanması, üzümde kaliteyi artırarak, bu bileşiklerin sinerjik bir etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, putresin ve CuNP'nin kombinasyonunun, üzüm depolamasında kaliteyi ve verimliliği artıran etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Abd Elbar, Ola H, Reham E Farag, and Said A Shehata. 2019. "Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of thymus vulgaris l. under drought stress." *Annals of Agricultural Sciences* 64(2): 129–37.
- Adámez, Jonathan Delgado, Esther Gamero Samino, Esperanza Valdés Sánchez, and David González-Gómez. 2012. "In vitro estimation of the antibacterial activity and antioxidant capacity of aqueous extracts from grape-seeds (Vitis Vinifera L.)." *Food Control* 24(1–2): 136–41.
- Ahmadi-Nouraldinvand, Farnaz, Mehdi Afrouz, Sabry G Elias, and Saeid Eslamian. 2022. "Green synthesis of copper nanoparticles extracted from guar seedling under cu heavy-metal stress by trichoderma harzianum and their bio-efficacy evaluation against staphylococcus aureus and escherichia coli." *Environmental Earth Sciences* 81(2): 54.
- Akanbi-Gada, Mariam A, Abiola O Saliu, Yusuf A Iyanda, and Abdulrazaq A Olaoye. 2023. "Bioaccumulation potentials, growth attributes, stress enzymes determination, and proximate content of zea mays (l.) walp. grown in copper nanoparticles-amended soil."
- Aktar, Fahmida, Md Shahidul Islam, Md Al-Amin Milon, Nahidul Islam, and Md Azizul Islam. 2021. "Polyamines: an essentially regulatory modulator of plants to abiotic stress tolerance: a review." *Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: 2321–0893)* 9(3).
- Al-Qaissi, Abier Raouf Mahmoud, Shahbaa Hatiem Fouzi, and Ayyub Juma Al-Baytay. 2023. "Mycosynthesis of copper nanoparticles by aspergillus spp. isolated from the tomato rhizosphere and evaluating their inhibition efficacy on the pathogenic fungus fusarium oxysporum." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 12010.
- Ashfaq, Rabia, Akhtar Rasul, Sajid Asghar, Anita Kovács, Szilvia Berkó, and Mária Budai-Szűcs. 2023. "Lipid Nanoparticles: an effective tool to improve the bioavailability of nutraceuticals." *International Journal of Molecular Sciences* 24(21): 15764.
- Atalar, Mehmet Nuri, Ayşe Baran, Abdulkirim Hatipoğlu, M Firat Baran, Ömer Yavuz, Necmettin Aktepe, and Cumali Keskin. 2021. "The characterization of silver nanoparticles synthesized from prunus spinosa fruit and determination of antimicrobial effects on some food pathogens." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (32): 298–305.
- Bal, Erdinc, Demir Kok, and Ali Izzet Torcuk. 2017. "Postharvest putrescine and ultrasound treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (Vitis Vinifera L.) Cv. Michele Palieri." *Journal of Central European Agriculture* 18(3): 598–615.
- Barman, Kalyan, Ram Asrey, R K Pal, Charanjit Kaur, and S K Jha. 2014. "Influence of putrescine and carnauba wax on functional and sensory quality of pomegranate (punica granatum l.) fruits during storage." *Journal of food science and technology* 51: 111–17.
- Bassiony, S S, Abd El-Aziz, H Maha, and Hayam M Fahmy. 2018. "Effect of foliar application of putrescine and salicylic acid on yield, fruit quality and storability of." *Journal of Plant Production* 9(12): 1203–14.
- Biçer, Mustafa, and İlkay Şişman. 2010. "Controlled synthesis of copper nano/microstructures using ascorbic acid in aqueous CTAB solution." *Powder Technology* 198(2): 279–84.
- Bikdeloo, Mahdi, Maryam Ahsani Irvani, Hamid Reza Roosta, and Davood Ghanbari. 2021. "Green synthesis of copper nanoparticles using rosemary extract to reduce postharvest decays caused by botrytis cinerea in tomato." *Journal of Nanostructures* 11(4): 834–41.
- Butkhup, L, S Chowtivannakul, R Gaensakoo, P Prathepha, and S Samappito. 2010. "Study of the phenolic composition of shiraz red grape cultivar (vitis vinifera l.) cultivated in north-eastern thailand and its antioxidant and antimicrobial activity." *South African Journal of Enology and*

- Buveneswari, K, and R Revathy. 2018. “Biosynthesis of copper oxide nanoparticles and its antimicrobial activities.” *Journal of Nanoscience and Technology*: 450–51.
- Champa, W A Harindra, M I S Gill, B V C Mahajan, and N K Arora. 2014. “Postharvest treatment of polyamines maintains quality and extends shelf-life of table grapes (*Vitis Vinifera* L.) Cv. Flame Seedless.” *Postharvest biology and technology* 91: 57–63.
- Chandrashekhar, Harsha K, Gunjan Singh, Arya Kaniyassery, Thorat Sachin Ashok, Roopa Nayak, Thokur Sreepathy Murali, and Annamalai Muthusamy. 2023. “Synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles and its influence on pearl millet (*pennisetum gluacum* l.) under drought conditions.”
- Cifuentes, Zuny, Laura Custardoy, Jesús M de la Fuente, Clara Marquina, M Ricardo Ibarra, Diego Rubiales, and Alejandro Pérez-de-Luque. 2010. “Absorption and translocation to the aerial part of magnetic carbon-coated nanoparticles through the root of different crop plants.” *Journal of Nanobiotechnology* 8: 1–8.
- Cui, Jing, Igor Pottosin, Emmanuelle Lamade, and Guillaume Tcherkez. 2020. “What is the role of putrescine accumulated under potassium deficiency?” *Plant, Cell & Environment* 43(6): 1331–47.
- Das, Adhip, Sourabh Karwa, Jyoti Taunk, Rajeev N Bahuguna, Ashish K Chaturvedi, Pramod Kumar, V Chinnusamy, and Madan Pal. 2021. “Putrescine exogenous application alleviates oxidative stress in reproductive tissue under high temperature in rice.” *Plant Physiology Reports* 26(2): 381–91.
- Davarynejad, Gholam Hossein, Mehdi Zarei, Mohamad Ebrahim Nasrabadi, and Elham Ardakani. 2015. “Effects of salicylic acid and putrescine on storability, quality attributes and antioxidant activity of plum Cv. ‘Santa Rosa.’” *Journal of food science and technology* 52: 2053–62.
- Deng, Dunying, Yunxia Jin, Yuanrong Cheng, Tianke Qi, and Fei Xiao. 2013. “Copper nanoparticles: aqueous phase synthesis and conductive films fabrication at low sintering temperature.” *ACS applied materials & interfaces* 5(9): 3839–46.
- Dinda, Gargi, Dipankar Halder, and Atanu Mitra. 2018. “Catalytic and Antibacterial Activity of copper nanoparticle-starch composite.” *Advanced Materials Proceedings* 3(1): 2–7.
- Doğu, Sena Özbay, and Cemalettin Sarıçoban. 2015. “Balık ve balık ürünlerinde biyojen aminler ve önemi.” *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 18(3): 19–28.
- Ehteshamnia, Abdollah, Sh Taghipour, and Sara Siahmansour. 2021. “Effect of pre-harvest application of putrescine and post harvesting aloe vera gel on the quality and shelf life of table grape (*Vitis Vinifera* Cv. ‘Yaghouti’).” *Journal Of Horticultural Science* 35(1): 103–16.
- Ejeromedoghene, Onome, Abiodun Oladipo, Olayinka Oderinde, Emmanuel S Okeke, Saliu A Amolegbe, Tolulope M Obuotor, Caroline A Akinremi, Sheriff Adewuyi, and Guodong Fu. 2021. “Facile green synthesis of new chitosan-metal nanoparticles as nano-agrofungicide for the preservation of postharvest cherry fruits.” *ACS Agricultural Science & Technology* 1(6): 664–73.
- Eker, Ömer. 2015. “ekşi kara ve gök üzüm (*vitis vinifera* l.) çeşitlerinin ampelografik özellikleri.”
- El-Rab, Sanaa M F Gad, Sakeenabi Basha, Amal A Ashour, Enas Tawfik Enan, Amal Ahmed Alyamani, and Nayef H Felemban. 2021. “Green Synthesis of copper nano-drug and its dental application upon periodontal disease-causing microorganisms.” *Journal of Microbiology and Biotechnology* 31(12): 1656.
- El-Saadony, Mohamed T, Mohamed E Abd El-Hack, Ayman E Taha, Moustafa M G Fouda, Jamaan S Ajarem, Saleh N. Maodaa, Ahmed A Allam, and Nashwa Elshaer. 2020. “Ecofriendly synthesis and insecticidal application of copper nanoparticles against the storage pest

- Tribolium Castaneum.” *Nanomaterials* 10(3): 587.
- El-Shemy, Mervat A. 2019. “Pre and post-harvest treatments to improve ponkan mandarin fruits quality 1. maintaining fruit quality during cold storage.” *Journal of Plant Production* 10(10): 867–74.
- Engels, Volker, Faysal Benaskar, David A Jefferson, Brian F G Johnson, and Andrew E H Wheatley. 2010. “Nanoparticulate copper–routes towards oxidative stability.” *Dalton Transactions* 39(28): 6496–6502.
- Ennab, Hassan A, Mervat A El-Shemy, and Shamel M Alam-Eldein. 2020. “Salicylic acid and putrescine to reduce post-harvest storage problems and maintain quality of murcott mandarin fruit.” *Agronomy* 10(1): 115.
- Francis, Dali Vilma, Neeru Sood, and Trupti Gokhale. 2022. “Biogenic CuO and ZnO Nanoparticles as nanofertilizers for sustainable growth of amaranthus hybridus.” *Plants* 11(20): 2776.
- Giannousi, K, I Avramidis, and C Dendrinou-Samara. 2013. “Synthesis, characterization and evaluation of copper based nanoparticles as agrochemicals against phytophthora infestans.” *RSC advances* 3(44): 21743–52.
- Gökmen, Gökhan Gurur, and Duygu Kışla. 2022. “Nanotechnology-based antimicrobial surface-coating technologies and their potential applications.”
- Gören, Hatice Kübra, Öner Canavar, and Uğur Tan. 2024. “Mitigating salinity stress in cotton (gossypium hirsutum l.) with k-humate and iron oxide nanoparticles.” *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 11(4): 1275–83.
- Guler, Ali, and Demet Yildiz Turgut. 2021. “Fatty acids, phenolic compounds and antioxidant capacity of the seeds from nine grape cultivars (vitis vinifera l.).” *ciência e técnica vitivinícola* 36(2): 116–25.
- He, Fei, Lin Mu, Guo-Liang Yan, Na-Na Liang, Qiu-Hong Pan, Jun Wang, Malcolm J Reeves, and Chang-Qing Duan. 2010. “Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes.” *Molecules* 15(12): 9057–91.
- Hernández-Fuentes, Alma Delia, José Erasto Arroyo-Aguilar, Jorge Gutiérrez-Tlahque, Yair Olovaldo Santiago-Saenz, Aurora Quintero-Lira, Matilde Reyes-Fuentes, and César Uriel López-Palestina. 2023. “Application of cu nanoparticles in chitosan-pva hydrogels in a native tomato genotype: evaluation of the postharvest behavior of the physicochemical and bioactive components of the fruits.” *Food and Bioprocess Technology* 16(9): 1953–62.
- Hernández-Fuentes, Alma Delia, Esly Rubisela López-Vargas, José Manuel Pinedo-Espinoza, Rafael German Campos-Montiel, Jesús Valdés-Reyna, and Antonio Juárez-Maldonado. 2017. “Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with cu nanoparticles and NaCl stress.” *Applied Sciences* 7(10): 980.
- Hoseinnejad, Mahmoud, Seid Mahdi Jafari, and Iman Katouzian. 2018. “Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications.” *Critical reviews in microbiology* 44(2): 161–81.
- Hosseini, M S, Z Fakhar, M Babalar, and M A Askari. 2017. “Effect of Pre-harvest putrescine treatment on quality and postharvest life of pear Cv. Spadona.” *Advances in Horticultural Science* 31(1): 11–18.
- Hosseini, Marjan Sadat, Mesbah Babalar, Mohammad Ali Askari, and Seyed Morteza Zahedi. 2019. “Comparison the effect of putrescine application on postharvest quality of pyrus communis Cv. ‘Shah-Miveh’ and ‘Spadona.’” *Food Science & Nutrition* 7(1): 14–21.
- Hurtado, Daniel Andrés Villegas, Marcos Fabian Sanabria Franco, Vinicius Guimarães Nasser, Bruno Henrique Rocha, Geraldo Humberto Silva, and Willian Rodrigues Macedo. 2023. “Putrescine and deficit irrigation as regulatory factors in basil plants metabolism and morpho-

physiology.” *Ciência e Natura* 45: e14–e14.

- Hussein, Hebat-Allah A, Shifaa O Alshammari, Marwa E Abd El-Sadek, Sahar K M Kenawy, and Ali A Badawy. 2023. “The promotive effect of putrescine on growth, biochemical constituents, and yield of wheat (*Triticum Aestivum* L.) plants under water stress.” *Agriculture* 13(3): 587.
- Iliger, Krishnanand Shivanand, Tariq Ahmad Sofi, Nazir Ahmad Bhat, Farooq Ahmad Ahanger, Jagan Chandra Sekhar, Ahmed Zohier Elhendi, Asma A Al-Huqail, and Faheema Khan. 2021. “Copper nanoparticles: green synthesis and managing fruit rot disease of chilli caused by *Colletotrichum Capsici*.” *Saudi Journal of Biological Sciences* 28(2): 1477–86.
- Jalili, Ilmaz, Ali Ebadi, Mohammad Ali Askari, Sepideh KalatehJari, and Mohammad Ali Aazami. 2023. “Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in *Vitis Vinifera* Cv. ‘Giziluzum.’” *BMC Plant Biology* 23(1): 135.
- Jianfeng, Yan, Zou Guisheng, Hu Anming, and Y Norman Zhou. 2011. “Preparation of PVP Coated Cu NPs and the Application for Low-Temperature Bonding.” *Journal of Materials Chemistry* 21(40): 15981–86.
- Jones, Gregory V, Michael A White, Owen R Cooper, and Karl Storchmann. 2005. “Climate change and global wine quality.” *Climatic change* 73(3): 319–43.
- Karakus, Sinem, Ozkan Kaya, Hanifeh Seyed Hajizadeh, Gastón Gutiérrez-Gamboa, Fadime Ates, Metin Turan, and Miguel Araya-Alman. 2023. “Characterization of volatile compounds of gök üzüm raisins produced from grapes pre-treated with different dipping solutions.” *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 10(1): 55.
- Keskin, Nurhan, Ozkan Kaya, Fadime Ates, Metin Turan, and Gastón Gutiérrez-Gamboa. 2022. “Drying grapes after the application of different dipping solutions: effects on hormones, minerals, vitamins, and antioxidant enzymes in gök üzüm (*vitis vinifera* l.) raisins.” *Plants* 11(4): 529.
- Khan, Ahmad S, Zora Singh, and Nadeem A Abbasi. 2007. “Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in ‘Angelino’ Plum.” *Postharvest Biology and Technology* 46(1): 36–46.
- Koyuncu, Mehmet Ali, Derya Erbaş, Cemile Ebru Onursal, and Funda Özüsoy. 2018. “Hasat öncesi farklı dozlardaki putresin uygulamasının 0900 ziraat kiraz çeşidinin soğukta depolama süre ve kalitesi üzerine etkileri.” *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 55(3): 271–79.
- Kucuker, Emine, Erdal Aglar, Mustafa Sakaldaş, Fatih Şen, and Muttalip Gundogdu. 2023. “Impact of postharvest putrescine treatments on phenolic compounds, antioxidant capacity, organic acid contents and some quality characteristics of fresh fig fruits during cold storage.” *Plants* 12(6): 1291.
- Kumar, R K Naven, Azhagu Madhavan Sivalingam, Arockia Alex, and Neha Brahma. 2024. “Pharmacological effect of copper oxide nanoparticles of *azadirachta indica* leaf extract and application for its antibacterial properties.” *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 16(Suppl 2): S1249–55.
- Kumar, Yogendra, K N Tiwari, T Singh, and R Raliya. 2021. “Nanofertilizers and their role in sustainable agriculture.” *Annals of Plant and Soil Research* 23(3): 238–55.
- Lai, Dongzhi, Tao Liu, Guohua Jiang, and Wenxing Chen. 2013. “Synthesis of highly stable dispersions of copper nanoparticles using sodium hypophosphite.” *Journal of applied polymer science* 128(3): 1443–49.
- Li, H., Wang, X., Li, P., Li, Y., & Wang, H. (2008). Comparative study of antioxidant activity of grape (*Vitis vinifera*) seed powder assessed by different methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 16(6), 12.

- Liu, Zhonghua, Bing Xu, Yuqing Chen, Mengting Si, Xiangqian Chu, Yingcui Fang, and Mengtao T Sun. 2023. "The effects of the geometry parameters and oxidation on the localized surface plasmon resonance properties of copper nanoparticle thin film via calculation."
- Loyola-López, Nelson, Marcos Carrasco-Benavides, Pablo H Duarte Duarte, and Mariela Arriola-Herrera. 2017. "Increasing the shelf life of post-harvest table grapes (*Vitis vinifera* cv. thompson seedless) using different packaging material with copper nanoparticles to change the atmosphere."
- Ma, Xiaozhou, Xin Zhu, Saijiao Qu, Lin Cai, Guanhua Ma, Guangjin Fan, and Xianchao Sun. 2022. "Fabrication of copper nanoparticle composite nanogel for high - efficiency management of *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* on tobacco." *Pest Management Science* 78(5): 2074–85.
- Markin, Alexey V, and Natalia E Markina. 2019. "Experimenting with plasmonic copper nanoparticles to demonstrate color changes and reactivity at the nanoscale." *Journal of Chemical Education* 96(7): 1438–42.
- Mei, Lei, and Qin Wang. 2020. "Advances in using nanotechnology structuring approaches for improving food packaging." *Annual review of food science and technology* 11(1): 339–64.
- Mirdehghan, S H, and S Rahimi. 2016. "Pre-harvest application of polyamines enhances antioxidants and table grape (*Vitis vinifera* L.) quality during postharvest period." *Food Chemistry* 196: 1040–47.
- Nagaonkar, Dipali, Sudhir Shende, and Mahendra Rai. 2015. "Biosynthesis of copper nanoparticles and its effect on actively dividing cells of mitosis in *Allium cepa*." *Biotechnology progress* 31(2): 557–65.
- Nartop, Pinar. 2019. "Yeşil sentez yolu ile gümüş nanopartiküllerin elde edilmesinde bitkisel ekstraktlerin indirgeyici ajan olarak kullanılması." *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji* 8(1): 50–60.
- Navratilova, Jana, Antonia Praetorius, Andreas Gondikas, Willi Fabienke, Frank Von der Kammer, and Thilo Hofmann. 2015. "Detection of engineered copper nanoparticles in soil using single particle ICP-MS." *International journal of environmental research and public health* 12(12): 15756–68.
- Nazarova, A A. 2020. "Morpho-physiological and productive indicators of oat under the influence of nanopowders of cobalt and copper trace elements." In *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2016.
- Nguyen, Vinh Tien, My-Sam Dang-Thi, and Khanh Son Trinh. 2020. "Antifungal activity of gelatin - tapioca starch film and coating containing copper nanoparticles against *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose." *Journal of Chemistry* 2020(1): 6667450.
- Pinedo-Guerrero, Zeus H, Alma Delia Hernández-Fuentes, Hortensia Ortega-Ortiz, Adalberto Benavides-Mendoza, Gregorio Cadenas-Pliego, and Antonio Juárez-Maldonado. 2017. "Cu nanoparticles in hydrogels of chitosan-pva affects the characteristics of post-harvest and bioactive compounds of jalapeño pepper." *Molecules* 22(6): 926.
- Piñero, María Carmen, Ginés Otálora, Jacinta Collado, Josefa López-Marín, and Francisco M Del Amor. 2021. "Foliar Application of putrescine before a short - term heat stress improves the quality of melon fruits (*Cucumis Melo* L.)." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 101(4): 1428–35.
- Podlipná, Radka, Tereza Cyrusová, and Tomáš Vaněk. "Effect of nanoparticles on cadmium accumulation in sedge (*Carex Vulpina* L.)."
- Ponmurugan, Ponnusamy, Kolandasamy Manjugarunambika, Viswanathan Elango, and Balasubramanian Mythili Gnanamangai. 2016. "Antifungal activity of biosynthesised copper

- nanoparticles evaluated against red root-rot disease in tea plants.” *Journal of Experimental Nanoscience* 11(13): 1019–31.
- Poudel, Puspa Raj, Ryosuke Mochioka, Kenji Beppu, and Ikuo Kataoka. 2009. “Influence of temperature on berry composition of interspecific hybrid wine grape ‘Kadainou R-1’(Vitis Ficifolia Var. Ganebu× V. Vinifera ‘Muscat of Alexandria’).” *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 78(2): 169–74.
- Pratiwi, Reno, Lestari Lestari, Muhammad Burhannuddinur, Syamsul Irham, and Lukas Lukas. 2021. “Laboratory study of copper nanoparticle effect on scale and corrosion rate in the oil field.” *Journal of Earth Energy Science, Engineering, and Technology* 4(1).
- Raffi, Muhammad, Saba Mehrwan, Tariq Mahmood Bhatti, Javed Iqbal Akhter, Abdul Hameed, Wasim Yawar, and M Masood ul Hasan. 2010. “Investigations into the antibacterial behavior of copper nanoparticles against escherichia coli.” *Annals of microbiology* 60: 75–80.
- Rai, Mahendra, Avinash P Ingle, Raksha Pandit, Priti Paralikar, Sudhir Shende, Indarchand Gupta, Jayanta K Biswas, and Silvio Silvério da Silva. 2018a. “Copper and copper nanoparticles: role in management of insect-pests and pathogenic microbes.” *Nanotechnology Reviews* 7(4): 303–15.
- Rai, Mahendra, Avinash P Ingle, Raksha Pandit, Priti Paralikar, Sudhir Shende, Indarchand Gupta, Jayanta K Biswas, and Silvio Silvério da Silva. 2018b. “Gök üzüm’(vitis vinifera l.) çeşidinin ticari potansiyeli ve ampelografik özellikleri.” *Nanotechnology Reviews* 7(4): 303–15.
- Rienth, Markus, Nicolas Vigneron, Philippe Darriet, Crystal Sweetman, Crista Burbidge, Claudio Bonghi, Robert Peter Walker, Franco Famiani, and Simone Diego Castellarin. 2021. “Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario—a review.” *Frontiers in Plant Science* 12: 643258.
- Rizwan, Muhammad, Shafaqat Ali, Muhammad Farooq Qayyum, Yong Sik Ok, Muhammad Adrees, Muhammad Ibrahim, Muhammad Zia-ur-Rehman, Mujahid Farid, and Farhat Abbas. 2017. “Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: a critical review.” *Journal of hazardous materials* 322: 2–16.
- Ruffo Roberto, Sergio, Khamis Youssef, Ayat Farghily Hashim, and Antonio Ippolito. 2019. “Nanomaterials as alternative control means against postharvest diseases in fruit crops.” *Nanomaterials* 9(12): 1752.
- Sadek, Mohamed E, Yasser M Shabana, Khaled Sayed-Ahmed, and Ayman H Abou Tabl. 2022. “Antifungal activities of sulfur and copper nanoparticles against cucumber postharvest diseases caused by botrytis cinerea and sclerotinia sclerotiorum.” *Journal of Fungi* 8(4): 412.
- Safiei, Nor Zanariah, Norzita Ngadi, Anwar Johari, Zaki Yamani Zakaria, and Mazura Jusoh. 2017. “Grape juice concentration by progressive freeze concentrator sequence system.” *Journal of Food Processing and Preservation* 41(1): e12910.
- Sedaghathoor, Shahram, Zahra Narouei, Seyedeh Ameneh Sajjadi, and Saeed Piri. 2020. “The effect of chemical treatments (silver thiosulfate and putrescine) on vase life and quality of cut chrysanthemum morifolium (ram.) flowers.” *Cogent Biology* 6(1): 1754320.
- Şekerci, Akife Dalda, Gülşen Barut, Hande Seda Özdal, and Hasan Talha Ünsal. “The effects of silver and copper nano particle-infused vase solutions on the vase life of cut narcissus (narcissus l.) flowers.” *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 39(1): 231–40.
- Shafqat, Usman, Sabir Hussain, Tanvir Shahzad, Muhammad Shahid, and Faisal Mahmood. 2023. “Elucidating the phytotoxicity thresholds of various biosynthesized nanoparticles on physical and biochemical attributes of cotton.” *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 10(1): 30.
- Sheikhalipour, Morteza, Behrooz Esmailpour, Mahdi Behnamian, Gholamreza Gohari, Mousa Torabi Giglou, Pavla Vachova, Anshu Rastogi, Marian Brestic, and Milan Skalicky. 2021.

- “Chitosan–selenium nanoparticle (Cs–Se NP) foliar spray alleviates salt stress in bitter melon.” *Nanomaterials* 11(3): 684.
- Shiri, Mohammad Ali, Mahmood Ghasemnezhad, Davood Bakhshi, and Hasan Sarikhani. 2013. “Effect of postharvest putrescine application and chitosan coating on maintaining quality of table grape cv. ‘shahroudi’ during long - term storage.” *Journal of Food Processing and Preservation* 37(5): 999–1007.
- Song, Xiangchong, Hongyu Dai, Siyao Wang, Shujuan Ji, Xin Zhou, Jianan Li, and Qian Zhou. 2022. “Putrescine treatment delayed the softening of postharvest blueberry fruit by inhibiting the expression of cell wall metabolism key gene VcPG1.” *Plants* 11(10): 1356.
- Tanwar, Shruti, Yatish Ratn Parauha, Yogesh There, and Sanjay Janaraoji Dhoble. 2023. “Green synthesis - assisted copper nanoparticles using aegle marmelos leaves extract: physical, optical, and antimicrobial properties.” *Luminescence* 38(11): 1912–20.
- Van, Nguyen Tuong. 2018. “Effects of nano copper used in seed treatment for germination, growth, and productivity of maize.” *Journal of Biology/TAp chí Sinh HỌc* 40(4).
- Vian, Maryline Abert, Valérie Tomao, Philippe Olivier Coulomb, Jean Michel Lacombe, and Olivier Dangles. 2006. “Comparison of the anthocyanin composition during ripening of syrah grapes grown using organic or conventional agricultural practices.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(15): 5230–35.
- Vijay, M, and Y Anu. 2017. “Anticancer activity of camellia sinensis mediated copper Nanoparticles against HT-29, MCF-7, and MOLT-4 human cancer cell lines.” *Asian J Pharm Clin Res* 10(2): 71–77.
- Villanueva, María Emilia, Ana Maria del Rosario Diez, Joaquín Antonio González, Claudio Javier Pérez, Manuel Orrego, Lidia Piehl, Sergio Teves, and Guillermo Javier Copello. 2016. “Antimicrobial activity of starch hydrogel incorporated with copper nanoparticles.” *ACS applied materials & interfaces* 8(25): 16280–88.
- Yu, Jin-Cheng, Fu-Gang Zhao, Wei Shao, Cong-Wu Ge, and Wei-Shi Li. 2015. “Shape-controllable and versatile synthesis of copper nanocrystals with amino acids as capping agents.” *Nanoscale* 7(19): 8811–18.
- Zaynitdinova, Lyudmila I, Roxila N Juraeva, Javlon J Tashpulatov, Svetlana I Kukanova, Nikolay A Lazutin, and Aziza M Mavjudova. 2022. “Influence of silver and copper nanoparticles on the enzymatic activity of soil-borne microorganisms.” *Baghdad Science Journal* 19(6 (Suppl.)): 1487.
- Zhang, Jv, Juncai Chen, Qianjun Huang, Brett MacKinnon, Omid Nekouei, Hong Liu, Peng Jia, et al. 2021. “Copper/carbon core/shell nanoparticles: a potential material to control the fish pathogen saprolegnia parasitica.” *Frontiers in Veterinary Science* 8: 689085.
- Zhang, Run Hua, Jun Li, Shi Rong Guo, and Takafumi Tezuka. 2009. “Effects of exogenous putrescine on gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings.” *Photosynthesis research* 100: 155–62.
- Zhang, Xiu-Jiao, Chao Wu, Bao-Yu Liu, Hui-Ling Liang, Man-Lian Wang, and Hong Li. 2024. “Transcriptomic and metabolomic profiling reveals the drought tolerance mechanism of illicium difengpi (Schisandraceae).” *Frontiers in Plant Science* 14: 1284135.