

ISSN 2757-8097

alatarım

Cilt 24, Sayı 2, Aralık 2025



Published by
Alata Horticultural Research Institute, Erdemli, Mersin, TÜRKİYE

TAGEM JOURNALS

**Alata Bahçe Kùltürleri
Araştırma Enstitüsü Adına**

Sahibi

Dr. Nihal DENLİ
Enstitü Müdürü

Editör

Dr. Ayhan AYDIN

Yayın Kurulu

Dr. Ayhan AYDIN, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin, Türkiye
Dr. Veysel ARAS, Bahçe Bitkileri
Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin, Türkiye
Doç. Dr. Osman Sedat SUBAŞI, Tarım Ekonomisi
Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin, Türkiye
Dr. Engin GÖNEN, Biyosistem Mühendisliği
Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin, Türkiye
Prof. Dr. Ahmet Erhan ÖZDEMİR, Bahçe Bitkileri
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye
Prof. Dr. Aydın UZUN, Bahçe Bitkileri
Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye
Prof. Dr. Servet TEKİN, Biyosistem Mühendisliği
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye
Prof. Dr. Nedim MUTLU, Tarımsal Biyoteknoloji
Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

*Türkçe ve İngilizce olarak altı ayda bir elektronik ortamda
yayınlanır.*

**TÜBİTAK/ULAKBİM TR Dizin ve
CAB INTERNATIONAL tarafından dizinlenen hakemli bir
dergidir.**

Elektronik Posta

alatarim@yahoo.com

Web Adresi

<http://arastirma.tarimorman.gov.tr/alata>

Telefon

0 324 518 00 52-54

*Derginin tüm yayın hakları Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma
Enstitüsü Müdürlüğüne aittir. Kaynak gösterilmesi koşuluyla
alıntı yapılabilir.*

HAKEM KURULU – SCIENTIFIC BOARD

Prof. Dr. Ahmet Erhan ÖZDEMİR, Bahçe Bitkileri
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye
Prof. Dr. Aşkın BAHAR, Bahçe Bitkileri
Selçuk Üniversitesi, Taşucu MYO., Mersin, Türkiye
Prof. Dr. Aysun ŞENER GEDÜK, Gıda Teknolojisi
Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, Türkiye
Prof. Dr. Burçak KAPUR, Tarımsal Yapılar ve Sulama
Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
Prof. Dr. Dilşat BOZDOĞAN KONUŞKAN, Gıda Mühendisliği
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye
Prof. Ferhan KÜÇÜKBASMACI SABİR, Bahçe Bitkileri
Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ, Bahçe Bitkileri
Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
Prof. Dr. Sedat BOYACI, Biyosistem Mühendisliği
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye
Prof. Dr. Servet TEKİN, Biyosistem Mühendisliği
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye
Doç. Dr. Yeşim Bozkurt ÇOLAK, Biyosistem Mühendisliği
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, Türkiye

İÇİNDEKİLER

Araştırmalar

- 81 Bazı Nar Çeşit ve Genotiplerinin Fitokimyasal Özellikleri
Zafer KARAŞAHİN, Nesrin KARATAŞ,
Zeynettin BAYSAL, Mustafa ÜNLÜ,
Evren Çağlar EROĞLU, Osman UYSAL,
Ahmet Erhan ÖZDEMİR
- 95 Taze Kesilmiş Elmalarda Kararmayı Engelleyici Maddelerin Yenilebilir Kaplama ile Birlikte Kullanımının Muhafaza Süresince Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi
Mays Talal Kadhım MAADHEEDI,
Ferhan KÜÇÜKBASMACI SABİR
- 104 Depolama Koşullarının Farklı Soğan Çeşitlerinin Hasat Sonrası Fizyolojisindeki Rolü
Samiullah RAWOFİ, Özge HORZUM,
Selen AKAN KARACA, Nurdan Tuna GÜNEŞ
- 112 Farklı Sulama Koşullarında Çeltikte CO₂ ve Sıcaklık Değişimlerine Duyarlılığın Model Tabanlı Analizi
Alper BAYDAR
- 122 Damla Sulama Sistemlerinde Sıcaklık Kaynaklı Viskozite Değişimlerinin Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) Üzerindeki Etkisi
Servet TEKİN, Turgay YAVUZ,
Muhammed Ata ÇATALBAŞ
- 131 Türkiye’de Farklı İklim Koşullarına Sahip Bölgelerde Sera Çatısından Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Belirlenmesi
Sedat BOYACI, Mısra SEZER

CONTENTS

Researches

- 81 Phytochemical Properties of Some Pomegranate Variety and Genotypes
Zafer KARAŞAHİN, Nesrin KARATAŞ,
Zeynettin BAYSAL, Mustafa ÜNLÜ,
Evren Çağlar EROĞLU, Osman UYSAL,
Ahmet Erhan ÖZDEMİR
- 95 Effects of Using Anti-Browning Substances with Edible Coating on the Quality of Fresh Cut Apples During Storage
Mays Talal Kadhım MAADHEEDI,
Ferhan KÜÇÜKBASMACI SABİR
- 104 The Role of Storage Conditions on the Postharvest Physiology of Different Onion Cultivars
Samiullah RAWOFİ, Özge HORZUM,
Selen AKAN KARACA, Nurdan Tuna GÜNEŞ
- 112 A Model-Based Analysis of Rice Sensitivity to CO₂ and Temperature Changes under Different Irrigation Regimes
Alper BAYDAR
- 122 Effect of Temperature-Induced Viscosity Changes on Standard Temperature Discharge Ratio (TDR) in Drip Irrigation Systems
Servet TEKİN, Turgay YAVUZ,
Muhammed Ata ÇATALBAŞ
- 131 Determining Rainwater Harvesting Potential from Greenhouse Roofs across Different Climatic Zones in Türkiye
Sedat BOYACI, Mısra SEZER

Bazı Nar Çeşit ve Genotiplerinin Fitokimyasal Özellikleri

Zafer KARAŞAHİN¹ 

Nesrin KARATAŞ¹ 

Zeynettin BAYSAL¹ 

Mustafa ÜNLÜ¹ 

Evren Çağlar EROĞLU² 

Osman UYSAL³ 

Ahmet Erhan ÖZDEMİR⁴ 

¹Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Erdemli/Mersin

²University of Colorado Department of Pediatrics Colorado/ABD

³Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakùltesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Malatya

⁴Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakùltesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Hatay

Özet

Bu çalışma, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü nar genetik kaynakları koleksiyonunda bulunan 79 adet nar genotipinin bazı biyoaktif özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Antioksidan aktivitesi (%), toplam fenolikler (TP), toplam flavonoid (TF), toplam antosiyanin (TA), askorbik asit (C Vitamini) (mg/L), glikoz (GLUC), fruktoz (FRUC) gibi fitokimyasal özellikler araştırıldı. Nar çeşit ve genotiplerinin, antioksidan aktivitesi (%39.49-63.68), toplam fenolikler (191.52-561.11 mg GAE/100 mL), toplam flavonoid (11.87-34.12 mgKE/100 mL), toplam antosiyanin (0.09- 24.93 mg sy-3-gluc/100 mL), askorbik asit (47.19-198.00 mg/L), glikoz (4.46-9.13 g/100 mL), fruktoz (4.96-9.14 g/100 mL) değerleri arasında belirlenmiştir. Antioksidan aktivitesi en düşük 01N07 genotipinde en yüksek 33N09 genotipinde, toplam fenolik en düşük 31N08 genotipinde en yüksek 17/123 genotipinde, toplam flavonoid en düşük 31N08 genotipinde en yüksek Onurnar5 çeşidinde, toplam antosiyanin en düşük Boncuk çeşidinde en yüksek Hizan16 çeşidinde, askorbik asit en düşük 01N07 genotipinde en yüksek Öztürknar çeşidinde, glikoz ve fruktoz en düşük 17/123 genotipinde en yüksek 07N03 genotipinde belirlenmiştir. Sonuç olarak, antioksidan aktivitesi, toplam fenolik, toplam flavonoid, toplam antosiyanin, askorbik asit, glikoz ve fruktoz değerleri değişkenlik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nar, antioksidan, toplam fenol, askorbik asit, fitokimyasal.

Phytochemical Properties of Some Pomegranate Variety and Genotypes

Abstract

This study was conducted in 2015, 2016, and 2017 to determine some bioactive properties of 79 pomegranate genotypes found in the collection of pomegranate genetic resources of the Alata Horticultural Research Institute. Phytochemical properties such as antioxidant activity (%), total phenolics (TP), total flavonoids (TF), total anthocyanin (TA), ascorbic acid (Vitamin C) (mg/L), glucose (GLUC), fructose (FRUC) were investigated. Pomegranate varieties and genotypes had antioxidant activity (39.49-63.68%), total phenolics (191.52-561.11 mg GAE/100 mL), total flavonoids (11.87-34.12 mgKE/100 mL), total anthocyanin (0.09-24.93 mg sy-3- gluc/100 mL), ascorbic acid (47.19-198.00 mg/L), glucose (4.46-9.13 g/100 mL), fructose (4.96-9.14 g/100 mL). Antioxidant activity is lowest in 01N07 genotype, highest in 33N09 genotype, total phenolic lowest in 31N08 genotype, highest in 17/123 genotype, total flavonoid lowest in 31N08 genotype, highest in Onurnar5 variety, total total anthocyanin lowest in Boncuk variety, highest in Hizan16 variety, highest ascorbic acid in 31N08 genotype. The lowest levels were determined in the 01N07 genotype, the highest in the Öztürknar variety, the lowest glucose and fructose levels in the 17/123 genotype and the highest in the 07N03 genotype. As a result, antioxidant activity, total phenolic, total flavonoid, total anthocyanin, ascorbic acid, glucose and fructose values varied.

Keywords: Pomegranate, antioxidant, total phenolic, ascorbic acid, phytochemical.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: Z. Karasahin; zaferkarasahin@gmail.com
Geliş Tarihi/Received: 26.07.2024 Kabul Tarihi/Accepted: 28.07.2025

Makalenin Türü: Araştırma
Category: Research

Zafer KARAŞAHİN  <https://orcid.org/0000-0002-5960-6694>

Zeynettin BAYSAL  <https://orcid.org/0000-0002-7008-5519>

Evren Çağlar EROĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-1169-9000>

Nesrin KARATAŞ  <https://orcid.org/0000-0002-1173-9594>

Mustafa ÜNLÜ  <https://orcid.org/0000-0001-9957-2954>

Osman UYSAL  <https://orcid.org/0000-0002-9010-2988>

Ahmet Erhan ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0001-7114-5715>

Giriş

Nar (*Punica granatum* L.), olumsuz toprak koşullarında (tuz ve sıcaklık stresi gibi) meyve verebilen, sertliği ile eski çağlardan beri takdir

edilen bir meyve türüdür. Günümüzde nar, meyvelerinin çok işlevli beslenme kalitesi ve sağlığa yararları nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Botanik olarak balausta olarak adlandırılan nar meyvesi, bölmeler (karpeller)

halinde gruplanmış ve karpelar zarlarla ayrılmış, plasentar zarı ile birlikte mezokarp ve tüm meyveyi saran perikarptan (kabuk), etli tohumlardan (suyu içeren testa ve embriyoyu ve yapılarını tutan tegmenlerle) oluştuğu için oldukça karmaşık bir yapı gösterir (Melgarejo ve ark., 2020). Türkiye, başta Akdeniz bölgesinde olmak üzere yıldan yıla hızla artan üretimiyle Avrupa'nın başlıca nar üreticilerinden biridir. 2023 yılı verilerine göre Türkiye'de 638.8216 ton nar üretimi yapılmıştır (TÜİK, 2024). Narlar geleneksel olarak meyvenin yenilebilir kısımları olan çekirdeklerden taze meyve suyu üretimi için kullanılmıştır, ancak son zamanlarda, şişelenmiş meyve suyu, reçeller, yağ, takviyeler ve yaşlanma önleyici kremler elde etmek için endüstriyel işlemeye yönelik büyük ve artan bir talep olmuştur (Khadivi ve ark., 2018; Melgarejo ve ark., 2015). Nar meyvesi fenolik asitler, flavonoidler, vitaminler, şekerler, doğal antioksidanlar ve mineral elementler gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir (Wang ve ark., 2010; Li ve ark., 2015). Nar suyu organik asitler, C vitamini, E vitamini, koenzim Q ve ellagitanninler ve antosiyaninler gibi polifenoller içerir (Topalovic ve ark., 2020). Mineraller nar meyvesinin besin değerlerinin artmasına katkıda bulunabilir. K ve Ca gibi bazı makro elementler tohumlardan ziyade çoğunlukla meyve dış dokularında (yani kabuk ve mezokarp) birikir (Fawole ve Opara, 2012). Meyve suyu ve meyvenin faydalı etkileri ve antioksidan aktivitesi, genel olarak, hücrelerin kendilerine oldukça zararlı moleküller olan serbest radikallere karşı etkili olan fenolik içeriğe atfedilir (Arlotta ve ark., 2022). Nar suyunun kırmızı şarap ve yeşil çaydan 3 kat, üzüm/kızılçık, greyfurt ve portakal suyunda tespit edilenden sırasıyla 2, 6 ve 8 kat daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu ayrıca antosiyaninlerin nar suyunun parlak kırmızı renginden sorumlu suda çözünür pigmentler olduğu bildirilmiştir (Mena ve ark., 2011). Nar meyvelerinde yukarıda bahsedilen bileşiklerin mevcudiyeti ve miktarı, çevresel, agronomik ve genetik faktörlerin bir kombinasyonu ile belirlenir (Balli ve ark., 2020). Şeker içeriği, renk, polifenol içeriği ve ürünün kalitesi, meyvelerin çeşidine ve olgunluk derecesine bağlıdır. İklim ve çevre koşulları bu özellikleri etkileyebilir. En çok kabul gören çeşitler, daha asidik bir tada sahip, önemli sağlık özelliklerine sahip fenoller açısından zengin

meyvelere sahip olan çeşitlerdir (Cristofori ve ark., 2011). Günümüzde pazar talebi sadece tüketicilerden değil, aynı zamanda gıda, nutrasötik ve kozmetik şirketinden gelmektedir ve ekonomik açıdan yüksek kaliteli ürünler elde etmek için farklı çeşitlerini karakterize edilmesi önemli hale gelmiştir (Arlotta ve ark., 2022). Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü'nde, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında yürütölen bu çalışma, nar genetik kaynakları koleksiyonunda bulunan 79 nar genotipinin fitokimyasal özelliklerinin tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Elde edilen veriler, yetiştirme ve ıslah programlarında yeni nar çeşitlerinin geliştirilmesi için kullanılabilecektir.

Materyal ve Metot

Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü nar genetik kaynaklar parselinde yetiştiriciliği yapılan 79 adet nar genotipi kullanılmıştır. Nar çeşit ve genotipleri kabuk rengi, tane rengi, meyve tadı, tohum sertliği, olgunluk dönemi gibi farklı meyve kalitesi özelliklerine sahiptir. Nar meyvelerinin derimi, çeşide özgü kabuk rengi, yumuşaklığı ve iriliğini aldığı, içteki tanelerin büyüklüğün ve yoğunluğun orantılı olduğu, meyvenin tac görünümündeki uçların (kaliks segmentlerinin) dışarıya doğru açıldığı, meyve üzerindeki erkek organ ipliciklerinin kuruduğu döneme göre 15 Eylül-20 Ekim tarihleri arasında yapılmıştır. Derim her bir çeşit ve genotipe ait 3 adet ağaçtan, ağacın 4 tarafından (kuzey, güney, doğu, batı), her bir ağaçtan 5 adet meyve olacak şekilde yapılmıştır. Her ağaç bir tekerrür olarak değerlendirilmiştir. Her tekerrürden alınan 5 adet meyve paslanmaz çelik bıçakla yarıya bölünerek meyve sıkacağı yardımıyla meyvelerin suyu çıkarılmıştır. Taze hazırlanmış meyve suyu örnekleri analiz edilene kadar -20 °C'de saklanmıştır.

Antioksidan Aktivitesi (%)

Nar suyu örneği 4 °C'de 4000 rpm'de 20 dakika santrifüjlenmiş, santrifüjlenmiş örnekten 5 mL alınıp üzerine 5 mL saf su eklenerek vorteks ile karıştırılmıştır. Karışımdan alınan 100 µL örneğe 2.46 mL 1.1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH*; %50 etanolde 0.025 g/L) ilave edilmiştir. Kontrol örneğinde 100 µL distile su kullanılmıştır. Örneklerin absorbanısı, vakit kaybedilmeden %100 metanole karşı 5, 10, 30, 45, 60 dakikalarda spektrofotometrede (BioTek

PowerWave, Winooski, VT, USA) 515 nm'de ölçülmüş, ölçümün sabitlendiği 60. dakika verileri kullanılmıştır. Antioksidan aktivitesi, DPPH'nin inhibisyon %'si olarak belirlenmiştir (Klimczak ve ark., 2007). Elde edilen değerlere açığı transformasyonu uygulanarak ifade edilmiştir.

Toplam Fenolik Madde Miktarı (mgGAE/100mL)

Nar suyu örneğinden 2 mL alınıp 8 mL % 80'lik metanolle karıştırıldıktan sonra 4000 rpm' de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonucu berrak kısımdan 50 µL alınıp üzerine 100 µL Folin-Ciocalteu çözeltisi ve 1500 µL saf su eklenip 10 dk bekletilmiştir. Daha sonra 50 µL %20'lik Na₂CO₃ çözeltisi eklenip 2 saat karanlıkta bekletilerek, örnek şahide karşı spektrofotometrede 765 nm'de okuma yapılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı daha önce hazırlanan standart grafikten elde edilen eğimden yararlanılarak mg/L olarak galik asit cinsinden ifade edilmiştir (Singleton ve Rossi 1965; Singleton ve ark.1999; Biçgel, 2008).

Toplam Flavonoid Miktarı (mgKE/100mL)

Nar suyu örneğinden 1 mL alınarak üzerine 4 mL distile su ilave edilmiştir. Sıfırıncı dakikada 0.3 ml %5' lik sodyum nitrit (NaNO₂), 5. Dakikada 0.3 mL %10' luk Alimünyum Klorür (AlCl₃) ve 6. dakikada 2 mL 1 M NaOH ve sonrasında 2.4 mL distile su eklenerek toplam hacim 10 mL ye tamamlanmıştır. Karışımın absorbansı 510 nm de ölçülerek, kateşin eşdeğeri (KE)/ 100 mL olarak ifade edilmiştir (Zhishen ve ark., 1999).

Toplam Antosiyanin Miktarı (mgSyd3glzt/100mL)

Her tekerrürden elde edilen nar suyu örneğinden 1 mL alınıp üzerine 24 mL pH değeri 1.0 olan 0.025 M potasyum klorür (KCl) tampon çözeltisi eklenmiştir. Yine aynı şekilde aynı nar suyu örneğinden 1 mL alınarak, üzerine 24 mL pH değeri 4.5 olan 0.4 M sodyum asetat tampon çözeltisi eklenmiştir. Elde edilen karışımların absorbans değerleri spektrofotometrede 520 ve 700 nm 'de ölçülmüştür. Örneklerin elde edilen absorbans değerleri $A = (A_{520} - A_{700}) / pH1.0 - (A_{520} - A_{700}) / pH 4.5$ verilen eşitlik kullanılarak siyanidin-3-glikozit (molar yok olma katsayısı 29.6 ve moleküler ağırlık

449.2) eşdeğeri olarak mg/100 mL olarak ifade edilmiştir (Giusti ve Wrolstad, 2001).

Askorbik Asit (C Vitamini) Miktarı (mg/L)

Askorbik asit miktarı, Téllez-Pérez ve ark. (2013) göre HPLC-UV-Vis (Shimadzu, LC-20AD, Kyoto, Japonya, 2010) ile belirlendi. %2 KH₂P04 (pH 2,4), izokratik mobil fazlı (GL Sciences, 5 uM, 4.6 x 250) kolonlu bir ters fazlı ODS₃ kullanıldı. Toplam çalıştırma süresi 15 dakika, akış hızı 0.6 mL/dak ve enjeksiyon hacmi 10 uL idi. Askorbik asit miktarının belirlenmesi, standart kalibrasyonla 244 nm'de gerçekleştirildi. Standart L-skorvik asit Merck'ten (Merck, Darmstadt, Almanya) elde edildi ve HPLC dereceli çözücüler ve ultra saf su kullanıldı.

Şeker (Glukoz, Fruktoz (g/100mL)) Miktarı

Şeker miktarı, 30 °C'de NH₂'ye bağlı bir silika kolonu (GL Sciences, 5 uM, 4.6 x 250) ile gerçekleştirildi. Elüsyon, 1.3 mL dk⁻¹ akış hızında, asetonitril/sudan oluşan mobil bir faz (80:20, h/h) ile izokratik olarak gerçekleştirildi. Tespit ve şeker ölçümü, bir refraktometre indeks dedektörü (Shimadzu LC-20AD-ID) ile gerçekleştirildi (Malgarejo ve diğerleri, 2000). Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 5 nar meyvesi olacak şekilde kurulmuştur. Denemeden elde edilen veriler JMP.v8.0.2. paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulup, ortalamalar arasındaki farklılıklar tukey çoklu karşılaştırma testine (P<0.05) göre gruplandırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Antioksidan Aktivitesi, Toplam Fenolik Madde Miktarı, Toplam Flavonoid Miktarı

Açı transformasyonu uygulanarak elde edilen ortalama antioksidan aktivitesi en yüksek %52.95 ile 33N09 genotipinde en düşük %38.92 ile 01N07 genotipinde, toplam fenolik madde miktarı en yüksek 561.11 mgGAE/100mL ile 17/123 genotipinde en düşük 191.52 mgGAE/100mL ile 31N08 genotipinde, toplam flavonoid miktarı, en yüksek 34.12 mgKE/100mL ile Onurnar5 genotipinde en düşük 11.87 mgKE/100mL ile 31N08 genotipinde belirlenmiştir (Tablo 1). Meyvelerde fenolik bileşikler renk, beslenme ve duyu kalite, antioksidan aktivite ile ilişkilidir (Robbins, 2003; Djridane ve ark., 2006; Li ve

ark., 2023). Legua ve ark (2016), 19 nar çeşidinin toplam fenolik madde içeriklerinin 90-145 mg GAE / 100 mL arasında, Hmid ve ark. (2017), 18 nar çeşidinin toplam fenolik madde miktarının 128.44-947.63 mg GAE/100 mL, antioksidan aktivitesinin %31.16-76.30 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Peng ve ark. (2020), 37 nar çeşidi arasında nar suyundaki antioksidan aktivitesinin %85.98-98.24, toplam fenolik madde içeriklerinin 40.91-132.47 µg/mL arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Li ve ark. (2023) 45 nar çeşidinin toplam fenolik içeriğinin 17.70-131.53 mg TAE/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Hasnaoui ve ark. (2011) Tunus'ta yetiştirilen 30 nar çeşidinde toplam flavonoid miktarının 1,80 mg/L ile 175 mg/L arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Hmid ve ark. (2017) 18 nar çeşidinin toplam flavonoid miktarının 14.44-56.98 mg RE/L arasında değiştiğini bildirmiştir. Singh ve ark. (2018), farklı lokasyonlardaki nar çeşitlerinin toplam flavonoid miktarının 5.83 mg ila 257 mg kateşin eşdeğeri/g arasında değiştiğini bildirmiştir. Peng ve ark. (2020), 37 nar çeşidinin, toplam flavonoid miktarının 14.08-137.72 µg/mL arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Guo ve ark. (2022), Çin'de yetiştirilen 50 nar çeşidi ve genotipinin toplam flavonoid miktarının 16.11 ile 72.50 mg/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Li ve ark. (2023) 45 nar çeşidinin toplam flavonoid miktarının 2.97-21.59 mg kateşin eşdeğeri/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Toplam Antosiyanin Miktarı, Askorbik Asit (C Vitamini) Miktarı, Şeker Miktarı

Renk indikatörü antosiyaninlerdir. Toplam antosiyanin miktarı en yüksek 24.93 mg syd-3-glzt/100mL ile Hizan16 genotipinde en düşük 0.09 mg syd-3-glzt/100mL ile Boncuk genotipinde, askorbik asit miktarı en yüksek 198.00 mg/L ile Öztürknar genotipinde en düşük 47.19 mg/L ile 01N07 genotipinde belirlenmiştir (Tablo 2). Tehranifar ve ark. (2010) İran'da yetişen 20 nar genotipinin askorbik asit miktarının 9.91-20.92 mg/100 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Legua ve ark. (2016) 19 nar çeşidinde toplam atosiyanin içeriğinin 2.59-21.70 mg cy-3-gluc/100 mL arasında olduğunu bildirmiştir. Hmid ve ark. (2017), 18 nar çeşidinin, toplam antosiyanin miktarının 5.65-18.87 mg/100 mL arasında değiştiğini

bildirmişlerdir. Peng ve ark. (2020), 37 nar çeşidi arasında nar suyundaki askorbik asit miktarının 12.80-66.63 µg/mL arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Chen ve ark. (2022) 20 nar çeşidinin askorbik asit miktarının 4.60-10.10 mg/100 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Yan-hui ve ark. (2022) 20 nar çeşidinin, toplam antosiyanin miktarının 4.90-255.80 mg/L arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Chen ve ark. (2022) 20 nar çeşidinin toplam antosiyanin içeriğinin 4.90-255.80 mg/L arasında değiştiğini bildirmiştir. Li ve ark. (2023), 38 nar çeşidinin toplam antosiyanin içeriğinin 0.91-103.09 mg/L arasında değiştiğini, 7 beyaz nar çeşidinin suyunda ise antosiyanin bulunmadığını bildirmişlerdir. Li ve ark. (2023) nar çeşitlerinin askorbik asit miktarının 0.95-9.98 mg/100 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Glukoz içeriği en yüksek 9.13 g/100 mL ile 07N03 genotipinde ve en düşük 4.46 g/100 mL 17/123 genotipinde, fruktoz içeriği en yüksek 9.14 g/100 mL ile 07N03 genotipinde ve en düşük 4.96 g/100 mL ile Onurnar 5 genotipinde belirlenmiştir (Tablo 2). Legua ve ark. (2016) 19 nar çeşidinde glukoz miktarının 3.31-5.67 g/100 mL arasında, fruktoz miktarının ise 5.93-9.65 g/100 mL arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Sonuç

Bu araştırma, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü nar genetik kaynakları koleksiyonundaki 79 nar genotipinin fitokimyasal özelliklerindeki çeşitliliği tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Antioksidan aktivitesi en düşük 01N07 genotipinde en yüksek 33N09 genotipinde, toplam fenolik en düşük 31N08 genotipinde en yüksek 17/123 genotipinde, toplam flavonoid en düşük 31N08 genotipinde en yüksek Onurnar5 çeşidinde, toplam antosiyanin en düşük Boncuk çeşidinde en yüksek Hizan16 çeşidinde, askorbik asit en düşük 01N07 genotipinde en yüksek Öztürknar çeşidinde, glikoz ve fruktoz en düşük 17/123 genotipinde en yüksek 07N03 genotipinde belirlenmiştir (Çizelge 1, Çizelge 2). Çalışmada materyal olarak kullanılan nar genotiplerinin, bazı biyoaktif özellikleri belirlenmiş olup, hangi çeşit ve tiplerin nar suyu ile ilgili endüstri kolunda işleme endüstrisine uygun olduğunun, hangi çeşit ve tiplerin sofralık tüketime uygun olduğunun, hangi çeşit ve tiplerin ise ihracata

uygun olduğunun saptanması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca elde edilen verilerin kullanılması, yeni nar çeşitlerinin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmaları için yararlı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TAGEM (Proje No: TAGEM/BBAD/16/A08/P09/02) tarafından finanse edilmiş ve Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Erdemli/Mersin'de yürütölmüştür.

Kaynaklar

- Arlotta, C., Toscano, V., Genovese, C., Calderaro, P., Puglia G.D., Raccuia, S.A., 2022. Nutraceutical content and genetic diversity share a common pattern in new pomegranate genotypes. *Molecules* 27 389. <https://doi.org/10.3390/molecules27020389>.
- Balli, D., Cecchi, L., Khatib, M., Bellumori, M., Cairone, F., Carradori, S., Zengin, G., Cesa, S., Innocenti, M., Mulinacci, N., 2020. Characterization of arils juice and peel decoction of fifteen varieties of *Punica granatum* L.: A focus on anthocyanins, ellagitannins, and polysaccharides. *Antioxidants* 9 238. <https://doi.org/10.3390/antiox9030238>.
- Biçgel, N.M., 2008. Effects of thermal pasteurization on quality of Kozan Misket and Valencia orange juices. Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Food Engineering, MSc Thesis, Adana, Türkiye, 129 pp. (in Turkish).
- Chen, Y.H., Gao, H.F., Wang, S., Liu, X.Y., Hu, Q.X., Jian, Z.H., Wan, R., Song, J.H., Shi, J.L., 2022. Comprehensive evaluation of 20 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars in China. *Journal of Integrative Agriculture* 21 (2) 434–445. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63389-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63389-5).
- Cristofori, V., Caruso, D., Latini, G., Dell'Agli, M., Cammilli, C., Rugini, E., Bignami, C., Muleo, R., 2011. Fruit quality of Italian pomegranate (*Punica granatum* L.) autochthonous varieties. *Eur. Food Res. Technol.* 232, 397–403.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Vidal, N., Lesgards, J.F., Stocker, P., 2006. Screening of some Algerian medicinal

plants for the phenolics compounds and their antioxidant activity. *Eur. Food Res. Technol.* 224 (6) 801–809. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0361-6>.

- Fawole, O.A., Opara, U.L., 2012. Composition of trace and major minerals in different parts of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit cultivars. *Br. Food J.* 114 (11), 1518–1532. <https://doi.org/10.1108/00070701211273009>.
- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F1.2.1–F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Guo, L.H., Ge, D.P., Ren, Y., Dong, J.M., Zhao, X.Q., Liu, X.Q., Yuan, Z.H., 2022. The comparative analysis and identification of secondary metabolites between Tibet wild and cultivated pomegranates (*Punica granatum* L.) in China. *Journal of Integrative Agriculture* 21 (3) 736–750. <https://doi.org/10.1016/S2095-31192163642-0>.
- Hasnaoui, N., Jbir, R., Mars, M., Trifi, M., Kamal-Eldin, A., Melgarejo, P., Hernandez, F., 2011. Organic acids, sugars, and anthocyanins contents in juices of Tunisian pomegranate fruits. *Int. J. Food Prop.* 14 (4) 741–757. <https://doi.org/10.1080/10942910903383438>.
- Hmid, I., Elothmani, D., Hanine, H., Oukabli, A., Mehinagic, E., 2017. Comparative study of phenolic compounds and their antioxidant attributes of eighteen pomegranates (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry* 10 S2675–S2684. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.10.011>.
- Khadivi, A., Ayenehkar, D., Kazemi, M., Khaleghi, A., 2018. Phenotypic and pomological characterization of a pomegranate (*Punica granatum* L.) germplasm collection and identification of the promising selections. *Sci. Hortic.* 238 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.062>.

- Legua, P., Giner, F.A.M., Jáuregui, N.N., Hernández, F., 2016. Polyphenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of nineteen pomegranate fruits: A rich source of bioactive compounds. *Journal of Functional Foods* 23 628–636. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.043>.
- Li X., Wasila H., Liu L., Yuan T., Gao Z., Zhao B., 2015. Physicochemical characteristics, polyphenol compositions and antioxidant potential of pomegranate juices from 10 Chinese cultivars and the environmental factors analysis. *Food Chem.* 175:575–584.
- Li, Q., Tan, W., Zhao, L., Luo, H., Zhou, Z., Zhang, Y., Bi, R., Zhao, L., 2023. A comprehensive evaluation of 45 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars based on principal component analysis and cluster analysis. *International Journal of Fruit Science* 23 (1) 135-150. <https://doi.org/10.1080/15538362.2023.2223312>.
- Melgarejo, P., Salazar, D.M., Artes, F., 2000. Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. *European Food Research and Technology* 211 185-190. <https://doi.org/10.1007/s002170050021>.
- Melgarejo-Sánchez, P., Martínez, J.J., Legua, P., Martínez, R., Hernández, F., Melgarejo, P., 2015. Quality, antioxidant activity, and total phenols of six Spanish pomegranate clones. *Sci. Hortic.* 182 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.020>.
- Melgarejo, P., Núñez-Gómez, D., Legua, P., Martínez-Nicolás, J.J., Almansa, M.S., 2020. Pomegranate (*Punica granatum* L.) is a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends Food Sci. Technol.* 102 232–236. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014>.
- Mena, P., García-Viguera, C., Navarro-Rico, J., Moreno, D., Bartual, J., Saura, D., Martí, N., 2011. Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1893–1906.
- Peng, Y., Wang, G., Cao, F., Fu, F.F., 2020. Collection and evaluation of thirty-seven pomegranate germplasm resources. *The Korean Society for Applied Biological Chemistry* 63 15. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00497-y>.
- Robbins, R.J., 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. *J. Agr. Food Chem.* 51 (10) 2866–2887. <https://doi.org/10.1021/jf026182t>.
- Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A., Singh, N., 2018. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. *Food Chem.* 261 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.039>.
- Singleton, V.L., Rossi, J.Jr., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants using folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology*. Academic Press. 299 152-178. <https://doi.org/10.20959/wjpr20193-14291>.
- Tehrani, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiari, B. and Vazifeshenas, M.R., 2010. Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Sci. Hortic.* 126 (2) 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.001>.
- Téllez-Pérez, C., Cardador-Martínez, A., Mounir, S., Montejano-Gaitán, J.G., Sobolik, V., Allaf, K., 2013. Effect of instant controlled pressure drop process coupled to drying and freezing on antioxidant activity of green ‘Poblano’ pepper (*Capsicum annum* L.). *Food Nutrition Science* 4 321-334. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.43043>.
- Topalovic, A., Knežević, M., Gaćnik, S., Mikulić-Petkovsek, M., 2020. Detailed chemical composition of juice from autochthonous pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.) grown in different locations in Montenegro. *Food Chem.* 330 127261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127261>.

- TÜİK, 2024. Turkish Statistical Institute. www.tuik.gov.tr. Retrieved in May, 24, 2024.
- Wang R., Ding Y., Liu R., Xiang L., Du L., 2010. Pomegranate: constituents, bioactivities and pharmacokinetics. *Fruit Veg. Cereal. Sci Biotechnol.* 4:77–87.
- Yan-hui, C., Hui-fang, G., Sa, W., Xian-yan, L., Qing-xia, H., Zai-hai, J., Ran, W., Jin-hui, S. and Jiang-li, S., 2022. Comprehensive evaluation of 20 pomegranates cultivars in China. *Journal of Integrative Agriculture* 21 (2) 434–445. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63389-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63389-5).
- Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W., 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

Çizelge 1. Nar çeşit ve genotiplerinin antioksidan aktivitesi (%), toplam fenolik madde (mg GAE/100 mL), toplam flavonoid madde miktarı (mg/100 mL)

Genotipler	Antioksidan Aktivitesi (%)*				Toplam Fenolik Madde Miktarı (mgGAE/100mL)				Toplam Flavonoid Miktarı (mgKE/100mL)			
	2015	2016	2017	Ort.	2015	2016	2017	Ort.	2015	2016	2017	Ort.
1458	44.37 u[	56.17 fj	46.65 nv	49.06 ku	239.85 ^B	262.01]!	290.54 vz	264.13 z[	13.91 tu	27.19 lp	20.50 wz	20.54 qr
1464	47.63 kp	51.81 ov	51.04 ad	50.16 gj	354.66 np	342.64 nq	377.99 mn	358.43 n	16.33 no	25.47 or	25.21 kl	22.34 ln
1478	43.95 x[	56.09 gj	48.77 el	49.60 io	295.54 su	325.83 qt	307.70 rv	309.69 rs	14.53 rt	20.03 w]	21.95 su	18.84 uw
01N02	43.20 z^	48.49 \!	42.74 ^!	44.81 AB	356.13 mp	384.26 jl	404.26 kl	381.55 kl	26.71 bc	26.14 nq	35.16 d	29.34 e
01N06	41.73 _!	53.16 lq	44.47 x^	46.45 _	315.44 r	342.50 nq	374.66 n	344.20 o	25.49 de	20.65 uz	24.32 kn	23.48 jk
01N07	39.27 AB	40.30 C	37.21 EF	38.92 G	246.23 JA	207.70 GL	229.75 BE	227.89]!	12.07 wx	13.88 DF	11.06 G	12.34 !
07N01	48.59 hl	50.68 sz	46.33 px	48.53 ow	353.48 oq	406.72 hj	332.40 op	364.20 mn	12.14 wx	28.65 km	16.70 _A	19.16 tv
07N02	47.93 jn	39.20 CD	39.32 BD	42.15 E	253.48 [_	240.15 !D	212.89 EG	235.51]	15.64 oq	13.96 DF	12.71 F	14.11 _
07N03	48.22 im	44.78 B	45.36 u\	46.12]!	380.64 jl	404.85 hj	418.87 lk	401.45 hl	11.43 xz	34.43 ef	22.39 qt	22.75 kl
07N04	48.45 hl	48.70 [-	49.62 cı	48.93 ku	389.07 hl	416.05 gh	434.95 gl	413.36 g	14.01 tu	26.67 mp	23.73 mp	21.47 np
07N06	48.76 hk	53.12 lq	47.46 ku	49.78 hk	361.13 mo	404.27 hj	394.75 lm	386.72 jk	9.30 [	21.15 ty	15.60 AC	15.35]^
07N08	42.47 _	49.32 y^	44.20 y^	45.33 !B	235.44 _C	264.75 _	298.77 sx	266.32 y[	24.42 f	17.96 \A	23.07 os	21.82 mo
07N10	48.47 hl	51.41 qx	46.74 mv	48.87 kv	246.03 JA	271.32]^	282.99 x[	266.78 y[	11.41 xz	18.20 [-	15.51 AD	15.04 ^
07N13	47.94 jm	47.18 _A	41.12 !B	45.41 !B	392.50 hk	358.28 mo	339.85 op	363.55 mn	11.15 yz	31.02 ij	17.69]-	19.96 rt
07N15	48.52 hl	53.24 lq	47.17 lu	49.65 ıl	276.62 vy	252.70 ^B	239.17 AC	256.16 [\	12.73 vw	16.05 !D	16.99 ^!	15.26 ^
10N01	44.02 x[	48.49 \!	40.87 !B	44.46 BC	264.36 y]	297.30 vz	277.60 y\	279.75 wx	16.73 mn	18.64 z-	17.69]-	17.69 y[
10N02	42.08 ^_	56.02 gj	50.07 cg	49.39 ıq	211.03 EH	232.01 BF	258.38]!	233.81]^	17.79 kl	21.10 ty	19.83 x[	19.57 su
17/123	51.11 ce	46.74 !A	48.52 gn	48.79 kv	564.66 a	534.91 ab	583.77 a	561.11 a	26.22 cd	35.18 e	39.66 c	33.69 ab
20/138	46.49 nr	58.01 dg	46.78 mv	50.43 fi	287.40 tw	307.79 ty	327.30 pq	307.50 rs	25.01 ef	25.74 nq	28.32 ij	26.36 f
20/35	48.73 hl	47.83]!	50.60 ae	49.05 ks	509.13 b	518.38 ac	546.91 b	524.81 b	27.56 b	26.82 lp	44.68 b	33.02 bc
20N01	38.16 B	50.16 v\	36.38 F	41.57 E	249.85 \A	286.62 x\	290.74 uz	275.74 wy	17.59 km	19.61 y]	18.04]^	18.41 vy
20N02	40.49 !A	59.17 ce	46.19 px	48.62 pw	197.50 Hİ	214.95 EK	203.38 FH	205.28 D	13.71 tu	15.72 AE	16.20 !B	15.21 ^
31N01	43.45 y^	52.23 nu	46.33 px	47.34 y\	295.83 su	312.11 rw	322.21 pr	310.05 qs	19.93 j	22.27 sw	22.66 pt	21.62 np

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

31N06	44.54 uz	53.48 kp	49.80 ch	49.27 jr	210.74 EH	188.77 LM	232.99 BD	210.83 CD	18.31 k	16.01 !D	16.96 ^!	17.09 [\
31N07	45.52 rw	59.53 be	49.26 dk	51.44 cf	202.89 Fİ	206.72 HL	227.50 CE	212.37 BD	22.31 h	16.88 ^C	25.22 kl	21.47 np
31N08	43.99 x[	55.38 hk	45.80 rz	48.39 qx	186.81 İ	191.62 KL	196.13 GH	191.52 E	11.13 yz	11.95 F	12.53 F	11.87 !
31N11	49.00 hk	53.86 kn	49.51 cj	50.79 eh	218.77 CF	231.13 BG	194.19 GH	214.70 AD	25.49 de	14.91 CE	12.75 F	17.71 x[
33N04	44.92 tx	56.10 gj	47.53 kt	49.52 ip	216.52 DF	242.21 _D	248.19 _B	235.64]	18.32 k	16.14 !D	16.39 !B	16.95 [\
33N09	53.81 ab	54.37 jm	50.68 ae	52.95 a	217.70 CF	234.36 AF	262.50 _	238.19]	16.73 mn	20.42 u[	22.35 qt	19.83 rt
33N10	48.59 hl	51.02 ry	51.22 ad	50.27 fi	256.62 z^	308.87 ty	287.99 wz	284.49 vw	15.70 oq	22.43 sv	14.11 E	17.42 z[
33N11	48.45 hl	52.47 ms	52.08 ab	51.00 dg	415.70 fg	431.13 fg	456.32 f	434.38 f	14.48 rt	27.09 lp	18.84 []	20.13 rs
33N12	47.29 lp	52.39 mt	50.88 ad	50.19 gj	200.74 Fİ	202.30 İL	216.81 DF	206.62 D	19.42 j	16.02 !D	18.08]^	17.84 x[
33N16	45.57 qv	56.50 fi	41.81 _A	47.96 vz	216.42 DG	245.54 _C	236.23 AC	232.73]_	19.30 j	23.89 qs	21.61 tw	21.60 np
33N23	47.59 kp	52.46 ms	45.80 rz	48.62 mw	294.75 sv	325.15 qu	313.28 qs	311.06 qs	20.87 ı	26.71 mp	28.11 ij	25.23 h
33N26	45.57 qv	51.54 px	47.26 lu	48.12 sy	287.60 tw	309.75 sx	291.91 ty	296.42 tu	14.04 tu	16.56 _C	14.76 CE	15.12 ^
33N27	50.84 df	54.13 jn	48.34 go	51.10 cg	231.42 !D	225.15 Cİ	211.13 EG	222.57 _B	20.87 ı	19.15 y^	22.14 ru	20.72 pr
33N34	51.02 ce	48.87 z-	45.00 v]	48.30 ry	224.26 BE	206.44 HL	185.54 H	205.42 D	14.04 tu	18.57 z-	29.56 gh	20.72 pr
33N49	46.44 os	58.25 df	51.43 ac	52.04 ad	208.87 EH	224.95 Cİ	238.11 AC	223.98 ^A	22.46 gh	19.97 x]	21.44 tw	21.29 oq
33N51	48.08 ım	51.01 ry	49.86 cg	49.65 ıl	525.93 b	537.60 a	586.62 a	550.05 a	19.72 j	41.60 bc	34.53 de	31.95 d
33N52	51.20 ce	49.59 x]	47.90 hp	49.57 ın	235.64 _C	250.34 ^B	267.79 [^	251.26 \	11.06 z	14.97 CE	27.33 j	17.79 x[
33N53	44.76 uy	61.52 ab	47.66 jr	51.31 cg	297.79 ru	301.62 uz	305.44 rw	301.62 su	22.88 gh	23.37 rt	21.73 tw	22.66 km
Alata	49.85 eh	52.81 lr	52.34 ab	51.66 be	250.05 \!	220.64 DJ	244.26 _C	238.32]	15.02 qs	21.95 sx	16.43 !B	17.80 x[
Antalyanar12	43.71 x]	53.71 ko	51.34 ac	49.59 ın	393.97 hj	384.07 jl	413.64 jk	397.23 lj	12.40 w	27.55 lo	23.28 nr	21.07 oq
Boncuk	45.12 rw	62.95 a	43.88 z^	50.65 fi	306.81 rs	337.99 oq	323.19 pr	322.66 p	14.17 su	27.84 ln	22.54 pt	21.52 np
Canernar10	43.06 [_	57.70 eg	45.86 qy	48.87 lv	401.42 gı	417.89 gh	406.42 jl	408.58 gh	17.99 kl	35.39 e	21.82 tv	25.07 h
Canernar3	46.19 pt	50.47 t[	50.47 bf	49.05 kt	467.21 d	470.25 d	495.34 e	477.60 d	24.30 f	34.25 eg	21.55 tw	26.70 f
Canernar7	44.88 tx	54.59 ıl	46.52 ow	48.66 mw	383.97 ıl	415.05 gh	379.75 mn	392.92 lj	15.93 np	28.57 km	17.69]-	20.73 pr
Canernar8	51.21 ce	45.33 AB	49.37 dk	48.64 mw	343.48 oq	364.66 ln	381.42 mn	363.19 mn	15.64 oq	32.78 fi	19.64 y\	22.69 km
Canernar9	52.29 cd	51.46 qx	45.60 t[	49.79 hk	391.52 hl	408.48 gı	437.99 fh	412.66 g	26.80 bc	34.01 eh	19.57 z\	26.79 f
ÇekAlanya	44.04 x[	50.80 sz	50.68 ae	48.51 pw	196.23 Hİ	214.36 EK	234.26 BD	214.95 AD	15.70 oq	18.68 z-	14.35 DE	16.25 \]

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

Gökmellesi	40.44 !A	63.11 a	46.25 px	49.93 ım	231.13 AD	239.36 !D	225.93 CE	232.14]_	13.44 uv	23.36 rt	17.95]^	18.25 vz
Hicrannar2	49.84 eh	48.70 [-	43.79 [^	47.45 x[	425.25 ef	442.99 ef	447.50 fg	438.58 ef	15.79 oq	32.00 gı	33.32 e	27.04 f
Hicrannar5	47.72 ko	53.26 lq	47.78 ıq	49.59 ım	480.64 cd	512.60 bc	528.89 bc	507.38 c	4.74 ^	25.24 pr	67.13 a	32.37 cd
Hizan01	44.91 tx	54.36 jm	37.20 EF	45.49 _A	395.15 hj	442.99 ef	414.56 jk	417.57 g	15.74 oq	39.43 cd	20.91 ux	25.36 gh
Hizan03	49.51 fi	44.70 B	49.80 ch	48.00 uy	271.62 w[	237.01 AE	239.75 !C	249.46 \	15.87 nq	19.07 y^	19.76 x[	18.23 wz
Hizan06	45.03 sx	60.21 bd	43.67 \-	49.64 ıp	354.07 np	373.58 km	392.58 ln	373.41 lm	25.52 de	22.61 su	24.04 lo	24.06 ij
Hizan16	46.97 mq	49.80 w\	38.83 CE	45.20 !B	272.60 wz	252.40 ^B	302.99 sw	276.00 wy	18.34 k	20.79 uz	28.04 ij	22.39 ln
Hizan17	50.50 eg	44.11 B	46.16 px	46.92 z]	315.83 r	334.75 or	311.81 qs	320.80 pq	19.93 j	13.56 EF	23.13 ns	18.87 uw
İridişli	49.23 gj	47.56 ^!	46.30 px	47.70 wz	302.89 rt	304.75 tz	272.99 z]	293.55 uv	22.31 h	21.26 ty	28.55 hj	24.04 ij
İzmir-10	53.79 ab	24.89 E	40.20 AC	39.63 F	296.42 su	285.15 y]	254.19 ^A	278.58 wx	19.30 j	15.60 BE	18.52 \]	17.81 x[
İzmir-1264	42.34]_	51.73 ow	44.14 y^	46.07]!	334.85 q	355.03 mp	377.11 mn	355.66 n	16.32 no	27.51 lp	24.77 km	22.87 kl
İzmir-1265	40.08 A	53.33 lq	37.60 DF	43.67 CD	405.64 gh	421.03 fh	422.99 hj	416.55 g	11.06 z	27.36 lp	24.97 kl	21.13 oq
İzmir-1465	44.10 w[	52.39 mt	46.52 ow	47.67 wz	203.58 Fİ	198.87 JL	226.13 CE	209.53 CD	23.25 g	25.82 nq	22.63 pt	23.90 j
İzmir-1499	54.03 a	51.52 px	43.26]-	49.61 ım	198.38 Gİ	167.50 M	196.34 GH	187.41 E	15.16 pr	21.06 uy	25.08 kl	20.43 qs
İzmir-15	50.92 cf	49.36 y^	44.64 w^	48.31 ry	485.44 cd	499.01 c	525.44 cd	503.30 c	6.14]	30.77 ık	25.36 k	20.76 pr
İzmir-1513	43.84 x\	56.94 fh	39.23 BD	46.67 [^	338.19 pq	364.75 ln	310.44 qt	337.79 o	15.16 pr	26.69 mp	30.26 g	24.04 ij
İzmir-16	52.33 bc	54.36 jm	48.63 fm	51.77 be	287.40 tw	257.99 ^A	309.26 qu	284.89 vw	25.01 ef	13.71 EF	20.80 vy	19.84 rt
İzmir-26	51.16 ce	56.78 fh	49.66 cı	52.53 ab	245.64]A	269.95 [^	294.58 sy	270.06 xz	18.09 kl	17.79]B	20.00 x[	18.63 vx
Kadirli	44.52 uz	50.16 v\	43.09]-	45.92 ^!	205.64 Eİ	213.19 FK	237.60 AC	218.81 !C	12.67 vw	17.18 ^C	24.85 km	18.23 wz
Katır	50.86 cf	47.68]!	48.78 el	49.10 ks	315.44 r	341.13 nq	348.48 o	335.02 o	6.14]	20.19 v\	20.74 vz	15.69]^
Kuşnarı	45.60 qv	52.90 lr	45.72 sz	48.07 ty	283.38 ux	312.79 rv	279.17 y\	291.78 uv	11.95 wy	25.88 nq	15.24 BE	17.69 y[
ME14	48.17 ım	60.91 ac	47.57 js	52.22 ac	441.23 e	459.36 de	442.50 fg	447.70 e	17.31 lm	42.42 b	35.33 d	31.68 d
Onurnar5	45.69 qv	49.14 y^	50.60 ae	48.48 pw	488.38 c	541.03 a	509.85 de	513.09 c	32.16 a	38.45 cd	31.75 f	34.12 a
Öztürknar	47.90 jn	50.35 u\	48.51 gn	48.92 ku	400.25 gı	385.15 ıl	417.50 lk	400.96 hl	7.88 \	31.35 ij	35.45 d	24.89 hı
Suruç	45.81 qu	57.01 fh	38.42 CE	47.08 z]	374.95 km	390.58 ık	422.40 hk	395.98 lj	19.38 j	31.15 ij	28.23 ij	26.25 fg
Suruç Tatlı	48.84 hk	50.92 ry	48.49 gn	49.42 ıp	246.13]A	283.68 z]	239.26 AC	256.36 [\	26.71 bc	37.80 d	14.85 CE	26.45 f
Tirbey	45.51 rw	57.86 eg	52.53 a	51.97 bd	265.36 x\	288.87 w[	393.68 lm	315.97 pr	23.19 gh	31.83 hı	25.23 kl	26.75 f

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

Türkmen	44.34 v[	61.16 ac	40.97 !B	48.83 nw	275.64 wy	230.15 BH	262.40 _\	256.06 [\	18.09 kl	29.09 jl	23.48 nq	23.55 jk
Wonderful	48.11 im	37.82 D	43.88 z^	43.27 D	372.75 ln	333.38 ps	385.54 mn	363.89 mn	15.28 pr	50.44 a	28.66 hı	31.46 d
LSD	3.13	3.37	4.21	2.19	18.91	23.73	18.70	11.10	0.89	2.29	1.23	0.93
CV	1.92	2.42	2.61	1.31	3.77	4.57	3.52	2.15	3.16	4.57	3.30	2.66
Prob	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*

*: Antioksidan aktivitesi değerlerine açi transformasyonu uygulanmıştır.

Çizelge 2. Nar çeşit ve genotiplerinin toplam antosiyanin (mg cy-3-gluc/ 100 mL), askorbik asit (mg/L) ve şeker miktarı (glikoz, fruktoz, g/100 mL)

Genotipler	T.Antosiyanin (mgSYD3GLZT/100mL)				Askorbik Asit (C Vitamini) (mg/L)				Glukoz (g/100mL)				Fruktoz (g/100mL)			
	2015	2016	2017	Ort.	2015	2016	2017	Ort.	2015	2016	2017	Ort.	2015	2016	2017	Ort.
1458	2.89 m	0.72 z!	5.52 mn	3.05 qr	123.22 h	136.47 e	116.86 m	125.52 j	7.13 bh	9.29 cm	8.83 h	8.42 ch	7.83 ac	9.50 cp	7.58 op	8.30 bg
1464	10.07 g	9.49 e	11.15 j	10.24 g	126.92 gh	109.42 hı	136.80 j	124.38 jk	7.41 bf	8.65 gu	7.75 x[	7.94 hs	7.31 cı	8.60 l[	6.09 ^_	7.33 ry
1478	2.59 m	2.45 no	3.47 qr	2.83 r	59.41 sv	65.87 st	77.25 rs	67.51 tu	6.95 dk	9.45 cl	7.93 sw	8.11 ep	7.47 bg	10.15 bg	6.87 vy	8.17 cj
01N02	0.50 z]	0.10 DF	1.25 \C	0.62 CG	123.54 h	144.28 d	153.00 h	140.27 h	6.33 gr	8.29 jw	8.75 hı	7.79 ju	6.40 ır	8.45 n]	9.50 cd	8.12 dl
01N06	0.93 vz	1.20 uy	2.27 ty	1.47 wz	57.83 v	45.51 BE	63.56 wx	55.63 B	6.87 dl	7.86 nz	9.85 cd	8.19 eo	7.54 bf	7.75 xB.	9.13 gh	8.14 dk
01N07	0.43 []	0.15 BF	0.67 AE	0.42 FI	57.67 v	43.59 DF	40.31 EF	47.19 J	8.05 ab	9.26 dm	9.67 df	9.00 ab	7.87 ac	9.31 et	8.82 ij	8.66 ac
07N01	1.10 tx	0.54]E	0.95 _D	0.86 !D	57.90 v	40.98 F	50.38 [\	49.76 Eİ	7.04 dı	6.37 [-	9.58 f	7.66 ow	7.36 cg	6.59 BF	8.60 k	7.52 nw
07N02	1.31 qv	0.04 F	0.08 E	0.48 FI	57.59 v	46.60 AE	63.66 wx	55.95 _A	8.02 ac	8.59 gv	9.84 cd	8.81 ac	8.35 ab	8.44 o]	9.27 fg	8.69 ab
07N03	1.14 sw	0.18 BF	2.14 uz	1.16 [!	58.62 uv	47.16 ^E	45.56]B	50.45 EG	6.99 dj	10.12 ae	10.29 a	9.13 a	7.01 cm	10.46 ae	9.96 b	9.14 a
07N04	1.24 rv	0.18 BF	2.67 rw	1.36 y\	150.60 d	167.56 b	182.96 c	167.04 d	6.61 en	6.66 z^	8.15 nq	7.14 w]	6.95 cm	7.09 !D	6.99 tw	7.01 x]
07N06	0.61 z\	0.08 EF	1.22 \C	0.64 BG	112.04 ık	100.56 k	90.29 p	100.97 o	5.25 tv	8.37 ıw	7.90 tx	7.17 v]	5.41 ux	8.80 jz	6.93 tx	7.05 w]
07N08	9.17 h	10.12 d	13.36 ı	10.88 f	58.29 v	64.08 tu	52.79 z[	58.39 [_	6.96 dk	8.64 gu	9.32 g	8.31 ck	7.09 cl	8.56 m[	9.66 c	8.44 bf
07N10	0.54 z]	0.17 BF	0.61 BE	0.44 FI	57.22 v	63.85 tu	47.58 \^	56.22 ^^	5.57 qv	9.41 cm	5.99 H	6.99 []	5.55 rx	9.31 et	5.30 B	6.72 z_
07N13	0.77 w[	0.32 ^F	2.21 tz	1.10 \A	64.95 ps	69.21 rs	43.65 _E	59.27 [\	7.30 bf	7.54 r[	7.82 vz	7.55 qz	7.55 be	8.22 s!	6.98 tw	7.58 mv
07N15	1.43 qu	0.08 EF	0.36 DE	0.63 CG	57.27 v	44.79 CF	41.85 CF	47.97 GJ	5.33 sv	9.60 bı	7.66 z]	7.53 q[	5.59 rx	9.83 bk	6.60 z\	7.34 ry
10N01	1.45 qu	1.31 tw	3.24 r	2.00 uv	116.70 ı	130.70 f	144.08 ı	130.49 ı	7.13 bh	7.38 s\	10.15 ab	8.22 dn	6.82 dn	7.52 [C	10.39 a	8.24 bı
10N02	0.50 z]	0.21 BF	1.08 ^D	0.60 CI	65.21 pr	52.78 x\	42.50 ^F	53.50 AC	5.31 sv	7.48 s\	8.35 km	7.04 y]	6.03 nv	7.27]C	8.59 k	7.30 ry

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

17/123	14.76 b	0.32 ^F	31.00 b	15.36 b	129.26 g	120.04 g	146.77 i	132.02 i	3.37 x	8.24 kw	1.78 O	4.46 E	4.11 yz	9.24 fu	1.60 H	4.98 E
20/138	7.21 j	2.89 mn	24.40 d	11.50 e	144.48 ef	135.33 e	159.05 g	146.28 g	3.69 x	5.42 ^-	6.50 ef	5.20 CD	3.99 z	6.53 CF	5.96 ^!	5.49 CD
20/35	2.55 mn	4.84 j	3.37 r	3.59 no	106.39 kl	94.83 l	81.89 q	94.37 p	3.83 wx	6.88 x]	2.69 N	4.47 E	4.36 yz	8.11 u!	2.56 G	5.01 DE
20N01	1.24 rv	1.34 tw	3.41 qr	1.99 uv	108.02 jk	123.86 g	135.91 jk	122.60 k	6.18 ht	9.04 ep	9.76 de	8.33 cj	6.20 lv	9.35 ds	8.91 i	8.15 dk
20N02	1.54 ps	1.21 ux	4.55 op	2.44 s	61.33 qv	51.86 y^	42.91 _F	52.03 CE	6.73 dn	8.54 hv	10.24 a	8.50 bg	6.96 cm	8.76 jz	9.66 c	8.46 bf
31N01	0.63 y\	0.26 !F	3.31 r	1.40 x[	91.80 m	106.62 ij	113.66 m	104.03 n	6.60 eo	7.11 w]	8.28 ln	7.33 u\	6.72 dp	7.22 ^D	8.88 i	7.61 mv
31N06	2.63 m	3.24 lm	4.19 pq	3.35 op	61.70 qv	54.20 xz	44.91 ^C	53.60 AC	5.41 rv	9.80 bh	8.08 pt	7.76 ku	5.47 sx	9.81 ck	8.90 i	8.06 em
31N07	1.52 pt	1.70 rt	2.80 rv	2.00 uv	58.14 v	44.49 CF	40.54 EF	47.72 HJ	5.02 uv	9.52 ck	6.72 D	7.09 x]	5.85 pw	9.65 cn	7.84 mn	7.78 hs
31N08	0.33 []	0.07 F	0.54 BE	0.32 HJ	84.31 m	90.72 m	80.10 qr	85.05 q	6.55 eo	8.71 gs	9.98 bc	8.41 ci	6.61 gq	9.14 fv	8.98 hi	8.25 bi
31N11	0.93 vz	0.06 F	0.07 E	0.35 GJ	72.02 o	61.14 uv	73.54 tu	68.90 t	6.87 dl	7.84 oz	8.35 km	7.69 nv	7.54 bf	8.13 t!	6.46 \]	7.38 qy
33N04	0.70 x\	0.77 x^	3.28 r	1.58 wy	58.08 v	49.67 [A	42.39 AF	50.05 EH	6.25 hs	5.22 _	7.55 \^	6.34 ^!	6.57 gq	5.49 F	8.87 i	6.98 y]
33N09	1.45 qu	2.60 no	2.96 rt	2.34 st	59.08 tv	69.78 qs	75.50 st	68.12 t	7.13 bh	8.41 iw	8.59 ij	8.04 fr	6.82 dn	8.45 o]	8.36 l	7.88 gq
33N10	0.35 []	0.13 CF	2.73 rw	1.07]A	93.41 m	103.74 jk	122.46 l	106.54 m	5.58 pv	8.88 fq	3.69 L	6.05 !B	5.81 pw	9.22 fu	3.34 E	6.13 !B
33N11	0.89 vz	0.07 F	1.84 x^	0.93 ^B	64.01 pu	54.06 xz	42.13 BF	53.40 BD	4.67 vw	9.04 ep	5.35 J	6.36 ^!	5.01 wy	9.72 cm	4.97 C	6.57]A
33N12	2.13 no	1.50 sv	5.26 no	2.96 qr	58.74 uv	44.37 CF	66.09 wx	56.40]'	6.55 eo	10.35 ae	7.84 vy	8.25 dm	6.59 gq	10.34 bf	8.68 jk	8.54 be
33N16	3.95 l	4.08 k	6.03 mn	4.68 l	57.77 v	64.87 tu	45.25]C	55.96 _A	6.51 fq	8.71 gs	9.59 ef	8.27 ck	6.62 fq	8.44 o]	9.34 df	8.13 dk
33N23	1.22 rv	1.93 qs	2.88 ru	2.01 uv	89.97 mn	102.60 k	106.65 n	99.74 o	6.93 dk	9.05 ep	9.76 de	8.58 bf	6.63 eq	8.66 k[	9.47 ce	8.25 bh
33N26	0.40 []	0.15 BF	1.14 ^D	0.57 EI	57.71 v	47.71 _C	42.77 _F	49.40 FJ	6.09 it	8.60 gv	7.87 ux	7.52 r[	6.02 nv	9.42 dr	7.77 no	7.74 js
33N27	1.22 rv	0.89 w]	1.46 zA.	1.19 z^	84.40 m	73.35 oq	64.73 wx	74.16 s	6.93 dk	10.94 ab	8.04 qu	8.64 ae	6.63 eq	11.64 a	7.32 r	8.53 be
33N34	0.40 []	0.39 ^F	0.13 E	0.31 !J	59.10 tv	48.26]C	70.31 uv	59.22 [\	6.09 it	9.19 dm	7.25 !	7.51 r[	6.02 nv	9.83 bk	7.38 qr	7.74 is
33N49	1.60 pr	0.74 y-	2.30 ty	1.54 wy	57.94 v	46.50 AE	55.88 yz	53.44 BD	5.86 mu	8.26 jw	8.11 nr	7.41 s[	6.16 mv	8.49 n\	8.01 m	7.55 nv
33N51	0.92 vz	0.31 ^F	0.47 CE	0.57 EI	148.18 de	164.18 b	174.91 e	162.43 e	7.58 bd	8.13 my	5.42 J	7.04 z]	7.60 bd	7.94 wA.	4.56 D	6.70 [_
33N52	1.91 op	0.58 \C	1.07 ^D	1.19 z^	57.51 v	50.95 z^	51.00 [\	53.16 BD	7.31 bf	8.84 fr	6.18 FG	7.44 s[	7.17 ck	8.90 hy	5.08 C	7.05 w]
33N53	0.60 z\	0.19 BF	0.70 AE	0.50 FI	58.49 uv	65.88 st	74.93 st	66.44 tv	6.53 ep	9.17 dn	7.78 wz	7.83 ju	6.65 eq	8.85 iy	7.65 op	7.72 js
Alata	0.72 w\	0.68 [A	1.17]C	0.86 AE	57.95 v	45.65 BE	66.71 wx	56.77 \'	8.58 a	10.26 ae	7.45 ^_	8.76 ad	8.71 a	10.65 ac	6.44 \]	8.60 bd
Antalyanar12	1.73 oq	8.29 f	1.52 y!	3.85 mn	66.62 oq	58.44 vw	63.50 x	62.85 xy	5.49 rv	8.62 gu	4.24 K	6.12 !A	5.45 tx	9.35 ds	4.40 D	6.40 ^B
Boncuk	0.11]	0.03 F	0.13 E	0.09 J	58.60 uv	53.28 x[	44.33 ^D	52.07 CE	5.29 sv	11.29 a	6.77 CD	7.78 ju	5.77 qw	9.77 cl	5.36 AB	6.97 y]

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

Canernar10	9.87 g	13.54 b	20.36 e	14.59 c	116.95 ı	102.36 k	108.75 n	109.35 l	6.47 fq	8.19 lx	8.50 jk	7.72 mu	6.62 fq	8.34 p-	7.31 r	7.42 py
Canernar3	5.18 k	4.33 k	16.03 g	8.51 ı	57.68 v	45.57 BE	44.63 ^C	49.29 FJ	7.23 bg	7.85 nz	6.01 GH	7.03 z]	7.34 ch	8.28 r!	5.94 _!	7.19 t[
Canernar7	1.21 rv	1.92 qs	6.30 m	3.14 pq	58.25 v	46.18 AE	45.90]A	50.11 EH	6.07 jt	8.22 kx	8.48 jk	7.59 py	6.84 dn	8.93 hx	7.57 pq	7.78 hs
Canernar8	1.31 qv	0.39 ^F	0.97 _D	0.89 _C	58.01 v	43.45 EF	40.18 EF	47.21 J	8.02 ac	7.26 v]	7.96 rw	7.74 lu	8.35 ab	8.09 u!	7.22 rs	7.89 gp
Canernar9	7.31 j	1.64 ru	20.61 e	9.85 h	144.91 ef	128.23 f	120.62 l	131.26 ı	6.30 gr	6.17 \-	6.02 GH	6.17 !A	6.71 dp	7.33 \C	6.16 ^	6.73 z^
ÇekAlanya	0.35 []	0.36 ^F	1.04 ^D	0.58 DI	62.89 qv	48.10 ^C	40.81 DF	50.60 EF	5.58 pv	10.44 ad	7.58 [^	7.87 ıu	5.81 pw	11.02 ab	6.52 []	7.78 hr
Gökmellesi	0.32 \]	0.89 w]	1.30 [B	0.84 AE	57.77 v	52.79 x\	46.17]_	52.24 CE	7.01 dj	9.55 cj	6.91 BC	7.82 ju	7.17 ck	10.17 bg	6.71 y[	8.02 fn
Hicrannar2	2.53 mn	9.78 de	7.70 l	6.67 k	89.87 mn	80.45 n	75.17 st	81.83 r	5.07 uv	9.65 bı	3.74 L	6.15 !A	4.80 xz	10.45 ae	3.42 E	6.22 _B
Hicrannar5	12.00 e	8.06 fg	5.61 mn	8.55 ı	88.40 mn	70.83 pr	96.56 o	85.27 q	5.42 rv	8.16 my	2.99 M	5.52 BC	5.74 qw	9.43 dr	2.64 G	5.94 BC
Hizan01	1.61 pr	1.98 pr	28.39 c	10.66 f	68.74 op	56.51 wx	65.56 wx	63.60 wy	7.23 bg	8.29 jw	7.12 !A	7.55 qz	7.27 cj	8.30 q-	6.06 _^	7.21 tz
Hizan03	1.06 uy	0.04 F	2.41 sx	1.17 [_	57.72 v	74.24 op	44.62 ^C	58.86 []	5.23 tv	8.90 fq	7.97 rv	7.37 t\	5.30 vx	9.27 eu	6.99 tw	7.19 t[
Hizan06	12.84 d	6.48 ı	19.23 f	12.85 d	139.48 f	154.67 c	163.72 f	152.62 f	5.81 mu	6.63 z^	6.28 F	6.24 _A	5.89 ow	6.77 AE	7.07 su	6.57]A
Hizan16	20.12 a	20.12 a	34.56 a	24.93 a	209.33 a	194.68 a	182.40 cd	195.47 b	6.03 kt	5.92]-	7.28 _!	6.41 ^!	6.25 ku	6.03 DF	5.99 ^!	6.09 AB
Hizan17	0.63 y\	0.25 AF	7.95 l	2.94 qr	57.71 v	49.03 \B	67.08 vw	57.94 ['	5.93 lu	9.89 bg	7.47 ^	7.76 ku	6.39 js	10.64 ac	5.94 _!	7.66 ku
İridişli	1.52 pt	1.04 v\	1.32 [B	1.29 y[	58.21 v	74.96 o	47.67 \^	60.28 z[	5.02 uv	6.86 y]	6.98 AB	6.29 _A	5.85 pw	6.52 CF	6.37]	6.25 ^B
İzmir-10	3.95 l	0.60 [B	1.99 w\	2.18 su	151.91 d	164.92 b	178.97 d	165.27 d	6.51 fq	8.60 gv	9.22 g	8.11 ep	6.62 fq	8.98 gw	9.31 eg	8.30 bg
İzmir-1264	11.12 f	13.64 b	9.98 k	11.58 e	59.39 sv	70.29 qr	46.01]^	58.57 [^	7.47 be	8.71 gs	8.43 jl	8.20 eo	6.96 cm	8.46 n]	6.76 xzx	7.39 py
İzmir-1265	1.91 op	1.42 tv	1.73 x-	1.68 wx	100.81 l	87.85 m	93.23 op	93.96 p	7.31 bf	7.63 q[	9.16 g	8.03 gr	7.17 ck	7.95 vA.	8.22 l	7.78 hs
İzmir-1465	4.04 l	3.51 l	11.81 j	6.45 k	64.68 pt	53.43 x[	75.49 st	64.54 vx	7.03 dı	7.34 u\	8.23 mp	7.54 qz	7.03 cm	7.70 yC.	6.85 vy	7.19 t[
İzmir-1499	8.34 ı	3.12 lm	3.20 rs	4.88 l	112.13 ij	127.87 f	137.92 j	125.97 j	6.67 dn	9.66 bı	7.73 x\	8.02 gr	6.96 cm	9.48 cq	5.96 _!	7.47 oy
İzmir-15	2.60 m	1.06 v[	1.50 y!	1.72 vw	123.80 gh	111.66 h	132.72 k	122.73 k	5.95 lu	8.69 gt	3.06 M	5.90 !B	6.21 lv	10.09 bh	2.75 FG	6.35 ^B
İzmir-1513	8.34 ı	10.90 c	13.25 ı	10.83 f	60.05 rv	54.59 wz	53.31 z[	55.98 _A	6.67 dn	9.26 dm	8.75 hı	8.22 dn	6.96 cm	9.02 gw	7.07 st	7.68 jt
İzmir-16	7.21 j	1.39 tv	3.14 rs	3.91 m	141.23 f	156.44 c	163.80 f	153.82 f	3.69 x	10.36 ae	8.68 hı	7.58 pz	3.99 z	10.52 ad	7.01 tv	7.17 u[
İzmir-26	3.62 l	1.35 tw	1.20 \C	2.05 tu	68.68 op	63.69 tu	63.74 wx	65.37 uw	7.07 ch	7.72 p[	8.33 km	7.70 mv	7.15 ck	8.13 t!	7.07 st	7.45 py
Kadirli	2.13 no	2.21 oq	5.32 no	3.22 pq	58.26 v	47.49 _D	44.54 ^C	50.10 EH	6.53 ep	10.61 ac	7.22 !	8.12 ep	6.35 jt	10.00 bı	5.82 !	7.39 py
Katır	2.60 m	0.04 F	0.50 CE	1.05]A	58.52 uv	43.60 DF	39.98 F	47.37]J	5.95 lu	9.25 dm	7.74 x[	7.65 pw	6.21 lv	9.55 co	6.73 yz	7.50 ox
Kuşnarı	0.60 z\	0.74 y-	0.75 !E	0.70 BF	58.64 uv	52.08 y]	45.13]C	51.95 CE	6.75 dm	9.79 bh	7.68 y]	8.07 fq	6.79 do	10.23 bf	6.88 uy	7.97 fo

alatarım 2025, 24 (2): 81-94

ME14	1.24 rv	1.16 vz	1.95 w]	1.45 w[	60.78 rv	67.07 rt	58.11 y	61.99 yz	5.86 mu	7.45 s\	7.01 AB	6.77]_	6.36 jt	7.62 zC.	5.90 _!	6.63 \!
Onumar5	0.60 z\	7.79 g	14.54 h	7.64 j	177.00 c	191.91 a	207.97 b	192.29 c	5.79 nu	5.44 ^-	3.05 M	4.76 DE	6.17 mv	5.81 EF	2.89 F	4.96 E
Öztürknar	1.57 ps	7.06 h	29.06 c	12.56 d	183.02 b	193.29 a	217.68 a	198.00 a	6.29 gr	5.40 ^-	5.62 I	5.77 AB	6.42 hr	6.05 DF	5.52 A	6.00 B
Suruç	0.68 x\	0.56]D	2.06 v[	1.10 \A	59.61 rv	67.42 rt	48.47 \]	58.50 [^	5.65 ou	9.79 bh	8.26 lo	7.90 ht	5.89 ow	10.17 bg	7.62 op	7.89 gp
Suruç Tath	0.50 z]	0.38 ^F	1.00 _D	0.63 CG	113.71 ı	100.91 k	81.30 q	98.64 o	6.33 gr	9.12 do	7.54]^	7.66 ow	6.40 ır	9.86 bj	6.60 z\	7.62 lu
Tırbey	0.92 vz	0.29 _F	0.61 BE	0.61 CH	59.38 sv	43.73 DF	49.78 [\	50.96 DF	5.49 rv	8.71 gs	8.37 km	7.52 r[	6.13 mv	8.41 o^	6.80 wy	7.11 v[
Türkmen	3.62 l	2.42 op	4.56 op	3.53 o	60.26 rv	51.39 y_	45.09]C	52.25 CE	7.07 ch	6.69 z^	6.80 CD	6.85 \^	7.15 ck	7.19 _D	5.85 !	6.73 z^
Wonderful	13.57 c	3.99 k	8.07 l	8.54 ı	62.53 qv	54.93 wy	76.64 rt	64.70 vx	7.35 bf	7.36 t\	8.09 os	7.60 px	7.31 cı	7.84 wA.	6.68 y[	7.28 sy
LSD	0.43	0.47	0.80	0.30	5.67	3.92	3.52	2.50	0.96	1.34	0.18	0.55	0.93	1.20	0.19	0.50
CV	8.55	11.39	8.60	4.82	4.17	2.99	2.63	1.87	3.06	1.59	1.47	4.57	2.68	1.64	1.74	4.25
Prob	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*

Taze Kesilmiş Elmalarda Kararmayı Engelleyici Maddelerin Yenilebilir Kaplama ile Birlikte Kullanımının Muhafaza Süresince Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

Mays Talal Kadhım MAADHEEDI¹ 

Ferhan KÜÇÜKBASMACI SABIR² 

¹Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Konya

²Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Konya

Öz

Bu çalışmada taze kesilmiş ürünlerde ticari olarak en çok tercih edilen ‘Fuji’ ve ‘Granny Smith’ elma çeşitlerinde kararmayı engelleyici maddelerin yüzey kaplama materyali olan kitosan ile birlikte kullanımının muhafaza süresince dilim kalitesi ve kararmaya olan etkileri incelenmiştir. Ticari olumda hasat edilen meyveler gruplara ayrılarak dilimlendikten sonra saf su (kontrol), %2 askorbik asit, %1 sitrik asit, %1 kitosan, %2 askorbik asit+%1 kitosan ve %1 sitrik asit+%1 kitosan çözeltilerine batırılmıştır. Kurutulan dilimler ambalajlanarak 4 °C’de 15 gün süreyle muhafaza edilmiştir. Her iki çeşitte de dilimleme sonrası uygulamaların ağırlık kaybının azaltılması, dilim sertliği ile görsel kalitenin korunması ve dilim rengindeki kararmanın geciktirilmesinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca biyokimyasal özelliklerde meydana gelen değişimleri yavaşlatarak besinsel özelliklerinin korunmasında da yardımcı olmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde dilimleme sonrası askorbik asit uygulamasının tek başına veya kitosan ile birlikte kullanımının ‘Fuji’ ve ‘Granny Smith’ elma çeşitlerinde derim sonrası kalite özelliklerini korumasında etkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle askorbik asit ile kitosanın birlikte uygulanmasının daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elma, kararma, kitosan, taze kesilmiş.

Effects of Using Anti-Browning Substances with Edible Coating on the Quality of Fresh Cut Apples During Storage

Abstract

In the current study, effects of certain anti browning substances employed with chitosan on cold storage slice quality and browning of ‘Fuji’ and ‘Granny Smith’ apples, both of which are preferred in fresh cut product sector were investigated. Apple fruits harvested at commercial maturity were divided into lots and the sliced commodity were immersed into pure water (control) or solutions of ascorbic acid (2%), citric acid (1%), chitosan (1%), ascorbic acid (2%) plus chitosan (1%) and citric acid (1%) plus chitosan (1%). The ventilated slices were packed and stored at 4 °C for 15 d. In both cultivars, treatments after slicing were effective on decreasing the weight loss, maintaining the firmness with visual quality and delaying the browning incidence of slices. Treatments also beneficial to protect the nutritional features of the products by diminishing the changes in biochemical characteristics. Considering the overall investigations, treatments of ascorbic acid alone or combined with chitosan after slicing were effective on protecting the postharvest quality of apples cvs ‘Fuji’ and ‘Granny Smith’. In particular, coating with chitosan after ascorbic acid treatment was found more effective.

Keywords: Apple, browning, chitosan, fresh-cut.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: F. Küçükbasmacı Sabir; fkbasmaci@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 23.10.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 20.11.2025

Makalenin Türü: Araştırma

Category: Research

Mays Talal Kadhım MAADHEEDI  <https://orcid.org/0009-0008-2999-8405>

Ferhan KÜÇÜKBASMACI SABIR  <https://orcid.org/0000-0002-4307-964X>

Giriş

Günümüz aile yaşam tarzı ile sağlıklı, besleyici ve daha doğal bir beslenme düzenine sahip olma kaygısı meyve ve sebzelerde minimum düzeyde işlenmiş hazır tüketim ürünlerine yönelik büyük bir talebe neden olmaktadır (Solís-Contreras ve ark., 2021). Uluslararası Taze Kesilmiş Ürün Birliği (The International Fresh-cut Produce Association) taze kesilmiş ürünleri %100 kullanılabilir özelliğe sahip soyulmuş, kesilmiş ya da parçalara ayrılarak paketlenmiş, tazeliğini

korumuş ve besin değeri yüksek meyve ve sebzeler olarak tanımlamaktadır (Sabır, 2017).

Dilimlenmiş elma tüketiciler ve gıda endüstrisi alanında en çok talep gören taze kesilmiş ürünler grubundadır. Çeşit, hasat zamanı, kesim sırasındaki olgunluk durumu, depolama koşulları, işleme ve paketlenme teknolojisi bu ürünlerde raf ömrü ve kaliteyi önemli oranda etkilemektedir. Dilimlenmiş elmalarda mikrobiyal bozulmaların neden olduğu ikincil (sekonder) kararmalar ile enzimatik kararma reaksiyonları sonucu oluşan kesim yüzeyinin

kahverengileşmesi raf ömrünü sınırlandıran başlıca faktörlerdir (Çandır, 2017). Taze kesilmiş ürünlerde enzimatik kararma genellikle kalite kaybı olarak değerlendirilmekte ve bu nedenle meyve ve sebzelerin işlenmeleri sırasında fenolik maddelerin oksidasyonları çeşitli yöntemler ile önlenmeye çalışılmaktadır. Taze kesilmiş ürünlerde kesim sonrası yüzeyden meydana gelen su kayıpları ürünlerin sertlik ve gevreklik gibi tekstürel kalitesinin kaybolmasına dolayısıyla raf ömründe kısılmalara neden olmaktadır. Kesim sonrası meydana gelen mikrobiyolojik bozulmalar ve su kayıplarının azaltılmasında yenilebilir film kaplamaların kullanımı yararlı etkiye sahiptir. Dilim yüzeyinin film ile kaplanması nem ve çözünebilir madde transferini, gaz değişimi ve oksidasyon sürecini azaltarak ürünlerin raf ömrünün artmasına yardımcı olabilmektedir (Marquez ve ark., 2017).

Bu çalışmada taze kesilmiş ürünlerde ticari olarak en çok tercih edilen ‘Fuji’ ve ‘Granny Smith’ elma çeşitlerinde kararmayı engelleyici maddelerin yüzey kaplama materyali olan kitosan ile birlikte kullanımının muhafaza süresince dilim kalitesi ve kararmaya olan etkileri incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışmada bitkisel materyal olarak ‘Granny Smith’ ve ‘Fuji’ elma çeşitleri kullanılmıştır. Karaman’da ticari bir bahçeden çeşide özgü renk, suda çözünebilir kuru madde ve nişasta değeri dikkate alınarak ticari olgunlukta hasat edilen meyveler Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait laboratuvara getirilmiştir. Zararlanmış elmalar ayrılarak, büyüklük ve renk bakımından bir örnek meyveler seçilerek dilimlenmek üzere 6 eşit gruba ayrılmıştır. Meyveler dilimleme öncesi çeşme suyu ile yıkanmış, daha sonra %1 sodyum hipoklorit içeren solüsyona 5 dakika süreyle batırılarak tekrar saf su ile yıkanmış ve bir süre oda koşullarında kurumak üzere bekletilmiştir. Meyveler zarar görmeyecek şekilde elma dilimleyicisi (Spritta, IKEA) ile 8 eşit parçaya ayrılmıştır. İlk grup dilimler saf suya batırılarak kontrol (K) grubu olarak değerlendirilmiştir. Dilimlenen meyvelerde II. grup %2 askorbik asit (AA), III. grup %1 sitrik asit (SA), IV. grup %1 kitosan (Ki), V. grup %2 askorbik asit+%1 kitosan (AA+Ki) ve VI. grup %2 sitrik asit+%1 kitosan (SA+Ki) çözeltilerine 5 dakika süreyle

batırılmıştır. Uygulamalar sonrası dilimler bir süre oda koşullarında bekletilerek kurutulmuş ve daha sonra polystren tabaklara her tabakta 12 dilim olacak şekilde yerleştirilerek üzerleri PVC film ile kapatılmıştır. 4 °C’de %90 oransal nem içeren soğuk hava deposunda 15 gün süreyle muhafaza edilen dilimlerde depolama başlangıcı ve muhafaza süresince 3, 6, 9, 12 ve 15. günlerde fiziksel ve biyokimyasal analizler yapılmıştır.

Ağırlık kaybı dilimlerin yerleştirildiği numaralandırılmış polystren tabakların muhafaza başlangıcı ve analizler süresince tekrar tartılması ile meydana gelen farklılıklar % ağırlık kaybı olarak hesaplanmıştır. Dilim rengi her bir tabaktan 6 dilimin karşıt yüzeyleri CR 400 model Minolta marka renk cihazı kullanılarak L* a* ve b* değerleri okunarak gerçekleştirilmiştir. Renk değişimlerini belirlemede hue açısı (h°) değeri hesaplanmıştır (McGuire, 1992). Şeker içeren ürünlerde kararmanın bir göstergesi olarak kullanılan kahverengi renk yoğunluğu kararma indeksi (KaI) olarak ifade edilmiştir. Dilimlerde kararmalar $KaI = [100 \times (X - 0.31) / 0.17]$; $X = [(a^* + 1.75 \times L^*) / (5.645 \times L^* + a^* - 3.012 \times b^*)]$ eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Perez-Gago ve ark., 2006). Dilim sertliği her dilimin 2 farklı bölgesinden dijital penetrometre (Fruit pressure tester, model 53205) ile ölçülmüş ve sonuçlar Newton (N) olarak verilmiştir.

Askorbik asit (AsA) miktarı Pearson ve ark. (1970)’e göre boya çözeltisi kullanılarak spektrofotometrik yöntem ile belirlenmiştir. Toplam fenolik madde (TFM) miktarı Folin-Ciocalteu ayracı kullanılarak spektrofotometrik yöntem ile belirlenmiştir (Singleton ve ark., 1999). Toplam antioksidan aktivite (TAA) değerinin belirlenmesinde Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) metodu uygulanmıştır (Benzie ve Strain, 1996). Duyusal analiz panelistler tarafından dilimlenmiş elmalarda dış görünüm, sertlik ve renk özelliklerini 1-9 skalası (9 = mükemmel, yeni kesilmiş özellikte; 7= çok iyi; 5= iyi, pazarlanabilir sınır; 3= yeterli, kullanılabilirlik sınırı; ve 1= kötü, tüketilemez) kullanarak yapılmıştır (Perez-Gago ve ark., 2006).

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemeden elde edilen veriler JMP paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamaları arasındaki farklılıklar Student’s t-test çoklu

karşılaştırma testine ($p < 0.05$) göre gruplandırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

15 günlük muhafaza süresi sonunda her iki çeşitte de ağırlık kaybı en fazla kontrol grubu dilimlerde meydana gelmiştir ('Granny Smith': %1.38; 'Fuji': %1.28). Ki uygulamasının tek başına veya diğer uygulamalarla birlikte kullanıldığında ağırlık kaybındaki artışı yavaşlatmada etkili olduğu belirlenmiştir. Muhafaza süresi sonunda 'Granny Smith' çeşidinde Ki (%1.12) ve 'Fuji' çeşidinde AA+Ki (%1.02) uygulamalarında en düşük ağırlık kaybı gerçekleşmiştir (Çizelge 1 ve Çizelge 2). Ağırlık kaybı taze kesilmiş ürünlerde kaliteyi etkileyen en önemli faktörlerden birisidir ve muhafaza süresince artış gösterir. Ürünlerin tazelik göstergesini önemli ölçüde etkileyen ağırlık kaybındaki artış çoğunlukla üründen su kaybı şeklinde gerçekleşmektedir (Liu ve ark., 2016). Taze kesilmiş ürünler kabuk olmaksızın geniş bir yüzey alanına sahip olması nedeniyle kayıp miktarları artmaktadır. Bu ürünlerde ticari olarak %4-6 arasında meydana gelen ağırlık kaybı sınır olarak kabul edilmekte ve değeri aşan ürünlerin renginde bozulma ve yüzeyinde buruşma meydana gelmektedir (Çetin, 2012). Elde ettiğimiz bulgularda uygulamalarda muhafaza süresi sonunda ticari olarak kabul edilen sınır değerinin altında bir ağırlık kaybı meydana geldiği tespit edilmiştir.

'Granny Smith' çeşidinde muhafaza başlangıcında 79.74 olarak ölçülen L^* değeri muhafaza süresince azalırken, bu düşüş 3. günde özellikle K ve Ki uygulanmış dilimlerde daha hızlı gerçekleşmiştir (Çizelge 1). 15 günlük muhafaza süresince AA uygulaması tek başına veya Ki ile birlikte kullanıldığında L^* değerindeki değişimi geciktirmede daha etkili olduğu tespit edilmiştir. SA uygulamasının kararmayı engellemedeki etkisi muhafaza süresinin ilerlemesi ile birlikte düşüş göstermiştir. 15 günlük depolama süresi sonunda en yüksek L^* değeri AA+Ki (71.19) uygulamasında, en düşük değer ise SA+Ki uygulamasında (69.51) ölçülürken, K grubu (69.53) dilimler istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer almıştır. 'Fuji' elma dilimlerinde azalan L^* değerinin korunmasında AA'nın Ki ile birlikte kullanımının daha etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). SA uygulamasının bu

çeşitte de L^* değerindeki değişime ilk 6 gün etkili olduğu, ancak ilerleyen sürelerde etkisinin görülmediği tespit edilmiştir. Dilimleme sonrası 75.71 olan değer, 15 günlük süre sonunda 67.86 (K) ile 71.45 (AA+Ki) arasında değişim göstermiştir. 15. günde SA+Ki uygulaması kontrol ile aynı istatistik grupta yer almıştır (67.92). L^* değeri taze kesilmiş ürünlerde hem enzimatik kararma reaksiyonları hem de artan pigment konsantrasyonlarından kaynaklanan kahverengileşmenin derecesini belirlemede net sonuçlar veren bir renk parametresidir (Rojas-Graü ve ark., 2006). Kim ve ark. (1993) taze kesilmiş elmalarda dokularda zararlanma nedeniyle meydana gelen enzimatik kararmalar nedeniyle L^* değerinde hızlı bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. 15 günlük muhafaza süresince artan yüzey kararmasına bağlı olarak parlaklığı ifade eden L^* değerinde azalma saptanırken, her iki çeşitte de AA+Ki uygulamasının bu düşüşü yavaşlatmada etkili olduğu belirlenmiştir. Benzer bulgular Putnik ve ark. (2017) tarafından Golden Delicious ve Cripps Pink elma çeşitlerinde yapılan çalışmada da elde edilmiştir.

Hue açısı değerinde muhafaza süresinin ilerlemesi ile birlikte meyve etinde meydana gelen kararmaya bağlı olarak bütün uygulamalarda azalma meydana gelmiştir. 'Granny Smith' çeşidinde bu azalmanın kararmayı engelleyici maddelerin kullanılmadığı K ve Ki uygulamalarında muhafazanın ilk 3 günü daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Muhafaza süresi sonunda hue açısı değerinin korunmasında AA en etkili uygulama olarak belirlenirken (96.82°), AA+Ki uygulaması (96.70°) bu uygulama ile istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer almıştır. En düşük hue açısı değeri K grubu dilimlerde ölçülmüştür (90.09°). 'Fuji' çeşidine azalan değerin korunmasında tüm muhafaza süresince AA uygulamasının tek başına veya Ki ile birlikte kullanıldığında daha etkili sonuçlar vermiştir. Muhafaza başlangıcında 95.88° olarak ölçülen değer, 15 günlük süre sonunda en düşük K dilimlerde (86.34°), en yüksek AA+Ki (91.25°) uygulamasında ölçülmüştür. SA uygulamasının Ki ile birlikte kullanımında özellikle muhafaza süresinin ilerlemesi ile birlikte hue açısı değerindeki düşüş kontrole benzer düzeyde gerçekleşmiştir.

Çizelge 1. ‘Granny Smith’ elma dilimlerinde depolama öncesi farklı uygulamaların ağırlık kaybı, L*, h° ve Kaİ değeri üzerine etkileri

Uygulama		Muhafaza Süresi (gün)					
		0	3	6	9	12	15
Ağırlık Kaybı (%)	Kontrol	0.00 o*	0.40 n	0.82 gh	0.94 ef	1.08 cd	1.38 a
	AA	0.00 o	0.39 n	0.51 lm	0.70 ij	0.94 ef	1.19 b
	SA	0.00 o	0.36 n	0.70 ij	0.81 gh	1.02 de	1.18 b
	Ki	0.00 o	0.36 n	0.58 kl	0.63 jk	0.82 gh	1.12 bc
	AA+Ki	0.00 o	0.37 n	0.64 jk	0.75 hi	0.87 fg	1.16 b
	SA+Ki	0.00 o	0.44 nm	0.67 ij	0.75 hi	1.02 de	1.18 b
Parlaklık (L*)	Kontrol	79.74 a	73.17 e-h	72.26 h-k	71.89 i-l	70.01 op	69.53 p
	AA	79.74 a	77.68 b	74.69 d	73.65 d-g	71.79 i-m	71.03 k-o
	SA	79.74 a	77.34 b	73.93 def	72.85 f-i	71.06 k-o	70.82 l-o
	Ki	79.74 a	72.33 hij	72.23 h-k	72.11 h-k	70.60 m-p	70.57 m-p
	AA+Ki	79.74 a	76.86 bc	74.19 de	72.41 g-j	71.39 j-n	71.19 j-o
	SA+Ki	79.74 a	75.95 c	72.07 h-k	71.79 i-m	70.40 nop	69.51 p
Açı Değeri (h°)	Kontrol	110.10 a	96.57 fgh	96.53 f-i	96.04 g-j	92.80 l	90.09 n
	AA	110.10 a	105.29 b	101.05 d	97.01 fg	96.95 fg	96.82 fg
	SA	110.10 a	104.07 c	98.31 e	96.15 g-j	95.22 jk	94.44 k
	Ki	110.10 a	98.27 e	96.61 fg	95.49 h-k	93.16 l	93.09 l
	AA+Ki	110.10 a	104.81 bc	100.87 d	97.38 ef	96.80 fg	96.70 fg
	SA+Ki	110.10 a	100.25 d	95.46 ijk	95.94 g-j	93.13 l	91.23 m
Kaİ	Kontrol	32.43 lm	40.22 d-g	41.83 cde	45.47 a	45.81 a	46.34 a
	AA	32.43 lm	31.27 lmn	32.29 lm	39.09 gh	39.50 fgh	39.06 ghi
	SA	32.43 lm	30.41 mn	34.99 jk	36.85 ij	38.87 ghi	39.73 e-h
	Ki	32.43 lm	40.34 d-g	39.49 fgh	42.85 bc	44.83 ab	46.58 a
	AA+Ki	32.43 lm	29.91 n	32.54 lm	39.53 fgh	38.65 ghi	41.54 c-f
	SA+Ki	32.43 lm	33.15 kl	40.30 d-g	37.86 hi	42.23 cd	43.02 bc

Herbir kalite parametresinde farklı harflerle gösterilen değerler uygulama x muhafaza süresi interaksiyonunda Student's t-testine göre ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. LSD_{0.05}: Ağırlık kaybı:0.09, L:1.25, h°: 1.09, Kaİ: 2.23

‘Granny Smith’ elma dilimlerinde muhafaza başlangıcında 32.43 olarak hesaplanan Kaİ, 3. günde K ve Ki uygulamasında hızlı bir şekilde artarken, AA ve AA+Ki uygulamasında hafif azalma göstermiştir. 15 günlük süre sonunda en yüksek değer Ki uygulamasında ölçülürken (46.58), AA uygulaması (39.06) artışın yavaşlatılmasında en etkili uygulama olarak belirlenmiştir. AA uygulanmış dilimlerin en yüksek Kaİ değerine sahip Ki ve K grubu dilimlere oranla sırasıyla %19.25 ve %18.64 daha açık renge sahip olduğu saptanmıştır. ‘Fuji’ elma dilimlerinde AA dışındaki bütün uygulamalarda muhafazanın 3. gününden itibaren artış meydana gelirken, bu uygulamada artış 12. günde gerçekleşmiştir. 0. günde 48.13 olan Kaİ değeri 15 günlük muhafaza süresi sonunda 59.47 (K) ile 53.64 (AA) arasında değişim göstermiştir. Taze kesilmiş ürünlerde işlemenin neden olduğu doku zararlanmaları enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonları teşvik ederek bu ürünlere özgü kahverengileşme ve doğal rengin kaybına neden

olmaktadır. Enzimatik kahverengileşme taze kesilmiş ürünlerin kararmayı engelleyici çözümlere batırılması ile önlenabilmektedir. Bu ürünlerde kararmanın engellenmesinde askorbik asit o-kinonları o-fenolik bileşiklere indirgeyerek PPO enzimindeki artışı engellemekte aynı zamanda ortamdaki O₂’yi de indirgeyerek esmerleşme reaksiyonlarını ikinci bir yolla inhibe etmektedir. Bu nedenle AA kararmanın engellenmesinde daha etkili sonuçlar verebilmektedir (Sabır, 2017). Son yıllarda yenilebilir film kaplama materyallerinin kullanım alanlarının artması, bu bileşiklerin taze kesilmiş ürünlerde kararmayı engelleyici maddelere bir taşıyıcı olarak etkinliğinin arttırabileceği düşünülmektedir. Nitekim Nature Seal ile AA (Baldwin ve ark., 1996) ve AA ile yeşil çay özütünün (Salminen ve Russotti, 2017) birlikte kullanımının bu bileşiklerin tek başına kullanımına göre kararmanın engellenmesinde daha etkili sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Çizelge 2. ‘Fuji’ elma dilimlerinde depolama öncesi farklı uygulamaların ağırlık kaybı, L*, h° ve Kaİ değeri üzerine etkileri

Uygulama		Muhafaza Süresi (gün)					
		0	3	6	9	12	15
Ağırlık Kaybı (%)	Kontrol	0.00 k*	0.32 hi	0.49 f	0.82 d	1.02 bc	1.28 a
	AA	0.00 k	0.25 ij	0.45 fg	0.62 e	1.02 bc	1.20 a
	SA	0.00 k	0.25 ij	0.47 f	0.63 e	1.04 bc	1.22 a
	Ki	0.00 k	0.24 j	0.38 gh	0.68 e	0.99 c	1.06 bc
	AA+Ki	0.00 k	0.30 ij	0.46 fg	0.70 e	1.01 c	1.03 bc
	SA+Ki	0.00 k	0.32 hij	0.45 fg	0.68 e	1.00 c	1.10 b
Parlaklık (L*)	Kontrol	75.71 a	72.34 b-e	70.55 g-k	69.77 i-l	69.46 jkl	67.86 m
	AA	75.71 a	73.45 b	72.62 bcd	70.77 f-j	70.78 f-j	70.07 h-l
	SA	75.71 a	72.70 bcd	72.37b-e	72.15 b-f	70.78 f-j	68.67 lm
	Ki	75.71 a	71.45 c-h	71.06 e-i	70.23 h-k	71.38 c-h	70.23 h-k
	AA+Ki	75.71 a	72.61 bcd	72.77 bc	71.27 d-h	71.06 e-i	71.45 c-h
	SA+Ki	75.71 a	71.83 c-g	71.12 e-i	69.70 i-l	69.26 klm	67.92 m
Açı Değeri (h°)	Kontrol	95.88 a	91.21 g-j	90.56 i-l	89.64 l-o	88.51 op	86.34 q
	AA	95.88 a	94.25 b	93.92 bc	92.96 cde	91.43 f-j	91.04 g-k
	SA	95.88 a	91.89 efg	91.29 f-j	91.11 g-k	90.02 k-n	89.72 lmn
	Ki	95.88 a	92.47 def	90.96 g-k	91.78 efg	90.35 j-m	89.22mno
	AA+Ki	95.88 a	93.57 bcd	93.34 bcd	92.12 efg	91.71 f-i	91.25 g-j
	SA+Ki	95.88 a	91.77 fgh	90.59 h-l	89.29mno	88.88 no	87.67 p
Kaİ	Kontrol	48.13 m-p	50.53 j-n	50.19 k-n	54.57 c-h	53.09 f-j	59.47 a
	AA	48.13 m-p	46.08 p	47.09 op	47.67 nop	51.69 h-l	53.64 e-i
	SA	48.13 m-p	50.79 i-m	53.68 e-h	52.47 f-l	54.30 d-h	56.84 a-d
	Ki	48.13 m-p	49.71 l-o	53.15 f-j	55.02 c-g	55.35 c-f	58.82 ab
	AA+Ki	48.13 m-p	48.15 m-p	48.37 m-p	52.30 g-l	52.91 f-k	54.07 d-h
	SA+Ki	48.13 m-p	50.35 j-n	52.59 f-l	54.66 c-g	56.24 b-f	57.20 abc

Herbir kalite parametresinde farklı harflerle gösterilen değerler uygulama x muhafaza süresi interaksyonunda Student's t-testine göre ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. LSD_{0.05}: Ağırlık kaybı:0.08, L:1.44, h°: 1.19, Kaİ: 2.89

‘Granny Smith’ çeşidinde 15 günlük süresinin sonunda en fazla sertlik kaybı başlangıç değerine göre %30.51 oranında azalan K dilimlerinde (35.32 N) meydana gelmiştir. Sertlik değerinin korunmasında AA uygulamasının Ki ile birlikte kullanımı uygulamaların tek başına kullanımından daha etkili olmuştur. 15 gün soğukta depolamanın sonunda en yüksek sertlik değeri başlangıç değeri %21.09 azalan AA+Ki (40.11 N) uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 3). ‘Fuji’ çeşidinde başlangıç sertlik değeri 43.36 N olan dilimlerde 15 günlük muhafaza süresi sonunda, en yüksek değer başlangıca göre %33.63 kayıp ile Ki (29.11 N) uygulanmış dilimlerde ölçülürken, en fazla kayıp başlangıç değerine göre %40.95 azalış gösteren K (25.90 N) dilimlerde gerçekleşmiştir (Çizelge 4). Sertlik kaybı kesim süresince pektinlerde yıkıma neden olan enzimler ve su kaybı ile azalan turgor basıncı sonucu meydana gelen istenmeyen bir fizyolojik olaydır (Kumar ve ark., 2018). 15 günlük depolama sonucunda sertlik değerindeki azalışın yavaşlatılmasındaki etkinin kitosanın dilim yüzeyinde oluşturduğu koruyucu tabakadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Qi ve ark. (2011) yüzey kaplama materyali olarak

%0.1 yeşil çay özütü içerisine %1 veya %3 AA ilave edildiğinde sertlik değerinde azalışı önemli oranda geciktirdiği belirtmişlerdir. Qi ve ark. (2011) tarafından ‘Fuji’ elma çeşidinde %0.2 AA+%0.5 CaCl₂+%1 kitosan uygulamasının sertliği korumada etkili olduğu, bu etkinin özellikle kitosanın yüzeyde yarı geçirgen bir bariyer oluşturması ve CaCl₂’nin orta lamel ve hücre duvarını güçlendirmesi şeklinde ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Başlangıç AsA miktarı 15.18 mg/100g olan ‘Granny Smith’ dilimlerinde muhafaza süresinin 3. gününde bazı uygulamalarda artış görülürken, 6. günden itibaren bütün uygulamalarda hızla azalış kaydedilmiştir. 15 günlük muhafaza süresinin sonunda en yüksek AsA değeri SA+Ki (11.83 mg/100g) uygulanmış dilimlerde, en düşük değer K grubu (7.86 mg/100g) dilimlerde gerçekleşmiştir (Çizelge 3). ‘Fuji’ çeşidinde muhafaza başlangıcında 7.51 mg/100g olarak belirlenen değer özellikle kararmayı engelleyici maddelerin uygulandığı dilimlerde ilk 6 günde artış gösterirken, ilerleyen süre ile birlikte bütün uygulamalarda başlangıç değerine göre azalma kaydedilmiştir. Genel olarak kararmayı engelleyici maddelerin AsA kaybını

geciktirmede daha etkili olduğu belirlenmiştir. 15 günlük muhafaza süresi sonunda AsA kaybı en fazla K dilimlerde (3.40 mg/100g) meydana gelirken en az kayıp Ki (6.23 mg/100g) uygulanmış dilimlerde gerçekleşmiştir (Çizelge 4). Askorbik asit (C vitamini) doğada en yaygın olarak bulunan ancak parçalanma reaksiyonlarına duyarlı olması nedeniyle en dayanaksız vitaminlerden birisidir. Aşırı olgun ve zararlanmış ürünlerde ayrıca yıkama, kabuk soyma, dilimleme işlemleri sırasında bazı enzimler AsA kaybına neden olabilmektedir.

Askorbik asitçe zengin ürünlerde kayıpların çoğunlukla enzimatik olmayan kararmalarla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Kırca ve Cemeroglu, 2001). Her iki elma çeşidine ait dilimlerde kararmayı engelleyici uygulamaların Ki ile birlikte kullanıldığında AsA miktarındaki değişimi yavaşlatmada daha etkili olduğu belirlenmiştir. Muzda kalsiyum propinat'ın kitosan ile birlikte kullanıldığında benzer değişim gösterdiği belirtilmiştir (Mirshakari ve ark., 2017).

Çizelge 3. 'Granny Smith' elma dilimlerinde depolama öncesi farklı uygulamaların dilim sertliği, TFM, TAA, AsA ve görsel kalite üzerine etkileri

Uygulama		Muhafaza Süresi (gün)					
		0	3	6	9	12	15
Dilim Sertliği (N)	Kontrol	50.84 a*	43.65 f-i	41.50 jkl	40.40 lm	37.33 o	35.32 p
	AA	50.84 a	45.82 cde	42.38 ij	40.11 lm	39.33 mn	38.50 no
	SA	50.84 a	44.58 efg	43.99 fgh	42.21 ijk	40.65 klm	39.49 mn
	Ki	50.84 a	47.36 bc	44.44 efg	43.31 ghi	40.29 lm	39.20 mn
	AA+Ki	50.84 a	48.05 b	46.67 bcd	45.07 def	42.69 hij	40.11 lm
	SA+Ki	50.84 a	47.71 b	45.88 cde	42.07 ijk	41.65 jkl	38.46 no
TFM (mg/100g)	Kontrol	458.11 a	256.04 i-n	326.49def	240.27lmn	267.57h-m	217.84 n
	AA	458.11 a	303.70e-h	392.80 bc	267.39h-m	288.47f-j	250.90 j-n
	SA	458.11 a	355.50 cd	341.99 de	253.25 i-n	285.32f-j	243.25k-n
	Ki	458.11 a	320.54d-g	358.74 de	264.78h-m	319.55d-g	248.65 j-n
	AA+Ki	458.11 a	391.99 bc	391.72 bc	280.90 g-l	292.80 f-i	265.77h-m
	SA+Ki	458.11 a	318.38d-g	400.45 b	275.32h-m	282.89g-k	236.67mn
TAA (µmol/g)	Kontrol	114.28 a	91.77 bcd	84.04 d-g	75.23 hij	63.97 kl	37.64 n
	AA	114.28 a	96.71 b	96.26 b	92.25 bcd	85.17 d-g	67.88 jk
	SA	114.28 a	86.29 c-f	89.93 b-e	77.10 ghi	85.21 d-g	48.59 m
	Ki	114.28 a	94.50 bc	84.84 d-g	82.82 e-h	66.73 jk	40.86 mn
	AA+Ki	114.28 a	95.89 b	79.32 fgh	74.55 hij	70.22 ijk	57.70 l
	SA+Ki	114.28 a	92.08 bcd	79.44 fgh	80.89 fgh	64.18 kl	57.86 l
AsA (mg/100g)	Kontrol	15.18 b	14.06 bcd	9.04 j-m	10.64 hij	8.56 klm	7.86 m
	AA	15.18 b	14.62 bc	14.12 bcd	12.55 def	9.58 i-l	10.19 h-k
	SA	15.18 b	20.19 a	13.17 cde	10.87 ghi	12.55 def	8.05 lm
	Ki	15.18 b	20.36 a	13.30 cde	13.41 cde	12.50 d-g	11.10 f-i
	AA+Ki	15.18 b	21.59 a	14.20 bc	13.36 cde	10.51 hij	10.96 f-i
	SA+Ki	15.18 b	21.35 a	13.39 cde	13.47 cd	10.49 hij	11.83 e-h
Görsel Kalite	Kontrol	9.00 a	7.18 def	6.77 fg	6.25 ghi	4.88 lm	3.40 p
	AA	9.00 a	8.81 a	7.18 def	6.37 gh	5.11 kl	4.29 mno
	SA	9.00 a	8.77 a	7.33 def	7.00 ef	5.81 hij	3.81 op
	Ki	9.00 a	8.14 bc	7.37 def	6.37 gh	5.66 ijk	4.22 no
	AA+Ki	9.00 a	8.59 ab	7.66 cd	7.29 def	5.85 hij	4.77 lmn
	SA+Ki	9.00 a	8.77 a	7.40 de	7.22 def	5.55 jk	4.37 mno

*Herbir kalite parametresinde farklı harflerle gösterilen değerler uygulama x muhafaza süresi interaksyonunda Student's t-testine göre ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. LSD_{0.05}: Dilim sertliği: 1.60, TFM: 41.39, TAA: 8.63, AsA: 1.63, Görsel kalite: 0.61

Her iki çeşide ait dilimlerde soğukta muhafaza süresince TFM miktarında genel olarak azalma kaydedilmiştir. 'Granny Smith' elma dilimlerinde muhafaza süresi sonunda TFM miktarının korunmasında AA+Ki (265.77 mg/100g) en etkili uygulama olurken, en düşük değer 217.84 mg/100g olarak K dilimlerinde ölçülmüştür (Çizelge 3). 'Fuji' çeşidinde

muhafaza başlangıcında 365.05 mg/100g ölçülen değer, 15 günlük süre sonunda 247.12 mg/100g (K) ile 285.68 mg/100g (AA+Ki) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4). 15 günlük depolama süresince her iki çeşide ait dilimlerde TFM miktarında gerçekleşen düşüşü yavaşlatmada Ki uygulamasının tek başına veya kararmayı engelleyici maddelerle birlikte

kullanıldığında etkili olduğu belirlenmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuç Kumar ve ark. (2018) tarafından karboksil metilselüloz ve *Aleo vera* kaplama uygulamalarının tek başına veya kararmayı engelleyici maddelerle birlikte kullanıldığında muhafaza süresince TFM miktarında meydana gelen düşüşü geciktirmede

etkili olduğunu belirttiği çalışma ile desteklenmektedir. González- Aguilar ve ark. (2005) AA ve izoaskorbik asit uygulamalarının ananas dilimlerinde muhafaza süresince meydana gelen TFM miktarındaki hızlı düşüşü yavaşlatmakta etkili olduğu belirtmişlerdir.

Çizelge 4. ‘Fuji’ elma dilimlerinde depolama öncesi farklı uygulamaların dilim sertliği, TFM, TAA, AsA ve görsel kalite üzerine etkileri

	Uygulama	Muhafaza Süresi (gün)					
		0	3	6	9	12	15
Dilim Sertliği (N)	Kontrol	43.36 a	32.24 g-j	30.85 klm	30.11 lmn	28.21 op	25.90 q
	AA	43.36 a	34.72 bc	31.85 ijk	31.43 jkl	29.76 mn	28.94 nop
	SA	43.36 a	33.39 c-g	31.53 jk	30.13 lmn	28.17 op	27.77 p
	Ki	43.36 a	35.48 b	33.37 d-h	32.04 h-k	31.18 jkl	29.11 no
	AA+Ki	43.36 a	34.39 bcd	33.95 cde	32.25 g-j	30.88 klm	28.13 op
	SA+Ki	43.36 a	33.69 c-f	32.99 e-i	32.51 f-j	31.71 ijk	29.03 nop
TFM (mg/100g)	Kontrol	365.05 ab	339.82b-e	307.48ghi	279.64j-m	279.82j-m	247.12 n
	AA	365.05 ab	351.18a-d	328.83d-g	282.98 i-l	290.54h-k	285.41 i-l
	SA	365.05 ab	367.66 a	306.40ghi	297.84h-k	292.71h-k	285.05 i-l
	Ki	365.05 ab	359.19abc	303.70 g-j	337.12c-f	313.25fgh	277.30klm
	AA+Ki	365.05 ab	349.82a-d	313.70e-h	281.72i-m	297.39h-k	285.68 i-l
	SA+Ki	365.05 ab	353.61a-d	289.82h-l	284.15 i-l	264.24lmn	256.04 mn
TAA (μmol/g)	Kontrol	24.28 a	16.24 hi	14.04 ijk	14.45 ij	9.02 mn	8.59 n
	AA	24.28 a	21.35 b-e	19.73d-g	17.66 gh	13.06 jkl	11.59 klm
	SA	24.28 a	23.87 ab	19.10 efg	18.66 fgh	12.59 jkl	11.06 lmn
	Ki	24.28 a	22.72 abc	19.34 efg	18.10 fgh	11.72 kl	10.86 lmn
	AA+Ki	24.28 a	19.69 d-g	20.66 c-f	18.68 fgh	12.84 jkl	11.35 lm
	SA+Ki	24.28 a	22.18 a-d	17.15 gh	14.04 ijk	12.67 jkl	12.08 jkl
AsA (mg/100g)	Kontrol	7.51 bcd	7.46 bcd	7.30 b-e	5.50 hi	3.93 jk	3.40 k
	AA	7.51 bcd	8.34 ab	8.64 a	8.12 abc	5.76 ghi	4.93 ij
	SA	7.51 bcd	8.74 a	8.20 ab	8.22 ab	7.53 bcd	4.26 jk
	Ki	7.51 bcd	7.82 a-d	7.44 bcd	7.80 a-d	6.79 d-g	6.23 fgh
	AA+Ki	7.51 bcd	8.77 a	7.88 abc	7.80 a-d	8.20 ab	5.95 ghi
	SA+Ki	7.51 bcd	8.34 ab	8.20 ab	7.13 c-f	6.36 e-h	6.11 fgh
Görsel Kalite	Kontrol	9.00 a	8.04 d	6.80 fg	5.85 jk	4.71 n	3.57 p
	AA	9.00 a	8.14 cd	6.52 ghi	6.33 hi	5.28 lm	3.76 p
	SA	9.00 a	8.14 cd	6.71 fgh	6.23 ij	5.00 mn	3.76 p
	Ki	9.00 a	8.14 cd	6.90 fg	6.90 fg	5.57 kl	3.66 p
	AA+Ki	9.00 a	8.52 bc	7.38 e	6.61 ghi	5.38 lm	4.23 o
	SA+Ki	9.00 a	8.71 ab	7.09 ef	6.23 ij	5.09 mn	3.95 op

*Herbir kalite parametresinde farklı harflerle gösterilen değerler uygulama x muhafaza süresi interaksyonunda Student's t- testine göre ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. LSD_{0.05}: Dilim sertliği:1.34, TFM:26.18, TAA: 2.61, AsA: 1.08, Görsel kalite: 0.38

Muhafaza başlangıcında ‘Granny Smith’ elma dilimlerinde ölçülen TAA değeri 114.28 μmol/g iken, 15 günlük süre sonunda 67.88 μmol/g (AA) ile 37.64 μmol/g (K) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 3). ‘Fuji’ çeşidinde muhafaza başlangıcında 24.28 μmol/g olan değerde, muhafaza süresi sonunda en fazla kaybın K dilimlerinde (8.59 μmol/g) olduğu tespit edilmiştir. TAA değerinin korunmasında en etkili uygulamanın SA+Ki (12.08 μmol/g) olduğu saptanmıştır (Çizelge 4). Hasat sonrası oksidatif stresin doğal antioksidan sistem kapasitesini aştığında aktif oksijen türlerine

(AOS) karşı korumanın azalacağını ve AOS’un neden olduğu kararma, mikrobiyal bozulma ve duyuşal özelliklerde artış meydana gelebileceği belirtilmiştir Royal Delicious elma dilimlerinde karboksil metil selüloz ve *Aleo vera* uygulamalarının (Kumar ve ark., 2018) antioksidan aktivitedeki düşüşü yavaşlatmada etkili olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettiğimiz bulgularda da benzer şekilde antioksidan aktivitesinin korunmasında yüzey kaplama uygulama uygulamasının kararmayı engelleyici maddelerle birlikte kullanıldığında daha etkili olduğu belirlenmiştir. AA uygulamasının oksijen

tutucu olarak görev yapması ve ayrıca polifenol oksidazı katalize eden reaksiyonların önlenmesinde etkili olması nedeniyle fenolik bileşikler koruduğu belirtilmiştir. Bu da elma dilimlerinde AA uygulamasının antioksidan aktiviteyi artırarak kararmayı önlediğini ortaya koymaktadır (Kumar ve ark., 2018).

‘Granny Smith’ elma dilimlerinin 15 günlük depolama sonunda en düşük görsel kalite değeri K dilimlerde tespit edilmiştir (3.40). En yüksek değer ise AA+Ki (4.77) uygulaması yapılmış dilimlerde belirlenmiştir. ‘Fuji’ elma dilimlerinde AA +Ki (4.23) uygulaması yapılmış dilimlerde görsel kalite en yüksek puan alırken, K grubu (3.57) dilimlerde en düşük değer kaydedilmiştir (Çizelge 4). Her iki çeşitte de K grubu dilimler 12. günde pazarlanabilir sınır değer altına düşerken, tüm uygulamalar 15. günde bu sınır değer altına bir puan almıştır. Panelistler değerlendirmede genel olarak muhafaza süresinin ilerlemesi ile birlikte dilim yüzeyindeki kararma ve sertlik kaybının kalite özelliklerinde kayıplara neden olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey kaplama uygulamalarının kararmayı engelleyici maddelerle birlikte kullanıldığında hem renk kararmasını engellemesi hem de tekstür özelliklerini koruması nedeniyle görsel kalitede olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Farklı elma çeşitlerinde *Aleo vera* (Supapvanich ve ark. (2016), kitosan+kalsiyum klorür (Liu ve ark. (2016), karboksil metilselüloz ile *Aleo vera* (Kumar ve ark., 2018) ve Nature Seal (Toivonen ve Hampson, 2009) uygulamalarının görsel kaliteyi korumada etkili olduğunu belirten çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir.

Sonuç

Sonuç olarak ‘Granny Smith’ ve ‘Fuji’ elma çeşitlerine ait dilimlerde depolama öncesi kararmayı engelleyici maddelerin Ki ile birlikte kullanımının dilimlerde görsel kalitenin korunması ve raf ömrünün uzatılmasında etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir. %1 AA+Ki uygulamasının her iki çeşide ait dilimlerde 4 °C’de 15 gün süreyle fiziksel ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimleri yavaşlatarak kalite özelliklerini koruma ve raf ömrünü uzatmada yardımcı olduğu belirlenmiştir. Her iki çeşitte de AA+Ki uygulanan dilimlerin görsel kalite özellikleri dikkate alınarak 12 gün süre ile depolanabileceği belirlenmiştir. Ki’nin AA ile

birlikte kullanımının bu iki maddenin birbirinin etkinliğini arttırdığı düşünülmektedir. Uygulandığı üründe kalıntı bırakmayan ve tüketilen ürünlerde güvenilir sınıfta yer alan Ki ve AA’nın birlikte kullanımının pratikte de önerilebileceği kanısına varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Mays Talal Kadhım MAADHEEDI’nin yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır. Çalışmayı destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğüne (Proje No: 18201148) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Chen, X. I. U. H. U. A., Hagenmaier, R. D. 1996. Improving Storage Life of Cut Apple and Potato with Edible Coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9 (2): 151-163.
- Benzie, I. F., Strain, J. J., 1996, The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: the FRAP Assay, *Analytical Biochemistry*, 239 (1): 70-76.
- Çandır, E., 2017. Fresh-Cut Fruits. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. (Ed: Yıldız, F., Wiley, R.C.) Springer, New York, 327-384.
- Çetin, A., 2012, Effects of Edible Chitosan Coating on Quality Parameters of Pomegranate (*Punica granatum*) Arıls. Master thesis, Middle East Technical University, Ankara, pp 97.
- González- Aguilar, G. A., Ruiz- Cruz, S., Soto- Valdez, H., Vázquez- Ortiz, F., Pacheco- Aguilar, R., Wang, C. Y., 2005. Biochemical Changes of Fresh- Cut Pineapple Slices Treated with Antibrowning Agents. *International Journal of Food Science Technology*, 40 (4): 377-383.
- Kırca, A., Cemeroğlu, B., 2001. Askorbik Asidin Degradasyon Mekanizması. *Gıda*, 26:233-242.
- Kim, D., Smith, N., Lee, C., 1993. Quality of Minimally Processed Apple Slices from Selected Cultivars. *Journal of Food Science*, 58 (5): 1115-1117.
- Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R., Singh, S., Varghese, E., 2018. Improving the Shelf Life of Fresh-cut ‘Royal Delicious’ Apple with Edible Coatings and Anti-browning

- Agents, *Journal of Food Science and Technology*, 55 (9): 3767-3778.
- Liu, X., Ren, J., Zhu, Y., Han, W., Xuan, H., Ge, L., 2016. The Preservation Effect of Ascorbic Acid and Calcium Chloride Modified Chitosan Coating on Fresh-Cut Apples at Room Temperature. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 502: 102-106.
- Marquez, G. R., Di Pierro, P., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C. V., Porta, R., 2017. Fresh-cut Fruit and Vegetable Coatings by Transglutaminase-crosslinked Whey Protein/Pectin Edible Films. *LWT-Food Science and Technology*, 75: 124-130.
- McGuire, R. G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12): 1254-1255.
- Mirshekari, A., Madani, B., Golding, J. B., 2017. Suitability of Combination of Calcium Propionate and Chitosan for Preserving Minimally Processed Banana Quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (11): 3706-3711.
- Pearson, D., Surry, J., Churchill, A., 1970. The Chemical Analysis of Food National College of Food Technology, University Of Reading, Weybridge Surry T and A Churchill.
- Perez-Gago, M., Serra, M., Del Rio, M., 2006. Color Change of Fresh-Cut Apples Coated with Whey Protein Concentrate-Based Edible Coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 39 (1): 84-92.
- Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Herceg, K., Levaj, B., 2017. Influence of Antibrowning Solutions, Air Exposure, and Ultrasound on Color Changes in Fresh- Cut Apples during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (6): e13288.
- Qi, H., Hu, W., Jiang, A., Tian, M., Li, Y., 2011. Extending Shelf-Life of Fresh-Cut 'Fuji' apples with Chitosan-Coatings. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 12 (1): 62-66.
- Rojas- Graü, M. A., Sobrino- López, A., Soledad Tapia, M., Martín- Belloso, O., 2006. Browning Inhibition in Fresh- Cut 'Fuji'apple Slices by Natural Antibrowning Agents. *Journal of Food Science*, 71 (1): S59-S65.
- Sabır, F. K., 2017. Taze kesilmiş (Fresh-cut) Ürünler. *Minimal İşlem Görmüş ve Diğer Bahçe Ürünlerinin Depolanması*. (Ed. Türk, R., Güneş, N.T. Erkan, M., Koyuncu, M.A.). Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazara Hazırlanması. Somtad Yayınları Ders Kitabı 293-316.
- Salminen, W. F., Russotti, G., 2017. Synergistic Interaction of Ascorbic Acid and Green Tea Extract in Preventing the Browning of Fresh Cut Apple Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (5): e13192.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M., 1999. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent, In: *Methods in enzymology*, Eds: Elsevier, p. 152-178.
- Solis-Contreras, G. A., Rodríguez-Guillermo, M. C., de la Luz Reyes-Vega, M., Aguilar, C. N., Reboloso-Padilla, O. N., Corona-Flores, J., Soriano-Melgar, L.A.A., Ruelas-Chacon, X., 2021. Extending Shelf-Life and Quality of Minimally Processed Golden Delicious Apples with Three Bioactive Coatings Combined with Cinnamon Essential Oil. *Foods*, 10(3): 597.
- Supapvanich, S., Mitsrang, P., Srinorkham, P., Boonyaritthongchai, P., Wongs-Aree, C., 2016. Effects of Fresh Aloe vera Gel Coating on Browning Alleviation of Fresh Cut Wax Apple (*Syzygium samarangense*) Fruit cv. Taaptimjaan. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (6): 2844-2850.
- Toivonen, P., Hampson, C. J. H., 2009. Apple Cultivar and Temperature at Cutting Affect Quality of Fresh Slices. *Hort Technology*, 19 (1): 108-112.

Depolama Koşullarının Farklı Soğan Çeşitlerinin Hasat Sonrası Fizyolojisindeki Rolü

Samiullah RAWOFİ 
Selen AKAN KARACA 

Özge HORZUM 
Nurdan TUNA GÜNEŞ 

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü 06110 Ankara

Öz

Çalışmada, farklı depolama koşullarının ‘Kunduz Beyazı’, ‘Kunduz Kırmızısı’ ve ‘Soçi’ soğan çeşitlerinin bazı hasat sonrası özelliklerine etkileri incelenmiştir. Soğanlar, soğuk ($0 \pm 2^\circ\text{C}$ %55-65 oransal nem) ve doğal depolama koşullarında 6 ay süre ile depolanmıştır. Depolama sürecinde solunum hızı, ağırlık kaybı, suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM), filizlenme, köklenme, çürüme, görsel dinlenme indeksi ve pazarlanabilir ürün oranı parametreleri değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, soğuk depolama filizlenme ve ağırlık kaybını önemli ölçüde azaltmış, SÇKM içeriğinde depolama süresi ve çeşide bağlı olarak anlamlı değişimler kaydedilmiştir. Özellikle ‘Kunduz Kırmızısı’ ve ‘Soçi’ çeşitleri, ‘Kunduz Beyazı’ çeşidine göre daha stabil bir fizyolojik performans sergileyerek yüksek pazarlanabilir ürün oranlarına sahip olmuştur. Elde edilen bulgular, soğuk depolamanın soğanda kalite kaybını önleme ve raf ömrünü uzatmada etkili olduğunu göstermiştir. Yerel çeşitlerin farklı depolama koşullarına verdiği fizyolojik yanıtlar, bölgeye özgü depolama stratejilerinin geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, depolama altyapılarının sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir muhafaza yöntemleri ve çeşit seçim stratejilerinin belirlenmesine ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa* L., filizlenme, soğuk depo, doğal depo.

The Role of Storage Conditions on the Postharvest Physiology of Different Onion Cultivars

Abstract

In this study, the effects of different storage conditions on postharvest characteristics of onion cultivars, ‘Kunduz Beyazı’, ‘Kunduz Kırmızısı’, and ‘Soçi’, were investigated. The onions were stored under cold storage ($0 \pm 2^\circ\text{C}$, 55-65% relative humidity) and natural storage (ambient) conditions for 6 months. During storage period, respiration rate, weight loss, soluble solids content (SSC), sprouting, rooting, decay, visual dormancy index, and marketable yield ratio were evaluated. According to the findings, cold storage significantly reduced sprouting and weight loss, while SSC showed significant changes depending on storage period and cultivar. In particular, ‘Kunduz Kırmızısı’ and ‘Soçi’ exhibited more stable physiological performance and higher marketable yield ratios compared to ‘Kunduz Beyazı’. The results indicate that cold storage is effective in preventing quality loss and extending the shelf life of onions. The distinct physiological responses of local cultivars to different storage conditions are of critical importance for developing region-specific storage strategies. This study provides insights into practical preservation methods and cultivar-selection strategies suitable for developing countries where storage infrastructure is limited.

Keywords: *Allium cepa* L., sprouting, cold storage, natural storage.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: S. Akan Karaca; sakan@agri.ankara.edu.tr
Geliş Tarihi/Received: 14.10.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 21.11.2025

Makalenin Türü: Araştırma
Category: Research

Samiullah RAWOFİ  <https://orcid.org/0009-0007-6356-2990>
Selen AKAN KARACA  <https://orcid.org/0000-0002-2452-6483>

Özge HORZUM  <https://orcid.org/0000-0003-2030-5613>
Nurdan Tuna GÜNEŞ  <https://orcid.org/0000-0002-8529-2211>

Giriş

Soğan (*Allium cepa* L.), besin değeri ve sağlığa yararlarının yanı sıra aromatik özellikleri sayesinde dünya genelinde en çok tüketilen sebzelerden biridir. Dünyada soğan üretimi 55 milyon ton olup, bu üretim Çin, Hindistan, ABD, Türkiye ve İran’da yoğunlaşmıştır (FAO, 2023). Öte yandan, dünya genelinde soğanda hasat sonrası depolama koşullarına bağlı olarak meydana gelen kalite kayıpları (filizlenme, köklenme, çürüme ve ağırlık kaybı) ciddi ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde modern depolama altyapılarının sınırlılığı, kayıpların %30-40’lara

ulaşmasına neden olabilmektedir (Shabir ve ark., 2022; Kiran ve ark., 2024). Depolama koşullarının optimize edilmesi yalnızca kalite kayıplarını önlemekle kalmayıp, aynı zamanda ticari değer ve pazarlanabilirliği de doğrudan etkilemektedir (Bisht ve ark. 2024).

Soğan çeşitlerinin farklı depolama koşullarına verdikleri fizyolojik tepkilere ilişkin bilimsel verilerin yetersizliği, özellikle gelişmekte olan ülkelerde etkin ve bölgeye özgü depolama yöntemlerinin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, soğan çeşitlerinin değişik depolama koşullarında incelenmesi, kalitenin korunumu ve hasat sonrası kayıpların azaltılması açısından

stratejik öneme sahiptir (Kiran ve ark., 2024). Bu çalışmanın amacı, bazı soğan çeşitlerinin farklı depolama koşullarında altı aylık depolama süresince sergiledikleri bazı fizyolojik tepkileri karşılaştırmaktır. Elde edilen bulguların, özellikle sınırlı depolama altyapısına sahip bölgelerde uygulanabilir depolama yöntemlerinin belirlenmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Materyal ve Metot

Bitkisel Materyal ve Uygulamalar

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde yürütülen bu çalışmada, bitkisel materyal olarak Afganistan'ın Kunduz Bölgesi'nden temin edilen yerel soğan çeşitleri 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Kunduz Beyazı' kullanılmıştır. Bu çeşitler, parlak renk, kabuk sayısı, adaptasyon yeteneği ve keskin aroması ile bölgede en çok tercih edilen soğanlardır. Araştırmada, ülkemizde yetiştirilen ticari bir soğan çeşidi olan 'Soçi'ye ait tohumlar da kullanılmıştır. Ayaş Bahçe Bitkileri Araştırma ve Uygulama İstasyonu'nda yer alan deneme alanı ekim öncesinde 3 ton da⁻¹ çiftlik gübresi ile gübrelenmiş, ardından pullukla derin sürüm yapılmıştır. Ekimden 15 gün önce toprak, rotovatorle işlenerek tesviye edilmiş ve dikime hazır hale getirilmiştir. Tohum ekimi Mart 2024 tarihinde 30 × 15 cm sıra arası ve üzeri mesafelerle gerçekleştirilmiş ve her sırada en az 500 bitki olacak şekilde ekim yapılmıştır. Deneme süresince arazide kültürel işlemler usulüne uygun şekilde yürütülmüştür. Hasat zamanı, yaprakların yaridan fazlasının kuruması ile bitkilerin yatması kriterleri esas alınarak belirlenmiştir. Hasat 11 Eylül 2024 tarihinde yapılmış ve soğanlar 19 Eylül 2024 tarihine kadar tarlada doğal şartlarda küremeye bırakılmıştır. Küreme sonrası soğanlar Ankara Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü Derim Sonrası Fizyolojisi Laboratuvarı'na getirilmiş, boylama ve sınıflandırma yapıldıktan sonra soğuk (0 ± 2 °C sıcaklık ve %55-65 oransal nem) ve doğal depolama koşullarında 6 ay muhafaza edilmiştir. Doğal soğutmalı depoda ortamın soğutulması dışarıya açık bacalarda bulunan ve sürekli açık bırakılan fanlar ile sağlanmıştır. Bu koşullarda depo sıcaklığı dış ortam sıcaklığı ile aynı düzeyde tutulmuştur. Çalışmanın gerçekleştiği Eylül 2024-Mart 2025 ayları arasında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ankara

Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Keçiören Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan en düşük ve en yüksek aylık ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 1.5-21.2 °C ve oransal nem değerleri ise sırasıyla %44.3-84.4 olarak kaydedilmiştir.

Analizler

Solunum hızı (SH), 1 saat süreyle kavanozda bekletilen soğanların kavanoz atmosferine verdiği CO₂ miktarı CO₂ analizatörü (Servomex) ile ölçülmüş ve mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Ağırlık kaybı başlangıç ağırlıklarıyla karşılaştırılarak yüzde (%) olarak, SÇKM soğan başlarından elde edilen suda dijital refraktometre (Leica 10480, Germany) ile % olarak belirlenmiştir. Filizlenme oranı (FO), Kukanoor (2005)'e, köklenme oranı (KO) Baloch ve ark. (2012)'e, çürüme oranı Jamali ve ark. (2012)'ye, görsel dinlenme indeksi (GDİ) Burba ve ark. (1989)'a, pazarlanabilir baş oranı ise Hatem ve ark. (2014)'e göre yapılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde altı baş soğan değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler MINITAB 17 paket programında varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, önemli farklılıklar $P \leq 0.05$ düzeyinde değerlendirilmiştir. Gruplar arası farklılıklar Tukey testi ile karşılaştırılmıştır (MSTAT-C). Veriler ortalama ± ortalamanın standart hatası olarak sunulmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Depolama şekli SH üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur ($P \leq 0.05$). Soğuk depolamada tüm çeşitlerde SH anlamlı düzeyde düşmüştür (Çizelge 1). Benzer şekilde Fumen ve ark. (2016) düşük sıcaklığın solunumu azalttığını, Rahmah ve ark. (2023) ise soğuk depolamanın soğanda solunumu geciktirerek raf ömrünü uzattığını bildirmiştir. 'Kunduz Kırmızısı' çeşidinde 1. aydan itibaren doğal depolama koşullarında ölçülen SH değerleri, soğuk depolama koşullarına göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, çeşidin sıcaklık stresine karşı daha hassas bir fizyolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, 'Kunduz Beyazı' ve 'Soçi' çeşitlerinde depolama şekline bağlı farklılıklar 4. aydan itibaren ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde Petropoulos ve ark. (2017), bazı soğan çeşitlerinde SH'deki azalmanın düşük sıcaklıklarda ancak uzun süreli depolama sonrası belirginleştiğini ve bunun su içeriği, doku yapısı

ve olgunluk derecesi gibi fizyolojik özelliklerle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Depolama süresi de SH'yi anlamlı biçimde etkilemiştir. SH'nin depolama süresince önce artış, ardından düşüş eğilimi göstermesi, Sharma ve ark. (2016)'nın

depolama süresinin uzamasıyla hücrel bozulmalar ve su kaybının artması sonucu metabolik faaliyetlerin önce hızlanıp ardından baskılandığına dair bulgularıyla uyumludur.

Çizelge 1. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde solunum hızındaki (mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) değişimler

Depolama Süresi (ay)	'Kunduz Kırmızısı'		'Kunduz Beyazı'		'Soçi'	
	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo
0	0.58±0.00 a,a,d*	0.33±0.00 a,a,b	0.58±0.00 a,a,d	0.29±0.00 a,a,c	0.66±0.00 a,a,c	0.47±0.00 a,a,c
1	6.64±0.87 a,a,b	3.53±0.13 ab,b,a	3.62±0.19 b,a,c	2.61±0.23 b,a,b	3.28±0.23 b,a,b	4.46±0.43 a,a,ab
2	4.55±0.53 a,a,c	2.75±0.09 a,b,a	3.52±1.20 ab,a,c	3.25±0.15 a,a,b	2.89±0.49 b,a,b	3.45±0.26 a,a,ab
3	3.60±0.17 a,a,c	3.38±0.58 a,a,a	4.96±0.77 a,a,bc	4.06±0.33 a,a,ab	4.24±0.94 a,a,b	4.91±0.39 a,a,a
4	5.41±0.27 b,a,bc	3.24±0.32 a,b,a	7.38±0.49 a,a,a	2.98±0.14 a,b,b	6.33±0.77 ab,a,a	3.70±0.36 a,b,ab
5	10.93±0.96 a,a,a	2.00±0.25 b,b,ab	7.87±1.00 b,a,a	5.54±0.37 a,b,a	7.35±0.39 b,a,a	3.54±0.51 b,b,ab
6	6.84±0.10 a,a,b	2.27±0.14 a,b,ab	6.72±0.10 a,a,ab	3.06±0.42 a,b,b	6.93±0.09 a,a,a	2.45±0.06 a,b,bc

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları P≤0.05 hata düzeyinde ifade etmektedir.

Her üç çeşitte de soğuk depolama koşullarında filizlenme gözlenmemiştir (Çizelge 2). Bu bulgu, düşük sıcaklığın dinlenmeyi koruyarak filizlenmeye neden olan fizyolojik ve hormonal süreçleri baskıladığını ortaya koymaktadır.

Nitekim düşük sıcaklığın metabolizmayı yavaşlatarak meristematik aktiviteyi engellediği daha önce Jolayemi ve ark. (2018) tarafından da bildirilmiştir.

Çizelge 2. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde filizlenme oranındaki (%) değişimler

Depolama Süresi (ay)	'Kunduz Kırmızısı'		'Kunduz Beyazı'		'Soçi'	
	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo
0	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
1	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
2	0.00 ± 0.00 b, a, c	0.00 ± 0.00 a, a, a	5.56 ± 5.56 a, a, c	0.00 ± 0.00 a, b, a	5.56 ± 5.56 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a
3	16.67 ± 9.62 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	11.11 ± 5.56 ab, a, c	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
4	27.78 ± 5.56 b, a, ab	0.00 ± 0.00 a, b, a	44.44 ± 5.56 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a
5	33.33 ± 9.62 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	55.56 ± 5.56 a, a, b	0.00 ± 0.00 a, b, a	11.11 ± 5.56 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a
6	38.89 ± 5.56 b, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	88.89 ± 5.56 a, a, a	0.00 ± 0.00 a, b, a	0.00 ± 0.00 c, a, a	0.00 ± 0.00 a, a, a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları P≤0.05 hata düzeyinde ifade etmektedir.

Doğal depolama koşullarında en düşük FO 'Soçi' çeşidinde, en yüksek ise 'Kunduz Beyazı' çeşidinde kaydedilmiştir. 'Soçi' çeşidinde gözlenen düşük FO, bu çeşidin genetik olarak daha uzun süreli dinlenmeye sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Yaqoobi ve Nemati (2022), soğan çeşitlerinde filizlenme düzeylerinin genotipe bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. 'Kunduz Kırmızısı' doğal depoda

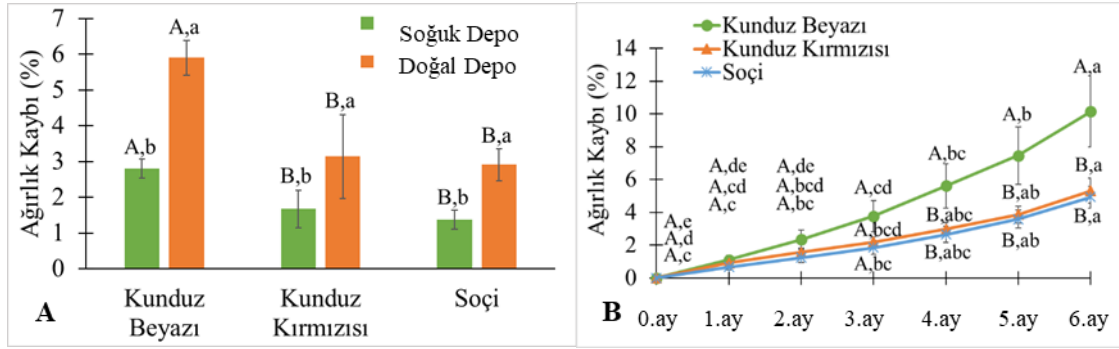
giderek artan bir filizlenme eğilimi göstermiş ve 6 ay sonunda %38.89'a ulaşmıştır. Buna karşın 'Kunduz Beyazı' aynı koşullarda %88.89 ile en yüksek FO sergilemiş, bu da çeşidin dinlenmeye ve çevresel koşullara daha yüksek duyarlılığa sahip olduğunu göstermiştir. 'Soçi' çeşidinde ise en yüksek FO yalnızca %11.11 ile 5. ayda görülmüş, bu da çeşidin olumsuz koşullarda dahi filizlenmeye karşı daha dirençli olduğunu ortaya

koymuştur. Arya ve ark. (2022)'da bazı soğan çeşitlerinin genetik olarak daha uzun dinlenme sürelerine sahip olduğunu bildirmektedir. Genel olarak, bu sonuçlar filizlenme eğiliminin yalnızca depolama koşullarıyla değil, aynı zamanda çeşide özgü fizyolojik ve genetik özelliklerle de belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Depolama süresince her iki depolama şeklinde de soğan çeşitlerinde köklenme gözlenmemiştir. Bu sonuç, çeşitlerin köklenmeye karşı fizyolojik açıdan direnç sergilediğini ve uygun koşullarda bu yöndeki bozulma riskinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda köklenmenin görülmemiş olması hem uygulanan depolama koşullarının uygunluğunu hem de çeşitlerin köklenmeye genetik olarak toleranslı olduğunu düşündürmektedir. Miedema (1994) da köklenme eğiliminin genotipik olarak kontrol edildiğini, Sharma ve ark. (2016) ile Petropoulos ve ark. (2017) ise düşük sıcaklığın köklenmeyi baskıladığını, ancak bu etkinin çeşitlerin fizyolojik yatkınlığına göre değişebileceğini vurgulamışlardır.

Depolama süresince her iki depolama koşulunda ve tüm soğan çeşitlerinde herhangi bir çürüme gözlenmemiştir. Bu bulgu, çeşitlerin fungal ve bakteriyel enfeksiyonlara karşı dirençli olabileceğini ve uygulanan depolama koşullarının çürümeyi teşvik eden faktörleri baskıladığının bir göstergesi olabilecektir. Çürüme, genellikle yüksek sıcaklık ve oransal nem, yetersiz havalandırma ve patojen varlığı gibi koşullarda ortaya çıkan önemli bir hasat sonrası kalite kaybı nedenidir. Bu bağlamda, düşük sıcaklık ve kuru ortam koşulları, soğanlarda çürümeye yol açan mikroorganizmaların gelişimini yavaşlatarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır (Shree ve Kumari, 2019). Çalışmamızda çürümenin görülmemesi, uygulanan depolama koşullarının uygunluğu yansırı çeşitlerin kabuk yapısı ve koruyucu dış dokularının mikrobiyal kontaminasyona karşı etkili bir bariyer oluşturduğunu düşündürmektedir.

Doğal depoda en yüksek ortalama ağırlık kaybı (AK), 'Kunduz Beyazı' çeşidinde (%5.90) belirlenmiş, bunu 'Kunduz Kırmızısı' (%3.14) ve 'Soçi' (%2.91) takip etmiştir. Benzer şekilde soğuk depolamada da en yüksek kayıp yine 'Kunduz Beyazı' çeşidinde (%2.80) gerçekleşmiştir. Bu durum, söz konusu çeşidin daha gevşek epidermal yapısı, ince dış kabuk tabakaları ve yüksek su içeriği nedeniyle su kaybına daha yatkın olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, 'Kunduz Kırmızısı' (%1.67) ve 'Soçi' (%1.37) çeşitleri, daha kalın dış kabuk yapısı ve muhtemelen düşük stomatal iletkenlik sayesinde hem soğuk hem de doğal depolama koşullarında daha düşük AK göstermiştir (Şekil 1A). Bu bulgular, soğan çeşitleri arasındaki yapısal farklılıkların AK oranlarını doğrudan etkilediğini bildiren Petropoulos ve ark. (2017) ile paralellik göstermektedir. Özellikle 'Kunduz Beyazı' çeşidinin soğutmalı depolarda dahi yüksek oranda AK göstermesi, bu çeşitte su kaybının önlenmesi için ek depolama stratejilerinin gerektiğini ortaya koymaktadır (Chávez-Mendoza ve ark., 2024; Kiran ve ark., 2024). Öte yandan, 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Soçi' çeşitlerinin daha düşük AK'ya sahip olması, bu çeşitlerin depolama dayanıklılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Her bir depolama süresi için doğal depolarda belirlenen ortalama ağırlık kayıpları, soğuk depolama koşullarına kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek gerçekleşmiştir. Depolama süresinin uzamasıyla birlikte tüm çeşitlerde AK düzenli olarak artmıştır. Özellikle 6. ay sonunda 'Kunduz Beyazı' çeşidi %10.14 ile en yüksek kaybı gösterirken, 'Kunduz Kırmızısı' ve 'Soçi' çeşitlerinde bu oran sırasıyla %5.32 ve %4.93 olarak kaydedilmiştir (Şekil 1B). Bu sonuç, depolama süresinin uzamasıyla su kaybının arttığını ve çeşitler arasında belirgin farklılıklar ortaya çıktığını göstermektedir. Literatürde de uzun süreli depolamalarda çeşitler arasında önemli farklar olduğu ve bu farkların genetik yapı, kabuk kalınlığı, epidermal özellikler ve hücre içi su tutma kapasitesiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Jolayemi ve ark., 2018).



Şekil 1. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde ağırlık kaybındaki değişimler (%)

(A: Büyük harfler her bir depolama şekli için çeşitler, küçük harfler her bir çeşit için depolama şekilleri, B: Büyük harfler her bir depolama süresi için çeşitler, küçük harfler her bir çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.)

Depolamanın ilk zamanlarında SÇKM seviyelerinde artış, sonraki dönemlerde ise azalma gözlenmiştir (Çizelge 3). Bu artış, büyük olasılıkla başlarda zaman bağlı olarak artan su kaybı düzeyi ile hücre içindeki uzun zincirli karbonhidrat moleküllerinin parçalanarak daha

suda eriyebilir karbonhidratlara dönüşümünden kaynaklanmış olabilir. Depolama süresinin ilerlemesi ile ortaya çıkan düşüş ise karbonhidratların solunum ve filizlenme gibi metabolik süreçlerde kullanılmasıyla ilişkilendirilebilir (Akan ve ark., 2019).

Çizelge 3. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde suda çözünür kuru madde içeriğindeki değişimler

Depolama Süresi (ay)	‘Kunduz Kırmızısı’		‘Kunduz Beyazı’		‘Soçi’	
	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo
0	10.93 ± 0.03 a,a,a	8.26 ± 0.61 a,b,cd	8.50 ± 0.00 b,a,bc	8.73 ± 0.03 a,a,bc	6.63 ± 0.03 c,b,cd	8.06 ± 0.37 a,a,a
1	10.06 ± 0.63 a,a,ab	9.00 ± 0.60 a,a,bc	11.00 ± 0.45 a,a,a	9.50 ± 0.05 a,b,ab	8.20 ± 0.20 b,a,ab	7.70 ± 0.26 b,a,ab
2	10.83 ± 0.50 a,a,a	9.70 ± 0.70 a,a,b	8.03 ± 0.92 b,b,c	10.20 ± 0.65 a,a,a	9.10 ± 0.76 b,a,a	8.30 ± 0.05 b,a,a
3	8.63 ± 0.16 ab,b,bcd	10.10 ± 0.11 a,a,ab	9.76 ± 0.03 a,a,ab	9.23 ± 0.06 ab,a,abc	8.36 ± 0.23 b,a,ab	8.26 ± 0.03 b,a,a
4	8.76 ± 0.03 a,b,bc	10.13 ± 0.03 a,a,ab	8.10 ± 0.10 a,b,c	9.60 ± 0.25 a,a,ab	8.96 ± 0.06 a,a,a	6.33 ± 0.06 b,b,b
5	7.20 ± 0.10 a,b,d	11.23 ± 0.06 a,a,a	6.33 ± 0.06 ab,b,d	7.80 ± 0.10 b,a,cd	5.83 ± 0.03 b,b,d	8.90 ± 0.00 b,a,a
6	8.10 ± 0.05 a,a,cd	7.36 ± 0.03 a,a,d	7.56 ± 0.03 a,a,cd	7.03 ± 0.36 a,a,d	7.46 ± 0.03 a,a,bc	7.73 ± 0.03 a,a,ab

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.

‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidinde, doğal depolamada SÇKM başlangıçta %10.93 iken dalgalanmalar göstererek 6. ayda %8.10’a gerilemiştir. Soğuk depolamada ise başlangıçta %8.26 olan SÇKM, 5. aya kadar artış göstererek %11.23’e ulaşmış, ardından 6. ayda %7.36’ya düşmüştür (Çizelge 3). Bu durum, düşük sıcaklığın başlangıçta metabolik aktiviteyi sınırlayarak karbonhidratlardaki parçalanmayı sınırladığını ancak uzun süreli depolamada bu etkinin azaldığını göstermektedir (Chávez-Mendoza ve ark., 2016; Sharma ve ark., 2016). ‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde, doğal depoda SÇKM başlangıçta %8.50 iken 6. ayda %7.56’ya düşmüştür. Soğuk depolamada ise başlangıç

değeri %8.73, 6. ayda %7.03’e gerilemiştir. Bu sonuç, soğuk depolamanın şeker metabolizmasını depolamanın ilk evrelerinde stabilize ettiğini, ancak ilerleyen dönemde karbonhidrat rezervlerinin tüketilmesiyle SÇKM düzeyinin azaldığını göstermektedir (Petropoulos ve ark., 2017; Sharma ve ark., 2016). ‘Soçi’ çeşidinde, doğal depolamada SÇKM başlangıçta %6.63 iken 6. ayda %7.46’ya yükselmiştir. Soğuk depolamada ise başlangıç değeri %8.06, 6. ayda %7.73’e düşmüştür. ‘Soçi’, diğer çeşitlere kıyasla daha stabil bir SÇKM profili sergileyerek SÇKM kaybına karşı daha dirençli bir performans göstermiştir. Genel olarak, soğuk depolama koşulları ‘Soçi’ çeşidinde SÇKM’nin

korunmasında daha etkili olmuş, doğal depolamada ‘Kunduz Kırmızısı’ ve ‘Kunduz Beyazı’ çeşitlerinde 4. aydan itibaren belirgin SÇKM kayıpları gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, her bir çeşidin karbonhidrat metabolizmasına verdiği fizyolojik tepkilerin ve depolama koşullarına duyarlılıklarının bir göstergesidir.

‘Kunduz Kırmızısı’ çeşidinde, doğal depolama koşullarında görsel dinlenme indeksi (GDİ) 6.

ayda en yüksek değere (74.68) ulaşmıştır (Çizelge 4). Buna karşın, soğuk depodaki örneklerde GDİ değeri tüm depolama süresince sıfır olarak kaydedilmiş ve düşük sıcaklık koşullarının fizyolojik dinlenmeyi tamamen baskıladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, metabolik süreçlerin soğuk ortamda yavaşlaması nedeniyle dinlenme belirtilerinin ortaya çıkmadığını göstermektedir.

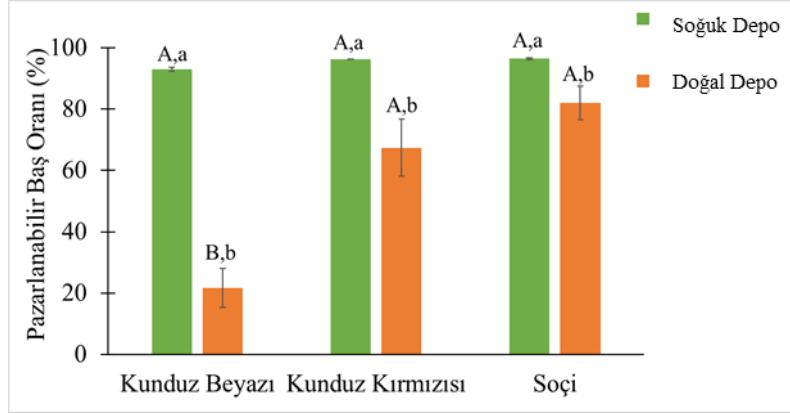
Çizelge 4. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde görsel dinlenme indeksindeki değişimler

Depolama Süresi (ay)	‘Kunduz Kırmızısı’		‘Kunduz Beyazı’		‘Soçi’	
	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo	Doğal Depo	Soğuk Depo
0	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a
1	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,a,d	0.00 ± 0.00 a,a,a
2	51.30 ± 4.50 a,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a	42.45 ± 0.67 ab,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a	40.08 ± 0.23 a,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a
3	58.33 ± 8.45 a,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a	66.03 ± 3.86 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	33.93 ± 0.82 b,a,c	0.00 ± 0.00 a,b,a
4	67.10 ± 4.69 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	55.29 ± 5.62 b,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a	70.80 ± 5.50 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a
5	67.05 ± 1.77 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	67.97 ± 0.72 a,a,ab	0.00 ± 0.00 a,b,a	45.76 ± 1.28 b,a,bc	0.00 ± 0.00 a,b,a
6	74.68 ± 2.61 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a	75.00 ± 0.26 a,a,a	0.00 ± 0.00 a,b,a	54.08 ± 0.39 b,a,b	0.00 ± 0.00 a,b,a

*Birinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve depolama şekli için çeşitler, ikinci sıra harflendirmeler her bir depolama süresi ve çeşit için depolama şekilleri ve üçüncü sıra harflendirmeler ise her bir depolama şekli ve çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları $P \leq 0.05$ hata düzeyinde ifade etmektedir.

Benzer sonuçlar González ve ark. (2013) tarafından fizyolojik aktivitedeki azalmalardan kaynaklandığı ifadesi ile açıklanmıştır. ‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde de doğal koşullarda 2. aydan itibaren GDİ artmış ve 6. ayda maksimum seviyeye (75.00) ulaşmıştır. Soğuk depolamada ise görsel dinlenme meydana gelmemiştir. Bu durum, düşük sıcaklığın hormon seviyelerini ve enzim aktivitelerini azaltarak dinlenme belirtilerini inhibe ettiğini düşündürmektedir (Sharma ve ark., 2016). ‘Soçi’ çeşidi ise diğer iki çeşide göre daha geç bir fizyolojik yanıt göstererek GDİ 3. ay itibarıyla belirginleşmiş ve doğal depolamada 6. ayda 54.08 olarak ölçülmüştür. Soğuk depolamada ise bu çeşitte de görsel dinlenme gözlenmemiştir. Tüm çeşitlerde genel olarak, soğuk depolamanın görsel dinlenmeyi baskıladığı veya tamamen engellediği görülmektedir. Bu bulgu, düşük sıcaklığın uzun süreli depolamalarda metabolik aktiviteyi yavaşlatarak fizyolojik bozulmaları ve kalite kayıplarını önlemede kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Kiran ve ark., 2024).

Altı aylık depolama süresi sonunda, ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ çeşitlerinde pazarlanabilir baş oranı, doğal depolamada sırasıyla %67.39, %21.70 ve %82.08 olarak belirlenirken, soğuk depolamada bu değer sırasıyla %96.28, %93.00 ve %96.42 olarak kaydedilmiştir (Şekil 2). Bu bulgular, soğuk depolamanın kalite kayıplarını önleyerek pazarlanabilirlik oranını artırmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Bulama ve ark. (2024), soğuk depo koşullarında çürüklük, filizlenme ve su kaybının önemli ölçüde azaldığını ve bunun pazarlanabilirlik üzerinde olumlu etkiler yarattığını vurgulamıştır. Soğuk depolamanın pazarlanabilirlik üzerindeki olumlu etkisi, metabolik ve mikrobiyal süreçlerin yavaşlamasıyla da ilişkilendirilebilir. Özellikle ‘Kunduz Beyazı’ çeşidinde, doğal depolamada pazarlanabilirliğin ciddi ölçüde düşmesi (%21.70), bu çeşidin duyarlılığını ortaya koymaktadır. Bu durum, beyaz kabuklu çeşitlerin daha ince epidermal tabakalara sahip olmasından kaynaklanan yüksek su kaybı ve çürüme eğilimi ile uyumludur (Maude, 2018).



Şekil 2. Soğan çeşitlerinin depolama sürecinde pazarlanabilir baş oranındaki değişimler (%)

(Büyük harfler her bir depolama süresi için çeşitler, küçük harfler her bir çeşit için depolama süreleri arasındaki farklılıkları ifade etmektedir.)

Sonuç

Çalışmada, ‘Kunduz Kırmızısı’, ‘Kunduz Beyazı’ ve ‘Soçi’ soğan çeşitlerinin, soğuk ve doğal depolama koşullarında altı ay süreyle depolanması sonucu ortaya çıkan fizyolojik ve kalite değişimleri değerlendirilmiştir. Soğuk depolama, metabolik faaliyetleri baskılayarak filizlenme, solunum hızı ve görsel dinlenme gibi fizyolojik tepkileri minimize etmiştir. Tüm çeşitlerde köklenme ve çürüme belirtilerine rastlanmaması, düşük sıcaklıkta depolamanın dinlenme sürecini etkin şekilde sürdürdüğünü ve patojen kaynaklı bozulmalara karşı koruyucu bir etki sağladığını ortaya koymaktadır. Solunum hızı özellikle doğal depoda artış göstererek fizyolojik yaşlanmanın hızlandığını işaret etmiş ve filizlenme de yalnızca bu koşullarda gözlemlenmiştir. Bu bulgular, depolama sıcaklığının soğan fizyolojisi üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğunu desteklemektedir. Pazarlanabilir baş oranı açısından da soğuk depolama açık üstünlük göstermiştir. SÇKM içeriği, soğuk depolama koşullarında daha stabil kalmış ve özellikle ‘Soçi’ çeşidi karbonhidrat kaybına karşı daha dirençli bir profil sergilemiştir. Bu sonuçlar, düşük sıcaklığın etkinliğini ve çeşide özgü fizyolojik yanıtların önemini ortaya koymaktadır. Genel olarak, soğukta depolama hem kalite korunumu hem de raf ömrünün uzatılması açısından en uygun yöntem olarak öne çıkmaktadır. ‘Soçi’ çeşidi, kalite ve pazarlanabilirlik açısından soğuk ortamda yüksek performans sergilerken, ‘Kunduz Kırmızısı’ yerel üretim açısından verimli ve sürdürülebilir sonuçlar sağlamıştır. ‘Kunduz Kırmızısı’ ve ‘Soçi’ çeşidi hem doğal

depoda hem de soğuk depoda benzer eğilim göstermiş olup, daha az kalite kaybı sayesinde 6 ay süre ile depolanabilmektedir. Bu bulgular, gelişmekte olan ülkelerde yerel çeşitlerin kalitesinin korunması, hasat sonrası kayıpların azaltılması ve pazara kaliteli ürün arzının sürekliliği açısından önemlidir. Bölgesel özelliklere uygun çeşit seçimi ve soğuk depo yatırımlarının artırılması, soğan sektöründe sürdürülebilir üretim ve pazarlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akan, S., Güneş, N.T., Yanmaz, R., 2019. Methyl jasmonate and low temperature can help for keeping some physicochemical quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) cloves. Food Chemistry, 270, 546-553.
- FAO, 2023. Web sitesi: <https://www.fao.org/faostat/en/>, Erişim Tarihi: 07.03.2025.
- Arya, J.S., Singh, N., Singh, H., Kant, A., 2022. Onion genotypes Red Cereole, followed by Katarina Red 3 and Katarina Red 7 are superior with respect to postharvest quality parameters. Australian Journal of Crop Science, 16(2), 162-170.
- Baloch, J.U.D., Baloch, S., Munir, M., Alizai, A.A. 2012. A study on root growth of onion (*Allium cepa* L.) under storage conditions. Pakistan Journal of Life & Social Sciences, 10(2).
- Bisht, A., Singh, S.P., (2024). Postharvest losses and management of horticultural produce: A review. Journal of Scientific Research and Reports, 30, 305-320.

- Bulama, Y.M., Idi, A.S., Kyari, M.B. Abuna, A.J.B.J.O.A.R., 2024. The effect of post-harvest handling practices on the quality and marketability of harvested onions in Jere local government area. *Badeggi Journal of Agricultural Research and Environment*, 6(1), 30-38.
- Burba, J., Casalli, V. Buteler, M., 1989. Intensidad de la dormición como parámetro fisiológico para agrupar cultivares de ajo (*Allium sativum* L.). *Horticultura Argentina*, 8(18), 47-49.
- Chávez-Mendoza, C., Vega-García, M.O., Guevara-Aguilar, A., Sánchez, E., Alvarado-González, M., Flores-Córdova, M.A., 2016. Effect of prolonged storage in controlled atmospheres on the conservation of the onion (*Allium cepa* L.) quality. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(12), 842-852.
- Fumen, G.A., Osunde, Z.D., Idah, P.A., Adejumo, B.A., 2016. Effect of temperature and relative humidity on respiration rate and nutritional properties of stored onion. *Journal of Environmental Sciences and Resources Management*, 8(1), 40-50.
- González, R.E., Burba, J.L., Camargo, A.B., 2013. A physiological indicator to estimate allicin content in garlic during storage. *Journal of Food Biochemistry*, 37(4), 449-455.
- Hatem, M.H., Shehata, S.A., Abdel-hay, Y.B., Abdel-Gwad, K.F., Abaker, B.A., 2014. Effect of storage conditions on the quality of onion bulbs. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 31(3), 919-936.
- Jamali, L.A., Ibupoto, K.A., Chattha, S.H., Laghari, R.B., 2012. Study on physiological weight loss in onion varieties during storage. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering & Veterinary Sciences*, 28(1), 1-7.
- Jolayemi, O.S., Shamsudeen Nassarawa, S., Lawal, O.M., Sodipo, M. A., Oluwalana, I.B. 2018. Monitoring the changes in chemical properties of red and white onions (*Allium cepa* L.) during storage. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 9(7), 78-86.
- Kiran, P.R., Aradwad, P., T.V., A.K., Nayana N., P., C.S., R., Sahoo, M., Urhe, S.B., Yadav, R., Kar, A., Mani, I., 2024. A comprehensive review on recent advances in postharvest treatment, storage, and quality evaluation of onion (*Allium cepa*): Current status, and challenges. *Future Postharvest and Food*, 1(1), 124-157.
- Kukanoor, L., 2005. Post-harvest studies in onion cv. N-53. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture. College of Agriculture. The University of Agricultural Sciences, Dharwad, Karnataka, India.
- Maude, R. B., 2018. Storage Diseases of Onions. (H.D. Rabinowitch ve J.L. Brewster eds) *Onions and Allied Crops: Volume II: Agronomy and Biotic Interactions*. CRC Press, New York. 273-296.
- Miedema, P., 1994. Bulb dormancy in onion. I. The effects of temperature and cultivar on sprouting and rooting. *Journal of Horticultural Science*, 69(1), 29-39.
- Petropoulos, S.A., Ntatsi, G., Ferreira, I.C.F.R., 2017. Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. *Food Reviews International*, 33(1), 62-83.
- Rahmah, A.N.F., Priyanti, D., Ayuningsih, I., Nugraha, B., 2023. The effect of different storage temperatures and internal analysis of onions with x-ray ct on the respiration rate of onions. *E3S Web of Conferences*, 425.
- Shabir, I., Pandey, V.K., Dar, A.H., Pandiselvam, R., Manzoor, S., Mir, S.A., Shams, R., Dash, K.K., Fayaz, U., Khan, S.A., Jeevarathinam, G., Zhang, Y., Rusu, A.V., Trif, M., 2022. Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilisation of onion peel for food applications: A Review. *Sustainability*, 14(19), 1-15.
- Sharma, K., Mahato, N., Nile, S.H., Lee, E.T., Lee, Y.R., 2016. Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. *Food and Function*, 7(8), 3354-3369.
- Shree, S., Kumari, A., 2019. Postharvest handling, diseases and disorders in bulb vegetables. In *The Vegetable Pathosystem*. Apple Academic Press. 483-507.
- Yaqoobi, S.A., Nemati, H., 2022. Study on storability of afghan local onions (*Allium cepa* L.) at two thermal conditions. *Journal of Horticultural Science*, 36(1), 1-14.

Farklı Sulama Koşullarında Çeltikte CO₂ ve Sıcaklık Değişimlerine Duyarlılığın Model Tabanlı Analizi

Alper BAYDAR 

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

Öz

Bu çalışma, 2019–2020 yılları arasında DSSAT-CERES-Rice modeli ile farklı CO₂ ve sıcaklık senaryoları altında çeltik bitkisinin duyarlılığını analiz etmek amacıyla yürütülmüştür. Model, çıkıştan fizyolojik olgunluğa kadar olan fenolojik dönemleri %1-27 hata aralığında başarıyla tahmin etmiştir. Doğrulama sürecinde yaprak alan indeksi, biyokütle ve verim değerleri için nRMSE oranları %5-28, d-indeks değerleri ise 0.59-0.99 aralığında hesaplanmıştır. Bulgular, modelin özellikle verim tahmininde yüksek doğruluk sağladığını ve sulama seviyelerine bağlı değişimleri güvenilir biçimde yansıttığını göstermiştir. Verim odaklı hassasiyet analizi, artan CO₂ düzeylerinin farklı sulama koşullarında tane verimini artırdığını, buna karşın sıcaklık artışının verimi azalttığını göstermiştir. CO₂ artışı ve sıcaklık etkisi birlikte ele alındığında, +2 °C’de verim artışı kısmen korunmuş; +4 °C’de ise kayıplar belirginleşmiştir. Bu sonuçlar, modelin farklı iklim koşullarında verim tahmininde güvenilir olduğunu ve uygun sulama yönetimi ile çeşit seçiminin iklim kaynaklı verim kayıplarını azaltmada kritik rol oynadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: DSSAT, çeltik, hassasiyet analizi, CO₂, sıcaklık değişimi, verim tahmini.

A Model-Based Analysis of Rice Sensitivity to CO₂ and Temperature Changes under Different Irrigation Regimes

Abstract

This study was conducted during 2019-2020 to evaluate the sensitivity of rice to varying CO₂ concentrations and temperature scenarios. The model successfully simulated phenological stages from emergence to physiological maturity with error rates between 3% and 29%. During validation, nRMSE values for leaf area index, biomass, and yield ranged from 5% to 29%, while d-index values varied between 0.59 and 0.99. The model demonstrated high accuracy in yield prediction and reliably represented yield variations across irrigation levels. Sensitivity analysis revealed that increasing CO₂ concentrations enhanced grain yield, whereas temperature rises reduced it. When CO₂ enrichment and temperature increases were combined, partial yield compensation was observed at +2 °C, but significant yield losses occurred at +4 °C. These results indicate that the DSSAT-CERES-Rice model provides reliable yield predictions under diverse climatic conditions. Furthermore, appropriate irrigation management and cultivar selection are crucial in mitigating climate-induced yield reductions.

Keywords: DSSAT, rice, sensitivity analysis, CO, temperature change, yield prediction.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: A. Baydar; alper.baydar@siirt.edu.tr
Geliş Tarihi/Received: 04.11.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 20.11.2025

Makalenin Türü: Araştırma
Category: Research

Alper BAYDAR  <https://orcid.org/0000-0002-1426-466X>

Giriş

Çeltik (*Oryza sativa* L.), dünya nüfusunun büyük bir kısmı için temel karbonhidrat kaynağı olan pirincin hammaddesidir ve gıda güvenliği, yoksulluğun azaltılması ile kırsal istihdam açısından stratejik öneme sahiptir. Küresel ölçekte pirinç, insanların günlük enerji ihtiyacının yaklaşık beşte birini karşılamakta olup dünya genelinde milyarlarca insanın beslenmesinde belirleyici rol oynamaktadır (FAO, 2023). Türkiye’de çeltik üretimi, hem iç tüketim hem de tarımsal sanayi zincirine katkısı bakımından stratejik ürünler arasında yer almakta; kırsal kalkınma ve istihdamda önemli bir paya sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2023 yılında 116.668 hektar

alanda 978.000 ton çeltik üretilmiştir. 2024 yılı I. tahminine göre ise ekim alanı 119.584 hektara yükselmiş, üretim miktarı 1.019.000 ton olarak öngörülmüştür (TÜİK, 2024a; TÜİK, 2024b). Bu değerler, Türkiye’nin pirinçte büyük ölçüde kendi kendine yeterlilik düzeyine yaklaştığını göstermektedir.

Çeltik bitkisi, gelişim dönemlerinde sıcaklık ve su rejimindeki değişimlere oldukça duyarlıdır. Başaklanma ve çiçeklenme dönemlerinde birkaç derecelik sıcaklık artışı bile verim kaybına yol açabilir. Su stresi ve sıcaklık artışının birlikte görülmesi, özellikle tane dolum süresini kısaltarak üretim potansiyelini ciddi biçimde sınırlamaktadır. Yapılan çalışmalar, artan CO₂’nin fotosentezi artırdığını, sıcaklık artışının

ise verim kaybına neden olduğunu göstermektedir. CO₂ artışı bitki büyümesini teşvik ederken sıcaklık artışı gelişim süresini kısaltmaktadır. Farklı sulama rejimleri bu etkilerin şiddetini değiştirmekte, model tabanlı yaklaşımlar ise bu ilişkilerin çözümünde etkili olmaktadır.

İklim değişikliğinin etkilerinin artması, tarımsal planlamada süreç-temelli bitki modellerinin kullanımını önemli hale getirmiş ve model tabanlı analizlerin yaygınlaşmasına yol açmıştır. Bu etkilerin anlaşılabilmesi ve geleceğe yönelik öngörülerin yapılabilmesi için bitki büyüme modelleri önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Süreç-temelli modeller, farklı çevresel koşullar altında bitkinin gelişimini, verimini ve su kullanımını tahmin etmeye olanak sağlar. Bu modeller sayesinde, iklim değişikliğinin tarımsal sistemler üzerindeki etkileri senaryo temelli olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda geliştirilen DSSAT-CERES-Rice modeli, çeltik üretiminde yaygın biçimde kullanılan ve doğruluğu birçok araştırmayla kanıtlanmış bir modeldir. Model, çevresel girdiler ile genetik ve yönetim faktörlerini entegre ederek bitki gelişimini simüle eder. Farklı sulama seviyeleri, CO₂ konsantrasyonları ve sıcaklık değişimleri gibi koşullar altında yapılan model çalışmaları, iklim değişikliğine uyum stratejilerinin belirlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Simülasyon modelleri, farklı iklim ve yönetim senaryoları altında bitki gelişimi ve verim çıktılarının nasıl değişebileceğini nicel olarak öne çıkarma imkanı sağlar. DSSAT modeli özelinde “Sensitivity Analysis” adı verilen araç, tek bir girdinin (örneğin sıcaklık, CO₂, ekim tarihi, toprak parametreleri) diğer girdiler sabitken nasıl değiştiğini sistematik şekilde test edebilme olanağı tanır (Hoogenboom ve ark., 2019). Bu yaklaşımla, model kullanıcıları yerel koşullarda hangi değişkenin verim üzerindeki etkisinin daha baskın olduğunu saptayabilir; örneğin bir senaryoda T_{max} artışının verimi ne oranda düşürdüğü, başka bir senaryoda artan CO₂’nin verimi ne kadar telafi edebildiği gibi. Böylece yönetim stratejilerinde (ekim tarihi, sulama rejimi, çeşit seçimi) öncelikli müdahale alanları belirlenebilir.

Çeltik üretiminin artan sıcaklıklara karşı yüksek derecede hassas olduğu; CO₂

konsantrasyonundaki artışın fotosentetik etkinliği artırarak kısmen olumlu etkiler yaratabilmesine rağmen, aşırı sıcaklığın bu olumlu etkiyi büyük ölçüde bastırdığı önceki modelleme çalışmalarında bildirilmiştir (Krishnan ve ark., 2007; Basak ve ark., 2013; Hoogenboom ve ark., 2019). Bu nedenle, CO₂ ve sıcaklık artışlarının birlikte değerlendirildiği hassasiyet analizleri, gelecekteki risklerin nicel olarak belirlenmesi ve sulama yönetimi, çeşit seçimi veya ekim zamanı gibi uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Özellikle çeltik bitkisi üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, sıcaklık artışlarının verim üzerinde baskın olumsuz etkiler yarattığını; CO₂ artışının yalnız başına verimi artırma potansiyeline sahip olsa da bu etkinin yüksek sıcaklık stresiyle karşılaştığında yetersiz kaldığını göstermiştir. Örneğin Bangladeş’te yapılan bir DSSAT-CERES-Rice modelinde T_{max} +2 °C senaryosunun çeltik veriminde yaklaşık %6, +4 °C senaryosunda yaklaşık %16 düşüşe yol açtığı; aynı çalışmada CO₂ artışının verimi ancak sınırlı düzeyde iyileştirdiği bildirilmiştir (Basak ve ark., 2013). Bu tür bulgular, modele dayalı hassasiyet analizlerinin yalnızca “ortalama değişim” değil “kritik eşik” belirleme açısından da değerli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, farklı sulama koşullarında CO₂ ve sıcaklık değişimlerinin çeltik verimine etkilerini model tabanlı yaklaşımla analiz ederek, iklim değişikliğine uyum stratejilerine bilimsel temel sağlamayı amaçlamaktadır.

Materyal ve Metot

Deneme Alanı ve Özellikleri

Araştırma, 2019-2020 yetiştirme sezonunda, Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Tarsus lokasyonunda (36°53' K, 34°57' D) yürütülmüştür. Çalışma alanı, Akdeniz ikliminin yarı kurak karakteristiğini taşımakta olup, yıllık ortalama sıcaklık 18.2 °C, ortalama bağıl nem %70.2, yıllık toplam buharlaşma 1478 mm ve yıllık ortalama yağış miktarı 630 mm’dir. Yağışlar genellikle Eylül-Mayıs döneminde yoğunlaşmakta ve yıllar arasında belirgin değişkenlik göstermektedir. Deneme alanı toprakları killi ile siltli-killi tekstür aralığında olup Arıklı serisi olarak sınıflandırılmıştır. Toprağın 90 cm profilinde tarla kapasitesi (TK)

384 mm, solma noktası (SN) ise 273 mm olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 0.40-0.50 dS m⁻¹ aralığında değişmiş, ortalama hacim ağırlığı 1.34-1.43 g cm⁻³ arasında bulunmuş ve toprak pH'sı 7.8-8.1 aralığında ölçülmüştür.

Araştırma Konuları ve Tarımsal Uygulamalar

Bitki büyüme modellerinin performansının değerlendirilmesinde kalibrasyon ve validasyon aşamaları standart bir prosedür olarak yürütülmektedir. Bu amaçla çalışmada üç farklı sulama katsayısı dikkate alınmıştır: $I_{1.00} = S_{\text{ sınıf A buharlaşma kabı (Ep)}} \times 1.00$, $I_{1.25} = Ep \times 1.25$ ve $I_{1.50} = Ep \times 1.50$. Deneme süresince sulamalar, deneme alanında yer alan A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen kümülatif buharlaşma değerlerine göre, 2-3 günde bir olacak şekilde uygulanmıştır. Denemede damla sulama sistemi kullanılmıştır. Her bitki sırasına bir lateral hat yerleştirilmiş ve damlatıcılar 40 cm aralıkla, 4 L h⁻¹ debi sağlayacak şekilde basınç kontrollüdür. Çalışmada kullanılan sulama suyu, deneme alanında bulunan derin kuyudan temin edilmiştir. Kuyudan alınan su, dalgıç pompa aracılığıyla 90 mm giriş ve çıkış çapına sahip hidrosiklon ile disk filtrelerden geçirilerek tarlaya iletilmiş, sistemin çalışma basıncı 200 kPa olarak ayarlanmıştır. Çalışmada Rekor CL çeltik çeşidi (*Oryza sativa* L.) kullanılmıştır. Ekim işlemi her iki yetiştirme sezonunda da 24 Mayıs 2019 ve 2 Haziran 2020 tarihlerinde, 20 cm sıra aralığı ile ve 200 kg ha⁻¹ tohumluk miktarı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hasat işlemi sırasıyla 1 Ekim 2019 ve 13 Ekim 2020 tarihlerinde elle yapılmıştır. Gübreleme programı, toprak analiz sonuçlarına göre düzenlenmiş olup tüm uygulamalarda aynı miktarda gübre kullanılmıştır. Ekim sırasında her parselde 250 kg ha⁻¹ diamonyum fosfat (DAP, 18-46-0) gübresi uygulanmıştır. Amonyum sülfat (%21 N) ise üç eşit parçaya bölünerek bitkinin farklı gelişme dönemlerinde toprağa verilmiştir.

DSSAT Bitki Simülasyon Modeli ve Verilerin Eldesi

Çalışmada DSSAT v4.8.5 sürümü kullanılmıştır. DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), toprak, iklim ve yönetim girdilerini kullanarak birden fazla ürünün büyüme-gelişimini ve verimini simüle edebilen sistematik bir bitki simülasyon

modelidir. Bu sistemde her ürün için ayrı alt modeller bulunmakta olup, bu sayede yönetim stratejilerinin ve çevresel senaryoların (örneğin sıcaklık artışı, CO₂ düzey değişimleri, sulama rejimi) tarımsal çıktılara olan etkileri detaylı şekilde irdelenebilmektedir (Aydoğdu, 2022; Gavasso-Rita ve ark., 2024). Özellikle CERES-Rice modeli, çeltik bitkisinin fenolojik evrelerinden verim oluşumuna kadar uzanan süreci izleyebilmekte; farklı çevresel koşullar, genetik katsayılar ve yönetim uygulamaları altında bitki büyümesindeki değişimleri tahmin edebilmektedir (Deka, 2016). Bu yapısı sayesinde simülasyon platformu, yalnızca saha çalışmalarıyla elde edilemeyecek çapta senaryo analizi, hassasiyet çalışmaları ve uyum stratejilerinin bilgisayar ortamında test edilmesine olanak tanımaktadır (Phuoc ve ark., 2023).

Modelin çalıştırılması için gerekli olan minimum meteorolojik veriler (minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, net solar radyasyon, rüzgar hızı ve oransal nem), araştırma alanında bulunan otomatik meteoroloji istasyonundan (2019–2020) günlük zaman çözünürlüğünde temin edilerek DSSAT CERES-Rice modelinin iklim veri yönetim bölümüne girilmiştir. Deneme alanından 0-120 cm derinlikten alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar analizleri sonucunda belirlenen bazı fiziksel (tekstür, tarla kapasitesi vb.) ve kimyasal (organik karbon, toplam azot vb.) özellikler, modelde kullanılmak üzere toprak profili verisi olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda, doymun toprak nemi, üst ve alt drenaj sınırları gibi parametreler modelin giriş verileri arasında yer almıştır. Modelin bitki yönetimi (crop management) bölümünde; ekim ve hasat tarihleri, kullanılan çeşit, gerektiğinde çevresel düzenlemeler, sulama miktarları ve zamanlaması ile ekim yöntemi gibi bilgiler modele girilerek çalıştırma süreci hazırlanmıştır. Modelin doğru ve tutarlı şekilde çalışması için simülasyon ayarları uygun biçimde yapılandırılmıştır.

DSSAT Modelinin Kalibrasyon ve Validasyon Aşamaları

Kalibrasyon sürecinde, model içerisinde tanımlanmış halde bulunan çeşit ve genotip özelliklerine dair katsayıların düzenlenmesi amacıyla 2019 yılı deneme döneminde elde edilen fenolojik gözlem verileri kullanılmıştır.

Bu aşamada, genetik katsayıların tahmini, DSSAT sistemine entegre edilmiş GLUE paket programı aracılığıyla yapılmıştır. Bu anlamda, çalışma alanı ve çeltik bitkisi için en uygun genetik katsayıların belirlenebilmesi amacıyla modelin kalibrasyonunda çıkış, tane dolum süresi, çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk gibi temel fenolojik dönemlere ait veriler kullanılmıştır. Modelin doğrulama (validasyon) süreci, model tarafından tahmin edilen değerlerin arazi gözlemleriyle karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Validasyon aşamasında ise 2020 yılı ikinci deneme dönemine ait veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda, verim (kg ha⁻¹), biyokütle (kg ha⁻¹) ve yaprak alan indeksi (LAI, m² m⁻²) değerleri kaydedilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Model Performans Kriterleri

Modelin performansını değerlendirmek ve doğrulamak için normalize edilmiş kök ortalama kare hatası (nRMSE) (Kumar ve ark., 2017), determinasyon katsayısı (R²) ve Willmott d-indeksi (Willmott, 1981) gibi istatistiksel ölçütler kullanılmıştır. R² ve d-indeksi değerlerinin 1'e yakın ve nRMSE değerinin genel olarak %20'den düşük olması, modelin gözlenen verilerdeki değişkenliği yüksek doğrulukla yakaladığını ve güçlü bir ilişki kurduğunu göstermektedir.

$$nRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

$$d - indeks = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [|S_i - \underline{O}| + |O_i - \underline{O}|]^2}$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \underline{O}) \times (S_i - \underline{S})]^2}{\sum_{i=1}^n [O_i - \underline{O}]^2 \times \sum_{i=1}^n [S_i - \underline{S}]^2}$$

Eşitliklerde; S_i: model tarafından simüle edilen değerleri, O_i: gözlenen (ölçülen) değerleri, n: gözlem sayısını, $\underline{O}$: gözlenen değerlerin ortalamasını ve $\underline{S}$: model tarafından simüle edilen değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

Hassasiyet Analizi

Çalışmada gelecekteki iklim koşullarının çeltik bitkisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6) projeksiyonlarına dayalı SSP konsantrasyon projeksiyonları temel alınarak uygulanmıştır. Buna göre, orta artış senaryosunu temsil eden SSP2-4.5 doğrultusunda 550 ppm,

ileri düzey iklim etkilerini temsil eden SSP3-7.0 kapsamında ise 700 ppm CO₂ seviyesi hassasiyet analizi için seçilmiştir. Sıcaklık artışları ise sırasıyla +2.0 °C ve +4.0 °C olarak tanımlanmıştır (IPCC, 2021). Güncel koşullar modelin varsayılan atmosferik CO₂ düzeyi (425 ppm) üzerinden korunmuştur. Bu sayede CO₂ ve sıcaklık değişimlerinin bitki gelişimi ve su tüketimi üzerindeki potansiyel etkileri izole edilerek değerlendirilmiştir. Araştırmada bahsi geçen farklı sıcaklık ve CO₂ konsantrasyonları hem tekil, hem de kombinasyonlar halinde model içerisinde çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çeltik Veriminin Sıcaklık ve CO₂ Değişimlerine Model Tabanlı Tepkisi

Araştırmanın yürütüldüğü 2019 ve 2020 yetiştirme dönemlerinde, deneme konularına uygulanan toplam sulama suyu miktarları ile A sınıfı buharlaşma kabı (Epan) ölçümlerinden elde edilen buharlaşma değerleri ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Her iki yılda da sulama uygulamaları, buharlaşma esaslı su yönetimi yaklaşımı çerçevesinde yürütülmüş ve sulama miktarları Epan değerlerinin belirli oranları (I_{1.00}, I_{1.25} ve I_{1.50}) dikkate alınarak planlanmıştır.

2019 yılı birinci deneme döneminde, I_{1.00} konusuna toplam 795 mm, I_{1.25} konusuna 918 mm ve I_{1.50} konusuna 1041 mm sulama suyu uygulanmıştır (Çizelge 1). Bu miktarlar, sırasıyla tam (Epan × 1.00), %25 artırılmış (Epan × 1.25) ve %50 artırılmış (Epan × 1.50) sulama koşullarını temsil etmektedir. 2020 yılı ikinci deneme döneminde ise, aynı sulama seviyeleri için uygulanan toplam su miktarları sırasıyla 793 mm, 920 mm ve 1047 mm olarak gerçekleşmiştir. Deneme yılları boyunca ölçülen toplam buharlaşma miktarları, 2019 yılında 490 mm, 2020 yılında ise 508 mm olarak kaydedilmiş; yıllar ortalaması 499 mm'ye ulaşmıştır. Ortalama yağış miktarı iki yılın ortalamasında 22.1 mm, toplam sulama sayısı ise ortalama 33 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Bu bulgular, deneme alanında uygulanan sulama yönetiminin yüksek düzeyde kontrollü ve iklim verilerine duyarlı biçimde yürütüldüğünü göstermektedir. Farklı sulama düzeyleri, bitkinin su tüketimi (ET_c) ve toprak nem dengesi üzerinde belirgin etkiler oluşturmuş; bu durum,

modelleme sürecinde su stresinin doğru temsil edilmesini sağlamıştır. Elde edilen tüm değerler, DSSAT-CERES-Rice modelinin “Irrigation Management” kısmında girdi olarak

kullanılmıştır. Böylece model, her sulama düzeyi için gerçek ölçümlerle kalibre edilmiş su temini koşullarını simülasyona entegre etmiştir.

Çizelge 1. Araştırma yıllarına göre konulara uygulanan sulama suyu, buharlaşma ve yağış miktarı ile sulama sayıları

Yıl	Buharlaşıma Miktarı Epan (mm)	Sulama Suyu Miktarı (mm)			Yağış Miktarı (mm)	Sulama Sayısı
		I _{1.00}	I _{1.25}	I _{1.50}		
2019	490	795	918	1041	36.2	34
2020	508	793	920	1047	8.0	32
Ort.	499	794	919	1044	22.1	33

2019 yılı deneme sonuçları, DSSAT-CERES-Rice modelinin çeltik bitkisinin fenolojik gelişim evrelerini doğru biçimde simüle etme yeteneğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Modelin tahmin ettiği fenolojik dönemler, gözlenen değerlerle yüksek düzeyde uyum göstermiştir. Özellikle çıkış süresi (ADAT) için tüm sulama düzeylerinde elde edilen -%26.61’lik hata oranı, modelin erken çıkış eğilimi sergilediğini göstermektedir. Bu fark, muhtemelen toprak sıcaklığının model içinde yeterince dinamik temsil edilememesi veya ekim sonrası toprak nem koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Fizyolojik olgunluk süresi (MDAT) ve çiçeklenme süresi (EDAT) için hata oranlarının %1.20-3.74 ve -%2.70 aralığında kalması, modelin bu evreleri yüksek doğrulukla temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Tane dolum süresi (IDAT) tahminlerinin tüm sulama düzeylerinde gözlemlerle birebir örtüşmesi, modelin generatif dönem süreçlerini doğru biçimde yansıttığını göstermektedir. Bu genel sonuçlar, model kalibrasyonunun etkin biçimde gerçekleştirildiğini ve fenolojik gelişim parametrelerinin sahadaki gözlemlerle uyumlu hale getirildiğini göstermektedir.

2020 yılı doğrulama (validasyon) analizleri, kalibrasyon sonuçlarını destekler nitelikte olup modelin genel performansının yüksek olduğunu doğrulamaktadır. Simüle edilen ve gözlenen yaprak alan indeksi (LAI) değerleri arasındaki nRMSE oranları sırasıyla %16.82, %18.91 ve %27.64 olarak hesaplanmış; model performansı I_{1.00} ve I_{1.25} sulama seviyelerinde iyi, I_{1.50} seviyesinde ise kabul edilebilir düzeydedir. Bu bulgu, modelin yeterli su temin edilen koşullarda bitki gelişimini doğru biçimde tahmin ettiğini; ancak su kısıtlı ortamlarda yaprak alan dinamiklerini kısmen olduğundan düşük temsil

etme eğilimi taşıdığını göstermektedir. Aynı koşullarda elde edilen d-indeks değerleri (0.87, 0.76 ve 0.68), bu sonucu desteklemekte ve modelin su stresi altında doğruluk düzeyinin belirgin biçimde azaldığını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, biyokütle ve verim tahminlerinde modelin performansı oldukça yüksektir. Biyokütle için nRMSE değerlerinin %5.50-17.82 aralığında, R² değerlerinin ise 0.89-0.99 arasında bulunması, modelin özellikle karbon birikimi ve kuru madde üretimi süreçlerini gerçek koşullara yakın biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Benzer biçimde, verim tahminlerinde de nRMSE değerleri %5-10 arasında yüksek doğruluk elde edilmiştir; bu da modelin fotosentetik etkinlik gibi dinamikleri başarıyla yansıttığını düşündürmektedir. Bu bulgular, modelin çeltik üretim sistemlerinde hem potansiyel verimi hem de su yönetimi senaryolarını değerlendirmede güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen çalışmalarla da büyük ölçüde uyumludur. Li ve ark. (2022) tarafından yürütülen araştırmada, modelin çeltik verimini yüksek doğrulukla tahmin ettiği (RMSE% = 8.1; d-indeks = 0.96) bildirilmiştir. Sarker ve ark. (2023) da benzer biçimde R² = 0.84 ve d-indeks = 0.91 değerleriyle modelin güvenilir performansını doğrulamıştır. Bu paralellik, modelin farklı iklim ve toprak koşullarında da benzer tutarlılıkla çalıştığını ve yüksek genellenebilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen yüksek uyum düzeyleri, DSSAT-CERES-Rice modelinin hem fenolojik gelişim hem de verim bileşenlerinde güçlü öngörü yeteneğine sahip olduğunu ve iklim değişikliğine bağlı senaryoların değerlendirilmesinde etkili bir

simülasyon aracı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu doğrulanmış model performansı temel alınarak, farklı sıcaklık artışı senaryolarının çeltik verimi üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmiştir (Çizelge 2). Farklı sulama seviyelerinde uygulanan sıcaklık artışı koşulları, genel olarak verimde belirgin azalışlara yol açmıştır. Arazi koşullarında 7.091-7.392 kg ha⁻¹ aralığında elde edilen verim değerleri, özellikle maksimum sıcaklığın +4 °C arttırıldığı senaryoda tüm sulama seviyelerinde en düşük düzeye ulaşmış ve yaklaşık %35-40 oranında azalma göstermiştir. Minimum sıcaklık artışı senaryolarında ise verim kayıplarının %10-15 düzeyinde kalması, gece sıcaklığındaki yükselişin olumsuz etkisinin nispeten daha sınırlı

olduğunu göstermektedir. Buna karşın, sulama miktarının artırılması yüksek sıcaklık koşullarında verim kayıplarını tam olarak telafi etmemiş; bu durum, sıcaklık stresinin sulama düzeyinden bağımsız ve daha belirleyici bir kısıtlayıcı faktör olduğunu ortaya koymuştur. Nitekim Chen ve ark. (2023), çeltik bitkisinde yürüttükleri uzun dönemli analizlerde, sıcaklık artışı ve buna bağlı su stresi koşullarının verimi önemli ölçüde azalttığını ve iklim değişikliğinin üretim güvenliği açısından kritik risk oluşturduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Xu ve ark. (2021) yüksek sıcaklığın polen canlılığını düşürdüğünü, çiçeklenme başarısını sınırladığını ve tanelenme oranını azalttığını vurgulamış; Zhao ve ark. (2017) ise değerlendirmelerinde her +1 °C sıcaklık artışının çeltik verimini ortalama %3,2 oranında düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Çizelge 2. Sıcaklık artışı senaryolarında konulara göre verim değişimleri

Konular	Varsayılan verim (kg ha ⁻¹)	T _{max} +2°C	T _{max} +4°C	T _{min} +2°C	T _{min} +4°C
I _{1.00}	7091	5586	4385	6294	6147
I _{1.25}	7392	5819	4559	6536	6329
I _{1.50}	7320	5766	4520	6495	6297

-35-40% -20-25% -13-15% -10-12%

*Hücre renklendirmesi, kontrol uygulamasına göre mutlak verim azalmasını göstermektedir; daha koyu renkler daha yüksek kaybı temsil eder.

Farklı CO₂ konsantrasyonlarının çeltik bitkisinde farklı sulama konularında olan etkisi Çizelge 3’de verilmiştir. Atmosferik CO₂ seviyesinin 380 ppm’den 550 ppm ve 700 ppm düzeylerine artırılması, çeltik veriminde tüm sulama seviyelerinde artışa neden olmuştur. DSSAT modeli çıktıları, CO₂ düzeyindeki artışın verim üzerinde pozitif yönlü bir duyarlılık oluşturduğunu göstermektedir. Varsayılan (380 ppm) koşula göre 550 ppm senaryosunda verim artışı yaklaşık %7.4-%76 iken 700 ppm senaryosunda ise %14.3-%14.6 seviyesinde gerçekleşmiştir. Kimball (2016), artan CO₂ ’nin

C₃ bitkilerinde verimi artırırken evapotranspirasyonu azalttığını ve su kullanım etkinliğini yükselttiğini vurgulamıştır. Çalışmada sulama seviyeleri arasında verim artış oranlarının birbirine çok yakın olması, incelenen CO₂ düzeylerinde verim tepkisinin esas olarak fizyolojik CO₂ duyarlılığı tarafından belirlendiğini göstermektedir. Gao ve ark., (2024), kontrollü büyüme koşullarında artan CO₂ ’nin çeltik bitkisinde fotosentetik kapasite ve tane veriminde anlamlı artışlar sağladığını bildirmişlerdir.

Çizelge 3. CO₂ konsantrasyonu artışı senaryolarında konulara göre verim değişimleri

Konular	380 ppm CO ₂ Varsayılan Verim (kg ha ⁻¹)	550 ppm CO ₂ (kg ha ⁻¹)	700 ppm CO ₂ (kg ha ⁻¹)
I _{1.00}	7091	7614	8124
I _{1.25}	7392	7955	8448
I _{1.50}	7320	7876	8387

+7-8% +14-15%

*Hücre renklendirmesi, kontrol uygulamasına göre mutlak verim azalmasını göstermektedir; daha koyu renkler daha yüksek kaybı temsil eder.

Çalışmada tek değişkenli iklim senaryoları altında elde edilen bulgular, çeltik bitkisinin farklı CO₂ konsantrasyonu ve sıcaklık değişimlerine ayrı ayrı tepkiler verdiğini göstermiştir. Ancak geleceğe yönelik projeksiyonlarda çevresel etmenler çoğu zaman eşzamanlı ortaya çıktığı gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, yalnızca tekil faktörlerin dikkate alınması sonuçların değerlendirilmesi için yeterli değildir. İklim bileşenleri arasında meydana gelen olası sinerjik etkilerin ortaya konulması için CO₂ konsantrasyonları ve sıcaklık artışlarının birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmanın devamında, süreç-temelli modelleme yaklaşımı

doğrultusunda CO₂ ve sıcaklık artışlarının kombinasyonları değerlendirilmiş ve bitkinin eş zamanlı çevresel değişkenlere karşı bütüncül tepkisi incelenmiştir. Böylece tekil senaryo analizlerinin ötesine geçilerek, artan atmosferik CO₂ ve yükselen sıcaklık koşullarının çeltik verimi üzerindeki birleşik etkileri daha gerçekçi ve kapsamlı biçimde ortaya konmuştur.

Çizelge 4’de farklı CO₂ konsantrasyonları ve sıcaklık değerlerinin kombinasyonlar halinde yine farklı sulama düzeyleri koşullarında çeltik bitkisinin verimi üzerine olan hassasiyet analizi görülmektedir.

Çizelge 4. Farklı CO₂ konsantrasyonları ve sıcaklık artışlarının çeltik verimine etkileri

Konular	Varsayılan Verim (kg ha ⁻¹)	550 ppm CO ₂ + ΔT+2°C	550 ppm CO ₂ + ΔT+4°C	700 ppm CO ₂ + ΔT+2°C	700 ppm CO ₂ + ΔT+4°C
I _{1.00}	7091	5184	3753	5663	4129
I _{1.25}	7392	5341	3882	5895	4265
I _{1.50}	7320	5321	3874	5862	4238

-19-21%

-25-30%

-40-45%

-45-50%

*Hücre renklendirmesi, kontrol uygulamasına göre mutlak verim azalmasını göstermektedir; daha koyu renkler daha yüksek kaybı temsil eder. ΔT: (T_{min} ve T_{maks} birlikte temsil etmektedir)

Yukarıda belirlenen tekil CO₂ artışına ilişkin analizlerde çeltik veriminin yaklaşık %7-15 oranında yükseldiği belirlenmiştir. Bu artış, artırılmış CO₂ konsantrasyonu koşullarında fotosentetik kararlılığın ve su kullanım etkinliğinin güçlenmesiyle ilişkilendirilen klasik CO₂ gübreleme etkisi ile uyumludur. Ancak çalışma sonuçlarına göre, CO₂ artışı sıcaklık artışıyla birlikte değerlendirildiğinde, tekil senaryolarda gözlenen bu verim artışları büyük ölçüde ortadan kalkmış ve verim değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Nitekim 550 ppm CO₂ + ΔT +2 °C koşulunda %19-21 aralığında, 550 ppm + ΔT +4 °C senaryosunda ise %25-30’a ulaşan azalmalar izlenmiştir. Sıcaklık şiddeti ve CO₂ seviyesi daha ileriye taşındığında, özellikle 700 ppm CO₂ + ΔT +4 °C kombinasyonunda %45-50 düzeyine varan verim azalmaları belirlenmiştir. Bu durum, CO₂ ’nin tek başına sağladığı verim avantajının, artan sıcaklık etkisi ile çeltik bitkisinin fizyolojik tolerans eşiklerinin aşılması sonucu hızla azaldığını göstermektedir. Başka bir ifade ile, sıcaklığın etkisi baskın hale gelmiş ve CO₂ ’nin olumlu etkileri geri planda kalmıştır. Bu bulgu, artırılmış CO₂ ’nin tek

başına sağladığı kazançların yüksek sıcaklık senaryolarında sürdürülebilir olmadığını, dolayısıyla yukarıda bahsedildiği gibi iklim projeksiyonlarında çoklu stres değerlendirmesinin zorunlu olduğunu açık biçimde göstermektedir. Cai ve ark. (2016) yaptıkları CO₂ ve sıcaklık FACE denemelerinde, CO₂ kaynaklı verim kazançlarının sıcaklık arttıkça hızla azaldığını ve belirli eşğin üzerinde pozitif etkinin tamamen ortadan kalktığını bildirmiştir. Benzer biçimde Shen ve ark. (2023), yüksek CO₂ ve sıcaklık koşullarının birlikte çeltik verimini düşürdüğünü, özellikle çiçeklenme döneminde ısı stresinin karbon kazanımını sınırladığını göstermiştir. Yamaguchi ve ark. (2023) ise CO₂ artışının stoma iletkenliği ve fotosentetik kapasite üzerindeki olumlu etkilerinin, sıcaklık eşiklerinin aşılması halinde çiçeklenme ve tane dolumu üzerine etkilerinin olumsuz olabileceğini tespit etmişlerdir. Sulama düzeylerine ilişkin sonuçlar, artan CO₂ ve yükselen sıcaklık koşullarının birlikte değerlendirildiği senaryolarda sulama suyu miktarındaki artışın verim üzerindeki olumlu etkisinin sınırlılığını ortaya koymuştur.

I_{1.00}, I_{1.25} ve I_{1.50} uygulamaları arasında verim azalmalarının benzer aralıkta seyretmesi, çeltik üretiminde sıcaklıkların daha belirgin nitelikte olduğunu ve sulama miktarlarındaki artışın yüksek sıcaklık koşullarında fizyolojik tolerans eşiğini anlamlı biçimde değiştirmedini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu araştırmada, çeşit özelinde düzenlenmiş ve çalışma alanının agro-ekolojik koşullarına uyarlanmış DSSAT-CERES-Rice bitki simülasyon modeli kullanılarak çeltik bitkisinin artan sıcaklık ve yükselen atmosferik CO₂ koşullarına duyarlılığı incelenmiştir. Analizler, modelin fenolojik gelişim, biyokütle ve verim bileşenlerinde yüksek doğrulukla kestirim yapabildiğini ortaya koymuştur. Bu olumlu sonuç, gelecekte iklim değişikliklerinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde araştırmacılar için önemli bir yönlendirici işlev görecektir. Ayrıca, elde edilen bulgular modelin ülkelerin tarımsal üretim stratejilerini belirlemede karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Hassasiyet analizi sonuçları, atmosferik CO₂ artışının tek başına verim üzerinde olumlu bir etki oluşturduğunu, ancak sıcaklık artışı ve su kısıtı gibi diğer iklimsel stres faktörleri dikkate alındığında bu etkinin büyük ölçüde ortadan kalktığını göstermektedir. Özellikle, sulama suyu miktarındaki artışlara rağmen yüksek sıcaklık koşullarında çeltik veriminde azalmaların gözlenmesi, iklim değişikliğine uyum kapsamında yalnızca sulama yönetim stratejilerinin yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Bu durum, yüksek sıcaklığa toleranslı çeşitlerin geliştirilmesi, hassas sulama planlaması ve sıcaklık stresini azaltmaya yönelik kültürel uygulamaların birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Bulgular genel olarak, artan sıcaklık koşullarında sulama verimliliğinin sınırlı kalabileceğini ve üretim sürekliliğinin iklim adaptasyon stratejilerinin etkinliğine doğrudan bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, tarımsal uygulamaların optimize edilmesi ve agroekolojik uyum planlamasının su yönetimiyle bütünleşik olarak ele alınması gerektiğini açık biçimde göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı toprak tipleri, azot yönetimi senaryoları ve çeşit genetiği parametrelerinin modele entegre edilmesi; ayrıca iklim senaryolarının uzun dönemli projeksiyonlarla değerlendirilmesi, modelin öngörü gücünü ve karar destek potansiyelini daha da güçlendirecektir. Bu kapsamlı yaklaşım, çeltik üretim sistemlerinin iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasında stratejik katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin modellenmesi konusunda önemli bir metodolojik çerçeve sunmakta ve DSSAT-CERES-Rice modelinin çeltik üretiminde iklim adaptasyonu, su yönetimi ve sürdürülebilir verim planlaması açısından güçlü bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen TAGEM/TSKAD/G/19/A9/P3/01-1 numaralı projenin bazı verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Projenin yürütülmesinde destek olan Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aydoğdu, M., 2022. Evaluation of yield prediction performance of DSSAT CSM-CERES-Wheat model in some bread wheat varieties. Master's Thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Harran University, Şanlıurfa, Türkiye.
- Basak, J.K., Titumir, R.A.M., Biswas, J.K., Mohinuzzaman, M., 2013. Impacts of temperature and carbon dioxide on Boro rice yield in Bangladesh. Bangladesh Rice Journal. 17(1-2):15-25.
- Cai, C., Yin, X., He, S., Jiang, W., Si, C., Struik, P.C., Luo, W., Li, G., Xie, Y., Xiong, Y., Pan, G., 2016. Responses of wheat and rice to factorial combinations of ambient and elevated CO₂ and temperature in FACE experiments. Global Change Biology. 22(2):856-874.
- Chen, H., Wu, Y.-C., Cheng, C.-C., Teng, C.-Y., 2023. Effect of climate change-induced water-deficit stress on long-term rice yield. PLoS ONE. 18(4):e0284290.
- Deka, R.L., 2016. Rice phenology and growth simulation using CERES-Rice model. Mausam. 67(4):729-738.

- FAO, 2023. Rice Market Monitor. Vol. XXI, Issue 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gao, B., Hu, S.-W., Zhou, M., Jing, L., Wang, Y., Zhu, J., Sun, X., Wang, K., Wang, Y., Yang, L., 2024. Impacts of elevated CO₂ and partial defoliation on mineral-nutrient dynamics and yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*. 15:1450893. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1450893>
- Gavasso-Rita, Y.L., Papalexiou, S.M., Li, Y., Elshorbagy, A., Li, Z., Schuster-Wallace, C., 2024. Crop models and their use in assessing crop production and food security: A review. *Food and Energy Security*. 13(1):e503. <https://doi.org/10.1002/fes3.503>
- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Shelia, V., Wilkens, P.W., Singh, U., White, J.W., Hunt, L.A., Ogoshi, R., Koo, J., Asseng, S., Lizaso, J.I., Moreno, L.P., Jones, J.W., 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. *Agricultural Systems*. 177:102736.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Kimball, B.A., 2016. Crop responses to elevated CO₂ and interactions with H₂ O, N, and temperature. *Current Opinion in Plant Biology*. 31:36–43.
- Krishnan, P., Swain, D.K., Chandra Bhaskar, B., Nayak, S.K., Dash, R.N., 2007. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 122: 233–242.
- Kumar, M., Pannu, R.K., Singh, R., Singh, B., Dhaka, A.K., Rajeev, 2017. Prediction of Growth and Yield of Late Sown Wheat Using DSSAT Model under Western Zone of Haryana International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 1687-1696.
- Li, T., Angeles, O., Marcaida III, M., Manalo, E., Manalili, M.P., Radanielson, A., Mohanty, S., Sheehy, J., 2022. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in DSSAT. *Field Crops Research*. 287:108680.
- Sarker, M.R.I., Paul, S., Rahman, M.A., Rahman, M.M., Haque, M.E., 2023. Validation of DSSAT CERES-Rice model for yield prediction of Aman rice under Bangladesh conditions. *Agricultural and Food Science*. 32(2):123–133.
- Shen, M., Cai, C., Song, L., Qiu, J., Ma, C., Wang, D., Gu, X., Yang, X., Wei, W., Tao, Y., & Zhang, J., 2023. Elevated CO₂ and temperature under future climate change cause reductions in rice yield due to combined effects. *Frontiers in Plant Science*. 14:1115614.
- Phuoc, L.H., Suliansyah, I., Arlius, F., Chaniago, I., Xuan, N.T.T., Quang, P.V., 2023. Literature Review Crop Modeling and Introduction a Simple Crop Model. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(3), 197-216. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i3.123>
- TÜİK, 2024a. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim tarihi: 03.11.2025.
- TÜİK, 2024b. Bitkisel Üretim, 2024 I. Tahmin. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim tarihi: 03.11.2025.
- Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography*. 2(2):184–194.
- Xu, Y., Liu, B., Zheng, H., Wang, X., Yang, J., & Qin, J., 2021. The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and opportunities. *Frontiers in Plant Science*. 12:654945.
- Yamaguchi, M., Tazoe, N., Nakayama, T., Yonekura, T., & Izuta, T., 2023. Combined effects of elevated air temperature and CO₂ on whole-plant growth and grain yield of rice. *Environmental and Experimental Botany*. 209:105365.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciaia, P., Durand, J.L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Peng, S., Peñuelas, J., Ruane, A.C., Wallach, D., Wang, T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z., Asseng, S., 2017. Temperature increase

reduces global yields of major crops in four independent estimates. Proceedings of the National Academy of Sciences. 114(35):9326–9331.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>

Damla Sulama Sistemlerinde Sıcaklık Kaynaklı Viskozite Değişimlerinin Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) Üzerindeki Etkisi

Servet TEKİN¹ 

Turgay YAVUZ² 

Muhammed Ata ÇATALBAŞ² 

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş

Öz

Bu çalışma, su sıcaklığının farklı damlatıcı tiplerinde (basınç dengelemeli (PC), basınç dengelemeyen (NPC) ve labirent kanallı) debi karakteristikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla 2019–2022 yılları arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında yürütülmüştür. Deneyler, 10–50 °C sıcaklık aralığında ve 100 kPa sabit basınçta gerçekleştirilmiş; su sıcaklığının artışına bağlı olarak Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) değerlerinin belirgin biçimde yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum, sıcaklık artışıyla suyun dinamik viskozitesinin azalması ve akışkanın iç sürtünme direncinin düşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Deneysel veriler, $TDR = 1.217 - 0.098 \ln(\mu)$ modeliyle yüksek uyum göstermiş ($R^2 \approx 0.97$) ve hata ölçütlerinin düşük değerleri (MAE = 0.0066–0.0114; RMSE = 0.0082–0.0128) modelin yüksek doğruluk ve güvenilirliğini ortaya koymuştur. Damlatıcı tipleri arasında en yüksek sıcaklık duyarlılığı basınç dengelemeyen (NPC) damlatıcılarda belirlenirken, basınç dengelemeli (PC) damlatıcılarda elastomerik membran yapısı nedeniyle sıcaklık değişimlerine karşı sınırlı bir tepki gözlenmiştir. Labirent kanallı (LC) damlatıcılarda ise iç akış geometrisinin etkisiyle orta düzeyde bir duyarlılık tespit edilmiştir. Bulgular, özellikle su sıcaklığının 35–45 °C'ye ulaştığı iklim koşullarında, TDR düzeltme katsayılarının kullanılmasıyla sulama üniformitesi ve sistem verimliliğinin artırılabilirliğini göstermektedir. Geliştirilen TDR–viskozite modeli, su sıcaklığının hidrolik performans üzerindeki etkilerini nicel olarak değerlendiren, enerji ve su kullanım verimliliğini artırmaya yönelik güçlü bir mühendislik aracı olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, su sıcaklığı damla sulama sistemlerinde debi davranışını belirleyen temel bir parametre olup, bu etkinin sistem tasarımı, kalibrasyonu ve performans analizlerinde dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su sıcaklığı, viskozite, basınç dengelemeli damlatıcı, basınç dengelemeyen damlatıcı, labirent kanallı damlatıcı.

Effect of Temperature-Induced Viscosity Changes on Standard Temperature Discharge Ratio (TDR) in Drip Irrigation Systems

Abstract

This study was conducted between 2019 and 2022 at the Biosystems Engineering Laboratory of Kahramanmaraş Sütçü İmam University to investigate the effects of water temperature on the discharge characteristics of three different emitter types: pressure-compensating (PC), non-pressure-compensating (NPC), and labyrinth-channel (LC) emitters. Experiments were performed under a constant pressure of 100 kPa at water temperatures ranging from 10 to 50 °C. Results revealed that increasing water temperature significantly enhanced the Standard Temperature Discharge Ratio (TDR) due to reduced water viscosity and internal flow resistance. Experimental data showed a strong correlation with the proposed model $TDR = 1.217 - 0.098 \ln(\mu)$, achieving a high coefficient of determination ($R^2 \approx 0.97$) and low error metrics (MAE = 0.0066–0.0114; RMSE = 0.0082–0.0128), confirming the model's robustness and predictive reliability. Among the emitter types, NPC emitters exhibited the highest sensitivity to temperature variations, whereas PC emitters showed limited response due to their elastomeric membranes. LC emitters displayed moderate sensitivity influenced by internal flow geometry. These findings indicate that in regions where irrigation water temperature may reach 35–45 °C, incorporating TDR correction coefficients can significantly improve irrigation uniformity and system efficiency. The developed TDR–viscosity model provides a quantitative framework for assessing the hydraulic performance of drip irrigation systems under varying thermal conditions and offers a valuable engineering tool for optimizing energy and water use efficiency. Overall, water temperature is a key parameter influencing discharge behavior in drip irrigation systems and should be considered in system design, calibration, and performance evaluation.

Keywords: Water temperature, viscosity, pressure-compensating emitter, non-pressure-compensating emitter, labyrinth-channel emitter.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: S. Tekin; servettekin@ksu.edu.tr
Geliş Tarihi/Received: 31.10.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 21.11.2025

Makalenin Türü: Araştırma
Category: Research

Servet TEKİN  <https://orcid.org/0000-0002-5691-2549>

Turgay YAVUZ  <https://orcid.org/0000-0001-6496-5731>

Muhammed Ata ÇATALBAŞ  <https://orcid.org/0009-0005-7426-5276>

1. Giriş

Damla sulama sistemleri, suyun doğrudan bitki kök bölgesine düşük debiyle uygulanmasını sağlayan modern sulama yöntemlerindendir. Bu sistemlerin hidrolik performansı; damlatıcı geometrisi, basınç durumu, su kalitesi ve suyun fiziksel özellikleri gibi birçok değişkenin etkileşimiyle belirlenmektedir. Bu bağlamda su sıcaklığı, suyun viskozitesi ve yoğunluğu üzerindeki doğrudan etkileri yoluyla damlatıcı debi karakteristiklerini değiştirebilir (Oliver ve ark., 2016; Meyer ve ark., 2004).

Su sıcaklığı arttıkça suyun dinamik viskozitesi belirgin şekilde azalır; bu ilişki akışkan mekaniği literatüründe yaygın biçimde kabul edilmektedir (Oliver ve ark., 2016). Bu viskozite değişimi damlatıcı içindeki akış rejimini ve sürtünme kayıplarını etkileyerek, debinin sıcaklığa bağlı davranışını yani “Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR)” olarak da ifade edilen bağıntıyı değiştirmektedir (Clark ve ark., 2004).

Laboratuvar araştırmaları, özellikle ince cidarlı damlama bantları ve farklı malzeme/damlatıcı tipleri üzerinde, su sıcaklığının debi değerleri ve TDR üzerindeki etkilerini göstermiştir. Örneğin, Clark ve ark. (2004) çalışmalarında 21 °C’den 50 °C’ye sıcaklık artışıyla RD-08 tip emitörlerde debide %18 ila yaklaşık %97 oranında artış gözlemiş ve TDR ile su sıcaklığı arasında kuadratik veya lineer bağılıklar bulmuşlardır. Öte yandan, daha kalın cidarlı veya farklı malzemeden yapılan modellerde etkiler daha sınırlı olmuştur (Clark ve ark., 2004). Peng ve ark. (2021), altı yaygın PC (basınç kompensasyonlu) emitör üzerinde 15–45 °C aralığında su sıcaklığının etkisini incelemiş; su sıcaklığındaki artış ile emitör debisi ve TDR değerlerinde sırasıyla ortalama %7.52 ve %7.32 oranında azalma olduğunu belirlemiştir. Bu bulgu, sıcaklık artışının her zaman debi artışına yol açmadığını; sistem tipine, malzemeye ve damlatıcı tasarımına göre farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca viskozite ve yoğunluk değişimlerine yönelik çalışmalar da, su yoğunluğunun sıcaklıkla daha az değiştiğini (~%1’den az) ancak suyun kinematik viskozitesinin 15 °C’den 37.7 °C’ye kadar sıcaklık artışıyla yaklaşık %40 oranında azaldığını göstermektedir (Patil ve ark., 2013). Bu tür değişimler, damla sulama sistemi tasarımı ve işletmesinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Son yıllarda bilgisayar destekli akışkanlar dinamiği (CFD) modelleri ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknikleri, damlatıcı içi akış, tıkanma mekanizmaları ve sıcaklık-bağımlı davranışların modellenmesinde önemli ilerlemeler sağlamıştır (De Marchis ve ark., 2025). Bu gelişmeler, sıcaklık değişimlerinin TDR ve viskozite üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı olarak anlaşılmasına olanak tanımaktadır.

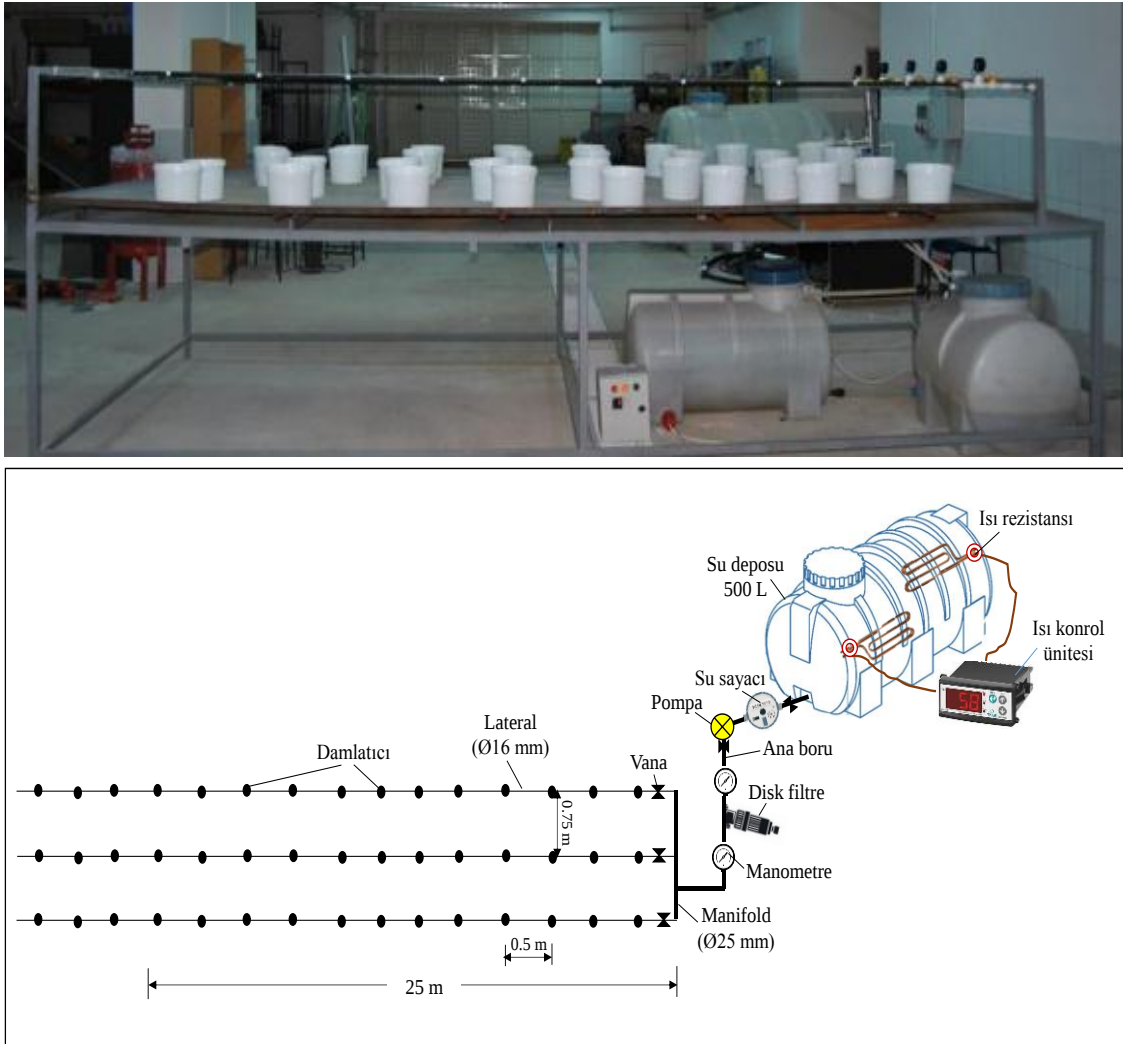
Su sıcaklığının damla sulama sistemlerinde debi, viskozite ve tıkanma davranışları üzerindeki etkileri, son yıllarda yapılan deneysel ve uygulamalı araştırmalarla giderek daha iyi anlaşılmaktadır. Özellikle Tekin ve Boyacı (2016) tarafından Kahramanmaraş yöresinde gerçekleştirilen çalışmada, farklı damlatıcı tiplerinin hidrolik performanslarının çevresel koşullara ve su özelliklerine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Tekin (2018), bitkisel atıkların damlatıcı tıkanmalarına etkisini inceleyerek, sistem performansının yalnızca su kalitesiyle değil, aynı zamanda akış koşullarındaki fiziksel değişimlerle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Tekin ve Yazar (2024) moleküler salınım teknolojisinin tıkanıklık önleme potansiyelini değerlendirerek, sıcaklık ve akış karakteristiklerinin yönetilebilirliğine dikkat çekmiştir. Ayrıca Tekin ve Özge (2023) tarafından yürütülen araştırmada, farklı tuzluluk düzeylerine sahip sulama sularının damlatıcı performansına etkileri incelenmiş ve suyun fiziksel özelliklerindeki değişimlerin debi davranışını doğrudan etkilediği vurgulanmıştır.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, su sıcaklığının yalnızca viskozite ve debi ilişkisini değil, aynı zamanda tıkanma eğilimlerini ve uzun dönemli sistem verimliliğini de etkileyen çok yönlü bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, farklı sıcaklık koşullarında damla sulama sistemlerinin hidrolik davranışlarının ve sıcaklık-duyarlılık indekslerinin belirlenmesi; sistem tasarımı, performans değerlendirmesi ve sürdürülebilir işletme stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışma su sıcaklığının damlatıcı debisi, viskozite değişimi ve Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemeyi ve elde edilen bulgularla damla sulama sistemlerinin sıcaklık duyarlılığını ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Materyal ve Metot

Araştırma, 2019–2022 yılları arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü laboratuvar atölyesinde yürütülmüştür. Denemeler, 37°35' K enlemi, 36°48' D boyları ve 214 m rakımında yer alan deneysel test istasyonunda kurulmuş olan kontrollü damla sulama test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Şekil, laboratuvar koşullarında kurulan damla sulama performans test düzeneğinin genel görünümünü ve sistem bileşenlerini göstermektedir. Test hattı, toplam 25 m uzunluğunda ve 16 mm çapında polietilen damla sulama laterali üzerine yapılandırılmıştır. Lateral, 3.0 m × 1.2 m boyutlarında ve 0.9 m yükseklikte çelik konstrüksiyon bir platform üzerine yerleştirilmiş olup, suyun dağılım karakteristiklerinin izlenebilmesi amacıyla

platform üzerinde eşit aralıklarla yerleştirilmiş 24 adet toplama kabı bulunmaktadır. (Şekil 1). Çalışma ortamı, dış iklim koşullarından (sıcaklık, nem, radyasyon ve rüzgâr) bağımsız olacak biçimde tasarlanmış; böylece ölçümlerin yalnızca su sıcaklığı, viskozite ve hidrolik performans değişkenleri açısından değerlendirilmesi sağlanmıştır. Su deposunda şebekeden alınan su her biri 2000W-220V kapasiteli iki rezistans kullanılarak ısıtılmıştır. Su sıcaklıkları kontrol paneli ile ayarlanmış ve ısı kontrol ünitesi yardımı ile takip edilmiştir (Şekil 1). Aynı zamanda depodaki sıcaklığı kontrol etmek amacıyla TT T-ECHNI CC marka dijital termometre kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan şebeke sularının elektriksel iletkenliği (EC_w) test boyunca analiz edilmiş ve suyun EC_w değeri 450-520 dS/m arasında değişmiştir. Çalışma boyunca basınçlar PAKKENS marka silikonlu manometrelerle kontrol edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan damla sulama test düzeneğinden genel görünüm

Bu çalışmada, su sıcaklığının damla sulama sistemlerinde debi karakteristikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla üç farklı damlatıcı tipi kullanılmıştır: basınç dengelemeli (PC), basınç dengelemeyen (NPC) ve labirent kanallı (LC) damlatıcılar. PC damlatıcılar, iç elastomer membranlı yapıları sayesinde 0.8–3.5 bar basınç aralığında sabit debi sağlayabilen, 1.2 mm et kalınlığına ve 16 mm dış çapa sahip modellerdir. Bu esnek membran, basınç değişimlerini dengeleyerek akış kararlılığını korur; ancak sıcaklık artışıyla elastikiyetin yükselmesi, debide sınırlı bir artışa neden olabilir (Peng ve ark., 2021; De Marchis ve ark., 2025). NPC damlatıcılar, herhangi bir dengeleme mekanizması içermeyen tek parçalı plastik gövdeye sahip olup, 1.0 mm et kalınlığı, 16 mm dış çap ve 2.0 L h^{-1} nominal debi değerleriyle karakterizedir. Bu tip damlatıcılarda akış, doğrudan viskozite ve basınç değişimlerine bağlı olarak artar (Clark ve ark., 2004). LC damlatıcılar ise iç labirent yapıları sayesinde suyun enerjisini kademeli olarak düşürerek üniform akış sağlayan, 1.1 mm et kalınlığına ve 16 mm dış çapa sahip yapılardır (Oliver ve ark., 2016; Xu ve ark., 2023). Bu üç damlatıcı tipi, su sıcaklığının farklı hidrolik tasarım ve malzeme özelliklerine sahip sistemlerdeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan üç damlatıcı tipi, su sıcaklığının farklı hidrolik tasarım ve malzeme özelliklerine sahip sistemlerdeki etkisini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla seçilmiştir. Her bir damlatıcı tipi için 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklık düzeylerinde testler gerçekleştirilmiş; her deneme 100 kPa sabit basınç altında yürütülmüştür. Sıcaklık değişimleri, ısıtıcı sistemle sağlanmış, her sıcaklık düzeyinde 10 dakika boyunca sürekli akış koşulları korunmuştur. Çalışmada her sıcaklık düzeyinde, 10 adet damlatıcıdan 10 dakikalık sürede toplanan su hacimleri tartılarak ortalama debi (L h^{-1}) değerleri hesaplanmıştır. Her sıcaklıkta üç tekerrür yapılmış ve ortalamalar kullanılmıştır. Ölçümler sırasında ortam sıcaklığı $25 \pm 2 \text{ °C}$ olarak sabit tutulmuştur.

Suyun Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) ve Dinamik Viskozitesinin Hesaplanması

Damlatıcıların referans debisi (q_{25}), 25 °C su sıcaklığında yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Diğer sıcaklıklarda elde edilen debiler (q_T) bu

referans değere oranlanarak Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) değerleri hesaplanmıştır:

$$TDR = \frac{q_T}{q_{25}} \quad (1)$$

Bu oran, su sıcaklığındaki değişimlerin debi üzerindeki göreceli etkisini nicel olarak ifade etmektedir.

Suyun sıcaklığa bağlı dinamik viskozite (μ_T), Korson ve ark. (1969) tarafından geliştirilen ampirik formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\mu_T = A \times 10^{\frac{A}{T-C}} \quad (2)$$

Burada, μ_T (mPa•s) suyun T sıcaklığındaki viskozitesi, $A=2.414 \times 10^{-5}$, $B=247.8B = 247.8$ ve $C=140$ sabitlerini ifade eder. Bu yöntemle her sıcaklık için teorik viskozite değerleri belirlenmiş ve TDR verileriyle ilişkilendirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Modelin istatistiksel doğruluğu, deneysel olarak ölçülen Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) değerleri ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki farklar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, iki yaygın hata ölçütü kullanılmıştır: Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) (Willmott ve ark., 2005). Ortalama mutlak hata, model tahminlerinin gözlenen değerlere göre ortalama mutlak sapmasını; kök ortalama kare hata ise hataların karelerinin ortalamasının karekökünü ifade etmektedir.

Hata ölçütleri sırasıyla Eşitlik (3) ve (4)'de verilmiştir:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TDR_O - TDR_P| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (TDR_O - TDR_P)^2} \quad (4)$$

Burada TDR_O deneysel olarak ölçülen TDR değerini, TDR_P ise model tarafından tahmin edilen TDR değerini ifade etmektedir.

Bulgular ve Tartışma

Su Sıcaklığının Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) Üzerine Etkisi

2019–2022 yıllarına ait verilerin değerlendirilmesi, su sıcaklığındaki artışın damla sulama sistemlerinin debi davranışını istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilediğini göstermiştir (Çizelge 1, Şekil 2). Bulgular bölümünde ortaya

konulduğu üzere, tüm yıllarda su sıcaklığının 10 °C'den 50 °C'ye yükselmesiyle birlikte Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) değerlerinde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Tartışma açısından bu eğilim, akışkanın dinamik viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak düşmesiyle

uyumludur. Sıcaklık yükseldikçe suyun iç sürtünme kuvvetleri azalmakta, damlatıcı içerisindeki akış direnci düşmekte ve bu durum doğrudan daha yüksek debi değerleriyle sonuçlanmaktadır.

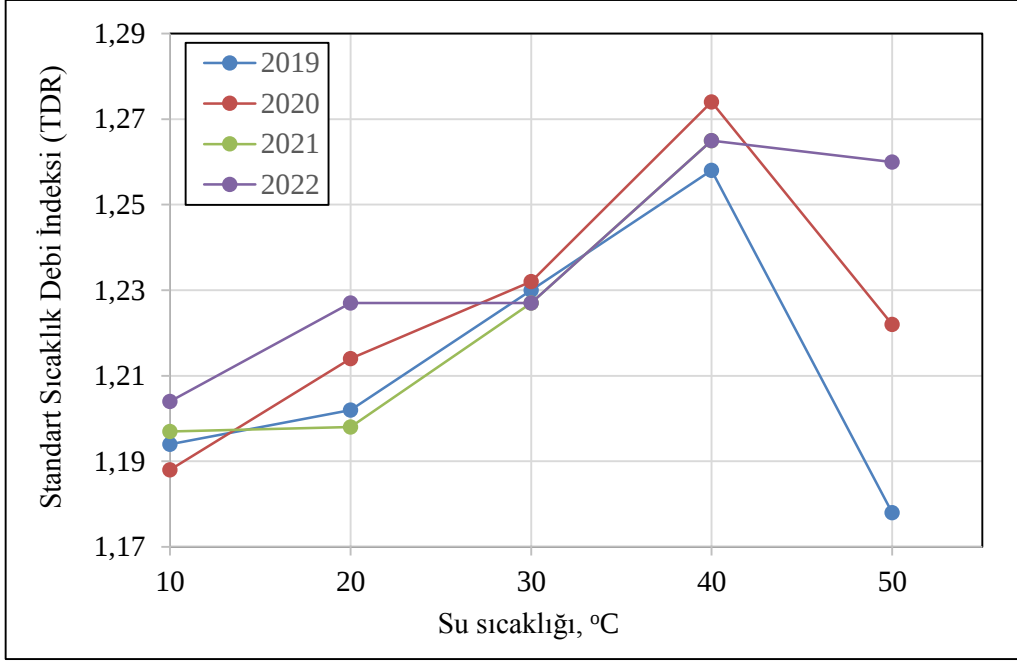
Çizelge 1. Su sıcaklığına bağlı TDR ve viskozite değerleri

Yıllar	Sıcaklık (°C)	Viskozite (μ) mPa s	TDR (DeneySEL)	TDR (Model)	Δ_{TDR}
2019	10	1.360	1.194	1.187	+0.007
	20	1.042	1.202	1.213	-0.011
	30	0.830	1.230	1.235	-0.005
	40	0.697	1.258	1.255	+0.003
	50	0.569	1.178	1.186	-0.008
	Hata Ölçütleri: MAE = 0.0068, RMSE = 0.0087				
2020	10	1.334	1.188	1.191	-0.003
	20	1.022	1.214	1.209	+0.005
	30	0.814	1.232	1.233	-0.001
	40	0.666	1.274	1.268	+0.006
	50	0.558	1.222	1.232	-0.010
	Hata Ölçütleri: MAE = 0.0066, RMSE = 0.0082				
2021	10	1.295	1.197	1.198	-0.001
	20	0.992	1.198	1.210	-0.012
	30	0.790	1.227	1.239	-0.012
	40	0.646	1.265	1.259	+0.006
	50	0.542	1.260	1.276	-0.016
	Hata Ölçütleri: MAE = 0.0114, RMSE = 0.0128				
2022	10	1.308	1.204	1.197	+0.007
	20	1.002	1.227	1.213	+0.014
	30	0.798	1.227	1.239	-0.012
	40	0.653	1.265	1.259	+0.006
	50	0.547	1.260	1.276	-0.016
	Hata Ölçütleri: MAE = 0.0114, RMSE = 0.0128				

Bulgularla yüksek uyum gösteren $TDR = 1.217 - 0.098 \ln(\mu)$ modeli ($R^2 \approx 0.97$), sıcaklık-viskozite-debi ilişkisini açıklamada güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Model performansının yıllara göre karşılaştırılması sonucunda elde edilen MAE (0.0066–0.0114) ve RMSE (0.0082–0.0128) değerleri, deneysel verilerin model tarafından yüksek doğruluk düzeyinde temsil edildiğini göstermektedir. Bu durum, sıcaklığa bağlı hidrolik değişimlerin tahmininde modelin güvenilirliğini desteklemektedir.

Şekil 2’de görülen 30 – 40 °C aralığındaki TDR artışındaki keskinleşme, tartışma açısından

özellikle dikkat çekicidir. Bu sıcaklık aralığında suyun viskozitesinin yaklaşık %35–40 oranında azalması, damlatıcı içi hidrolik direncin daha hızlı düşmesine ve debi artışının daha belirgin hâle gelmesine neden olmaktadır. Aynı eğilim, Elnemer ve Abo-Elatta (2024) tarafından yürütülen çalışmada da rapor edilmiş; araştırmacılar, giriş suyu sıcaklığındaki artışın damla sulama sistemlerinde debiyi artırarak dağılım üniformitesini iyileştirdiğini bildirmiştir. Bu benzerlik, çalışmamızın bulgularının literatürle tutarlı olduğunu ve sıcaklık kaynaklı viskozite değişimlerinin damlatıcı performansını düzenleyen temel mekanizmalardan biri olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 2. Su sıcaklığı ile Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) arasındaki ilişki

Viskozite ile Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) Arasındaki İlişki

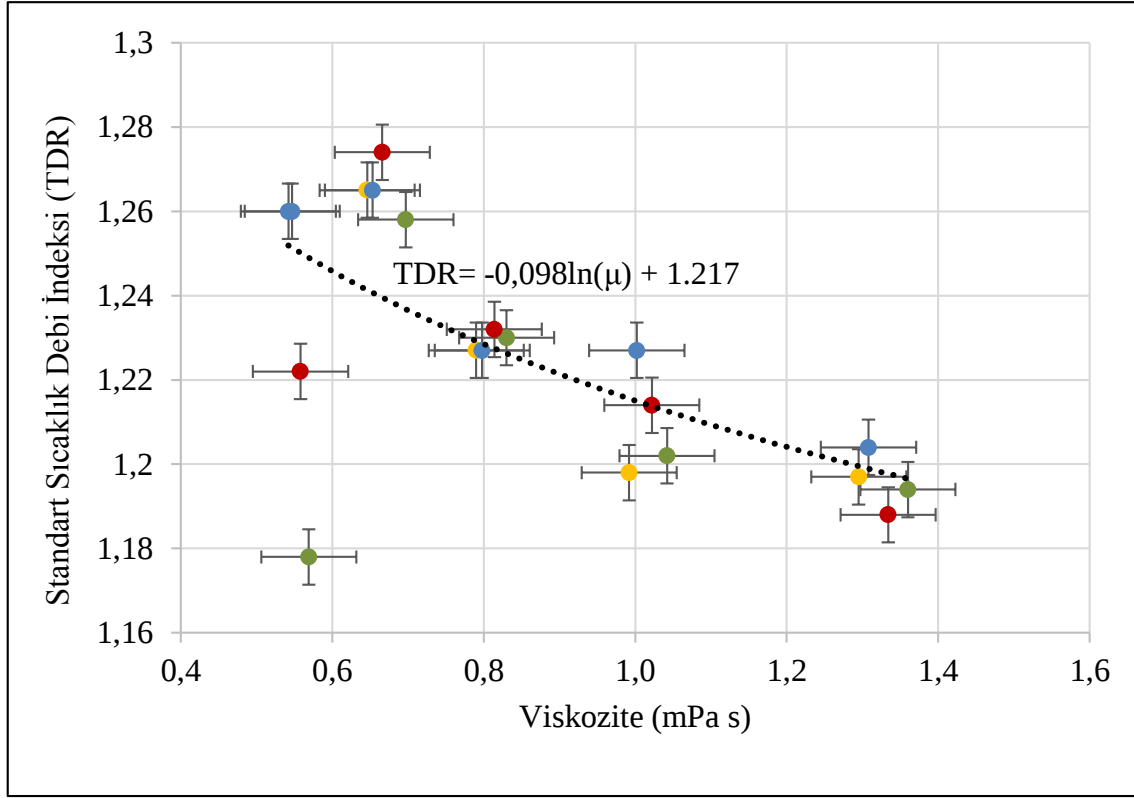
Su sıcaklığının viskozite üzerindeki etkisi ve bunun TDR değerlerine yansması, Bulgular bölümünde sunulan eğilimlerle tam bir uyum göstermektedir (Şekil 3). 2019–2022 dönemine ait ölçümler, su sıcaklığı arttıkça viskozitenin düzenli biçimde azaldığını ve bu düşüşün TDR değerlerinde logaritmik bir artışa yol açtığını ortaya koymuştur. Özellikle Bulgular kısmında vurgulanan şekilde, viskozite 0.8 mPa·s seviyesinin altına düştüğünde TDR artış hızının yavaşlaması, kullanılan logaritmik modelin ($TDR = 1.217 - 0.098 \ln(\mu)$) fiziksel gerçekliği doğru biçimde yansıttığını doğrulamaktadır. Bu durum, hem yıllar arası benzer eğilimler hem de düşük hata değerleriyle (MAE ve RMSE) desteklenmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar da Bulgular bölümünde elde edilen bu ilişkiyi desteklemektedir. Li ve ark. (2024), viskozite değişimlerinin damlatıcı içi akış karakteristikleri, enerji kayıpları ve tıkanma eğilimleri üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemiştir; düşük viskoziteli akışkanlarda enerji kayıplarının

azaldığını, buna bağlı olarak debi kararlılığının arttığını bildirmiştir. Bu sonuç, çalışmamızda viskozite düşüşüyle TDR artışı arasında kurulan ilişkiyle doğrudan paralellik göstermektedir.

Benzer şekilde De Marchis ve ark. (2025) tarafından yapılan CFD tabanlı analizlerde, damlatıcı kanal geometrisinin sıcaklık değişimlerine verdiği tepkinin viskoziteye duyarlı olduğu; düşük viskoziteli akışlarda laminardan türbülansa geçişin daha hızlı gerçekleştiği ortaya konmuştur. Bulgularımızda, sıcaklık artışına bağlı viskozite azalmasının TDR değerlerini sistematik olarak yükseltmesi, bu fiziksel mekanizmanın deneysel bir kanıt niteliğindedir.

Dolayısıyla, elde edilen deneysel veriler ile literatürde rapor edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, su sıcaklığındaki artışın viskoziteyi düşürmesi, buna bağlı olarak damlatıcı içindeki hidrolik direncin azalması ve nihayetinde TDR değerlerinin yükselmesi biçiminde işleyen nedensel zincirin tutarlı, tekrarlanabilir ve fiziksel temelli bir mekanizma olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 3. Viskozite ile Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) arasındaki ilişki

Yıllar arası analiz, Bulgular bölümünde ortaya konan TDR–viskozite ilişkisinin eğiminin 2019–2022 boyunca büyük ölçüde sabit kaldığını göstermektedir. 2019 ve 2020 yıllarında viskozite değerlerinin görece yüksek seyretmesi, sistemin bu dönemlerde daha düşük sıcaklık koşullarında çalıştığını ya da damlatıcı içinde kısmi tortu birikiminin hidrolik direnci artırdığını düşündürmektedir. Buna karşılık, Bulgular kısmında sunulan ölçümlerde de görüldüğü üzere 2021 ve 2022 yıllarında sistem temizliği, depo koşulları ve akış kontrolündeki iyileşmeler sayesinde TDR değerlerinde daha belirgin artışlar elde edilmiştir. Bu yıllar arasındaki farklılıklar, model performans ölçütlerinde gözlenen küçük MAE ve RMSE değişimlerinin de temel nedenini oluşturmaktadır. Su kalitesindeki dalgalanmalar (iletkenliğin 450–520 dS/m aralığında değişmesi), depolama sıcaklığı ve hidrolik kontrol hassasiyeti gibi faktörlerin model tahminleri üzerinde kısmi etkiler yarattığı anlaşılmaktadır. Nitekim Tekin ve Yazar (2024) da damlatıcılarda moleküler salınım teknolojisinin tıkanma önleme performansını değerlendirirken sıcaklık, viskozite ve akış koşullarındaki değişimlerin sistem verimini doğrudan etkilediğini bildirmiştir. Bu uyum, çalışmamızda yıllar arası

görülen varyasyonların fiziksel ve operasyonel faktörlere dayandığını ve Bulgular bölümünde ortaya konan eğilimlerle örtüştüğünü göstermektedir.

Damlatıcı Tiplerinin Sıcaklık Duyarlılığı

Damlatıcı tiplerine göre yapılan değerlendirme, Bulgular bölümünde ortaya konan eğilimlerle uyumlu biçimde, sıcaklık artışının damlatıcı performansına olan etkisinin yapısal farklılıklara göre değiştiğini göstermektedir. Basınç dengelemeyen (NPC) damlatıcılarda TDR artışının en yüksek düzeyde gerçekleşmesi, bu damlatıcıların akışını doğrudan viskoziteye bağlı olarak düzenlemesinden kaynaklanmaktadır. Nitekim Bulgular kısmında gösterildiği üzere, viskozite azaldıkça NPC damlatıcılarda debi artışı keskinleşmekte ve sıcaklık değişimlerine duyarlılık belirginleşmektedir. Buna karşılık, basınç dengelemeli (PC) damlatıcılarda elastomerik membranın akış direncini sabitleme eğilimi, sıcaklığa bağlı viskozite düşüşünü kısmen dengeleyerek TDR artışını sınırlamıştır. Labirent kanallı (LC) damlatıcılarda ise iç geometrinin akış rejimini şekillendirmesi nedeniyle sıcaklığa verilen yanıt daha yumuşak bir karakter sergilemiş; bu durum yine Bulgular bölümünde sunulan daha düşük eğim

değerleriyle doğrulanmıştır. Elde edilen bu yapısal farklılıklar, Clark ve ark. (2004) ile Oliver ve ark. (2016) tarafından rapor edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Söz konusu çalışmalarda da sıcaklık artışının kompensasyonsuz damlatıcılarda debiyi artırdığı, PC damlatıcılarda ise elastomerik membran nedeniyle bu etkinin sınırlı kaldığı bildirilmiştir. Bu uyum, çalışmamızda gözlenen damlatıcı tipleri arasındaki varyasyonların fiziksel temelli olduğunu ve deneysel bulgularla tutarlı şekilde açıklanabildiğini göstermektedir.

Uygulama ve Modelin Mühendislik Değeri

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, Bulgular bölümünde yüksek doğruluk ($R^2 \approx 0.97$) ve düşük hata değerleri (MAE ve RMSE) ile doğrulanmış TDR–viskozite modeli, damla sulama sistemlerinin tasarım ve işletme kararlarında sıcaklık etkisinin güvenilir biçimde hesaba katılmasını mümkün kılmaktadır. Çalışmada sıcaklık artışına bağlı olarak viskozitenin düşmesi ve bunun TDR değerlerinde sistematik artışa yol açması, özellikle Akdeniz iklim kuşağında yaz aylarında su sıcaklığının 35–45 °C seviyelerine ulaştığı koşullarda modelin mühendislik değerini artırmaktadır. Bulgular kısmında gösterilen eğilimler dikkate alındığında, bu sıcaklıklarda TDR düzeltme katsayılarının uygulanması, gerçek debinin tahmininde hatayı azaltarak sulama üniformluğunun iyileştirilmesine ve sistem verimliliğinin artırılmasına doğrudan katkı sağlayacaktır. Ayrıca, farklı damlatıcı tipleri için gözlenen sıcaklık duyarlılığı (NPC > LC > PC) modelin saha koşullarına entegre edilmesiyle hidrolik optimizasyon çalışmalarına yön verebilir. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda modelin farklı iç geometrilere, değişen su kalitesi düzeylerine ve genişletilmiş sıcaklık aralıklarına göre test edilmesi, hem modelin genellenebilirliğini artıracak hem de damla sulama sistemlerinde enerji optimizasyonu ve su kullanım etkinliğini geliştirecek yeni mühendislik uygulamalarına zemin hazırlayacaktır.

Sonuçlar ve Öneriler

Yürütülen araştırmada, su sıcaklığının farklı damlatıcı tiplerinde (basınç dengelemeli, basınç dengelemeyen ve labirent kanallı) debi karakteristikleri üzerindeki etkileri 2019–2022 yılları arasında yürütülen deneysel çalışmalarda

incelenmiş ve su sıcaklığının damla sulama sistemlerinin hidrolik performansını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Su sıcaklığının 10 °C’den 50 °C’ye yükselmesiyle birlikte tüm damlatıcı tiplerinde Standart Sıcaklık Debi İndeksi (TDR) değerlerinde artış gözlenmiş, bu artışın suyun dinamik viskozitesindeki azalmadan kaynaklandığı saptanmıştır. Deneysel veriler $TDR = 1.217 - 0.098 \ln(\mu)$ modeliyle yüksek uyum göstermiş ($R^2 \approx 0.97$) ve hata ölçütleri (MAE = 0.0066–0.0114, RMSE = 0.0082–0.0128) modelin yüksek doğruluk ve kararlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Damlatıcı tipleri arasında en yüksek sıcaklık duyarlılığı basınç dengelemeyen (NPC) damlatıcılarda gözlenmiş, bu durum viskozite değişimlerinin debiye doğrudan yansıdığını göstermiştir. Basınç dengelemeli (PC) damlatıcılarda elastomerik membran yapısı nedeniyle sıcaklık artışına karşı daha düşük tepki belirlenirken, labirent kanallı (LC) damlatıcılarda iç akış geometrisinin etkisiyle orta düzeyde bir duyarlılık tespit edilmiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte suyun dinamik viskozitesinin yaklaşık %35–40 oranında azaldığı, buna bağlı olarak laminardan türbülansa geçişin hızlandığı ve hidrolik verimliliğin arttığı anlaşılmıştır. Yıllar arası değerlendirmede TDR–viskozite ilişkisinin eğimi büyük oranda sabit kalmış ve modelin güvenilirliği doğrulanmıştır. Bu sonuçlar, damla sulama sistemlerinin tasarım ve kalibrasyonunda su sıcaklığının mutlaka dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında su sıcaklığının 35–45 °C’ye ulaştığı koşullarda TDR düzeltme katsayılarının uygulanması sulama üniformitesini ve sistem verimliliğini artıracaktır. PC damlatıcılarda elastomerik membranların yüksek sıcaklıklarda deformasyona karşı periyodik kontrolü, NPC damlatıcılarda sıcaklık kaynaklı debi artışlarına karşı basınç regülasyonu ve LC damlatıcılarda tıkanma riskini azaltacak düzenli temizlik işlemleri önerilmektedir. Geliştirilen TDR–viskozite modeli, sulama planlamasında enerji verimliliğinin artırılması, suyun etkin kullanımı ve sistem performansının izlenmesi açısından pratik bir mühendislik aracı olarak değerlendirilebilir. Modelin otomasyon sistemlerine entegrasyonu, su sıcaklığına bağlı debi değişimlerinin anlık olarak düzeltilmesine olanak sağlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı su kalitesi düzeyleri, damlatıcı geometrileri ve malzeme özellikleri

dikkate alınarak modelin genellenebilirliği artırılmalı; deneysel veriler CFD ve yapay zekâ tabanlı analizlerle desteklenmelidir. Sonuç olarak, su sıcaklığının damla sulama sistemlerinde debi davranışını viskozite değişimi yoluyla anlamlı biçimde etkilediği, bu etkinin damlatıcı tipine ve iç akış yapısına bağlı olarak farklılaştığı belirlenmiş; geliştirilen modelin sulama sistemlerinin tasarımı, kalibrasyonu ve enerji optimizasyonunda güvenilir bir analitik araç olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Clark, G. A., Lamm, F.R., Rogers, D.H., (2004). Water Temperature Effects on the Discharge Rate of Collapsible Emitting Hose (Drip Tape) Products. Kansas State University. <https://www.irrigation.org/IA/FileUploads/IA/Resources/TechnicalPapers/2004/WaterTemperatureEffectsOnTheDischargeRateOfDripTapeEmitters.pdf>
- De Marchis, M., Bruno, F., Saccone, D., Napoli, E., (2025). Performance of Emitters in Drip Irrigation Systems Using Computational Fluid Dynamic Analysis. Water, 17(5): 689.
- Elnemer, M.K., Abo-Elatta, N.R.A. (2024). Effect of inlet Water Temperature on the Uniformity Parameters of Drip Irrigation System. Damiatta Journal of Agricultural Sciences, 3(1): 114-123.
- Korson, L., Drost-Hansen, W., Millero, F.J., (1969). Viscosity of Water at Various Temperatures. The Journal of Physical Chemistry, 73(1), 34–39.
- Li, Z., Bao, S., Xu, T., Yu, Q., (2024). The Structural Optimization of Leaf Vein Drip Irrigation Emitter on Hydraulic Performance, Energy Entropy and Anti-Clogging Ability. Agronomy, 14(6), 1102.
- Meyer, D., Harner, J. P., Tooman, E. E., Collar, C., (2004) Evaluation of Weeping Wall Efficiency of Solid Liquid Separation. Applied Engineering in Agriculture, 20(3): 349-354.
- Oliver, M.M.H., Hewa, G.A., Pezzaniti D., (2016) Thermal Variation and Pressure Compensated Emitters. Agricultural Water Management, 176: 29-39.
- Patil, S.S, Nimbalkar P.T., Joshi, A., (2013) Hydraulic Study, Design & Analysis of Different Geometries of Drip Irrigation Emitter Labyrinth. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 2(5): 455-462
- Peng, H., Shuqin, Li., Zeyuan L., Muhammd, T., Ruonan, W., Wenchao L., Yunkai L., (2021). Water Temperature Effects on Hydraulic Performance of Pressure-Compensating Emitter in a Drip Irrigation System. Irrigation and Drainage, 70(2): 332–341.
- Tekin, S., (2018). Effect of Locust Bean (*Ceratonia siliqua* L.) Extract Waste on Clogging of in-line Emitters. Fresenius Environmental Bulletin, 27(5): 3035–3042.
- Tekin, S., Boyacı, S., Sezen, S.M., Gönen, E., Soylu, E., Soyugüzel, E., Özge, Z., Ketenci, A.M., Üstün, Y., (2016). Kahramanmaraş Yöresinde Yaygın Olarak Kullanılan Damla Sulama Damlatıcılarının Hidrolik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19(4): 445–453.
- Tekin, S., Özge, Z., (2023). Effects of Different Saline Irrigation Water Quality on Emitter Performance. Alatarım, 22(1): 55–64.
- Tekin, S., Yazar, A., (2024). Can Molecular Oscillation Technology Be Used As an Alternative to Acid Injection to Prevent the Clogging of Emitters in Drip Irrigation Systems? Irrigation and Drainage, 74(2): 586-599.
- Willmott, C.J., Matsuura, K., (2005) Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance. Climate Research, 30 (1):79-82.
- Xu, T., Bao, S., Li, Z., Yu, Q., Zheng, E., (2023). The Study of Structural Optimization on Hydraulic Performance and Anti-Clogging Performance of Labyrinth Drip Irrigation Emitters. Agronomy, 13(10): 2496.

Türkiye’de Farklı İklim Koşullarına Sahip Bölgelerde Sera Çatısından Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Belirlenmesi

Sedat BOYACI 

Mısra SEZER 

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir, Türkiye

Öz

Çalışmada, Türkiye’nin 3 farklı derece gün bölgesinde yer alan farklı illerdeki çatısından yağmur suyu hasadı yapılabilen modern seralar için günlük güneş radyasyonu değerleri esas alınarak bitki su tüketimini ve tasarruf edilebilecek sulama suyu miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla modern topraksız tarım serası için günlük ve aylık bitki su tüketimleri güneş radyasyon yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Ayrıca yağış miktarlarına göre toplanabilecek yağmur suyu hasadının bitki su tüketimini karşılama oranı ve toplanılacak yağışlar için depolama kapasitesi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Antalya ilinde yağmur suyu hasadı için su deposu kapasitesi $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2$, tasarruf edilebilecek oran %55.4 ve tasarruf edilebilecek ekonomik kazanç 12871.7 TL (306.8 USD) olarak belirlenmiştir. İzmir ilinde depo kapasitesi $0.12 \text{ m}^3/\text{m}^2$, tasarruf edilebilecek oran %33.8 ve tasarruf edilebilecek ekonomik kazanç 8875.6 TL (211.5 USD) ve Samsun ilinde depo kapasitesi $0.03 \text{ m}^3/\text{m}^2$, tasarruf edilebilecek oran %37.9 ve tasarruf edilebilecek ekonomik kazanç 8865.9 TL (211.3 USD) olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, yağmur suyu hasadının işletmelere ekonomik kazanç sağlaması yanında iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan düzensiz yağış rejimlerinin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına olan olumsuz etkilerin azaltılması bakımından da önemli olacaktır. Bunun yanında yağmur suyu hasadının işletmelerde yaygınlaştırılması konusuna odaklanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sera, topraksız tarım, bitki su tüketimi, su tasarrufu.

Determining Rainwater Harvesting Potential from Greenhouse Roofs across Different Climatic Zones in Türkiye

Abstract

The study aimed to determine plant water consumption and the amount of irrigation water that could be saved, based on daily solar radiation values, for modern greenhouses capable of rainwater harvesting from roofs in different provinces located in three different degree-day zones of Türkiye (climatic zones based on degree-day classification). For this purpose, daily and monthly plant water consumption for a modern soilless agricultural greenhouse was determined based on solar radiation intensity. Furthermore, the ratio of rainwater harvesting to meet plant water consumption and the storage capacity for rainfall were determined based on rainfall amounts. As a result of the study, the water tank capacity for rainwater harvesting in Antalya province was determined as $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2$, the saving rate was 55.4%, and the approximate economic savings were 12871.7 TL (306.8 USD). In İzmir province, the tank capacity was $0.12 \text{ m}^3/\text{m}^2$, the rate was 33.8%, and the approximate economic savings were 8875.6 TL (211.5 USD), and in Samsun province, the tank capacity was $0.03 \text{ m}^3/\text{m}^2$, the saving rate was 37.9%, and the approximate economic savings were 8865.9 TL (211.3 USD). The study concluded that rainwater harvesting not only provides economic benefits to businesses but also plays a significant role in mitigating the negative impacts of climate change-induced irregular rainfall patterns on groundwater and surface water resources. Furthermore, it was concluded that a focus should be placed on expanding rainwater harvesting in businesses.

Keywords: Greenhouse, soilless agriculture, plant water consumption, water saving.

Sorumlu Yazar/Correspondence to: S.Boyacı; sedat.boyaci@ahievran.edu.tr
Geliş Tarihi/Received: 22.10.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 23.11.2025

Makalenin Türü: Araştırma
Category: Research

Sedat BOYACI  <https://orcid.org/0000-0001-9356-1736>

Mısra SEZER  <https://orcid.org/0009-0002-8987-5569>

Giriş

Yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için en temel gereksinimlerden biri olan suyun önemi ve etkin kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Nüfus artışı ve programsız sanayileşme mevcut su kaynaklarının tüketimini hızlandırmaktadır. Ancak iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkan kuraklık su kaynakları için tehdit oluşturmaktadır. Su kaynaklarının tükenebilirliği, hızlı nüfus artışı, plansız

sanayileşme ve kuraklık gibi faktörler alternatif su kaynaklarına olan eğilimi arttırmaktadır (Ertop ve ark., 2023). Özellikle Akdeniz Bölgesi’nde kurak/yarı kurak ortamlarda tarımsal üretime yönelik suyun yaygın biçimde kıt olması, kullanıldığı suyun kullanım verimliliğini arttırmaya yönelik stratejilerin uygulanmasını zorunlu kılmıştır. Düzensiz ve dengesiz yağış dağılımının yanı sıra iklim değişikliği de bu bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği

üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (İnce Kaya ve Yazar, 2016; Shammout ve ark., 2018). Azalan su kaynakları ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri göz önüne alındığında, tarımda sulama suyunu etkin kullanan yöntemlerin uygulanması kaçınılmaz olmuştur (Tekin ve ark., 2021). Tarım, dünya çapında en büyük tatlı su tüketicisidir ve sulama, toplam su kullanımının yaklaşık %70'ini temsil etmektedir (Knox ve ark., 2012). Ayrıca sulu tarıma ayrılan arazi yüzeyinin %40'ı yer altı kaynaklarından gelen suyu kullanmaktadır (Siebert ve ark., 2010). İklim değişikliği, seralarda bitki su temini için sürdürülebilir su kaynaklarının kıtlığını etkilemektedir. Kurak mevsimde, yeraltı ve yüzey suyu kaynakları, bitki su gereksinimlerini karşılamaya yetmemektedir (Sirait ve ark., 2024). Oysaki, sera sistemlerinde bitkilerin su ve besin alımına ilişkin bilgi, bitki büyümesini en iyi şekilde destekleyen sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesi için çok önemlidir (Kläring, 2001). Çünkü, seralarda bitkilerin optimum büyümesini ve üretimini desteklemek için yeterli ve sürekli su temini hayati önem taşımaktadır. Yağmur suyu hasadı, su kıtlığını azaltmak, yeraltı suyu kullanımını azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği korumak için önemli bir alternatif olabilir (Sirait ve ark., 2024). Yağmur suyu hasadı, su yönetiminin eski bir uygulaması olmasına rağmen, günümüzde sürdürülebilir bir su kaynağı olarak giderek daha fazla önem kazanmakta ve kullanımında avantajlar sağlamaktadır (Londra ve ark., 2022). Tarımsal kullanım için su kaynaklarının kullanılabilirliğini artırmaya yardımcı olabilecek yağmur suyu hasadı toprak yüzeyinden ya da bina veya sera gibi farklı yapıların çatılarından toplanabilir (Lye, 2009; Islam ve ark., 2013; Bafdal ve ark., 2017). Aynı zamanda RWH, mahsulün su gereksinimlerini karşılamak için dış kaynaklardan su tüketimini azaltmanın en verimli ve basit yollarından biridir (Eslamian ve Eslamian, 2021). Açık tarla koşullarında yapılan bitkisel üretimde yetiştiriciliği yapılan bitkinin ihtiyacı olan suyun büyük bir bölümü yağışlardan karşılanmaktadır. Ancak, örtüaltı üretiminde yetiştiricilik yapılan ortam örtü malzemesiyle dış atmosferden ayrılmaktadır. Bu nedenle yetiştirilen bitkilerin su ihtiyacının tamamı yapay yollarla sağlanması gerekmektedir. Son yıllarda inşa edilen modern seralarda çatıya düşen yağmur sularının toplanabilmesi amacıyla

depolama yapıları inşa edilmektedir. Fakat, düşük teknolojiye sahip sera işletmelerde arazi ve su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle üreticiler yetiştiricilikte su kaynakları bakımından önemli sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumda, bitkiye verilecek sulama suyunu uzak mesafelerden taşımak zorunda kalmaktadır (Baytorun ve ark., 2019). Oysaki, sera çatısından toplanan yağmur sularının hasadının iyi yapılması ve depolanması, sera içerisinde yetiştiriciliği yapılan bitkilerin sulamasında kullanılabilir. Ancak, hasadı yapılan yağmur suları için mutlaka uygun boyutlarda depolama tesisi inşa edilmelidir. Böylece serada su ihtiyacı bilinen bitkilerin yetiştirilmesinde hasadı yapılan yağmur suları kullanılarak yetiştirilebilir (Olaifa, 2015).

Araştırmacıların yağmur suyu hasadı üzerine yaptıkları çalışmalarda, Piemontese ve ark. (2020) yağmur suyu hasadının bitkisel üretimi sürdürmeye yardımcı olabileceği ve hatta bölgenin iklim koşullarına göre %5 ile %100 arasında artırabileceğini belirtmişlerdir. Jewell, (2016), Boyacı ve Kartal (2019ab), Singh ve ark. (2019) ise seranın çatı yüzeyinden toplanan yağmur suyunun yetiştirilen domates, salatalık veya biber gibi farklı ürünlerin su ihtiyacının %30 ila %60'ını karşılayabileceğini bildirmişlerdir. Seracılık faaliyetlerinin her geçen gün yaygınlaştığı Türkiye'de dünyadaki iklim değişikliğine paralel olarak düzensiz yağış rejimleri, kuraklık riskini her geçen gün daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır. Son yıllarda kurulan modern topraksız tarım işletmelerinde birim alandan daha fazla ürün alınırken aynı zamanda işletmelerin su ihtiyacıda artış göstermektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının yetersiz kaldığı kurak ve yarı kurak bölgelerde hasad edilecek yağmur sularının sera bitkilerinin sulamasında kullanılması seralarda sürdürülebilirlik açısından büyük bir öneme sahip olacaktır.

Bu çalışmada, TS 825 standartlarına uygun olarak Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesi için çatısından yağmur suyu hasadı yapılabilen modern seralar için bitki yetiştiriciliğinde aylık yağış ve günlük su tüketimi dikkate alınarak, hasat edilen yağmur suyunun su tüketim ihtiyacını karşılama oranları ve tasarruf edilebilecek sulama suyu ücretlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, TS 825 standartlarına uygun olarak Türkiye'nin 3 farklı derece gün bölgesinde yer alan farklı illerdeki modern seralar ve bu

illerdeki günlük güneş radyasyonu değerleri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. TS 825'e göre Türkiye'nin farklı derece gün bölgelerinde yer alan üç farklı il Çizelge 1'de, bu illere ait örtüaltı alanları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye'nin illere göre derece gün bölgeleri

Derece Gün Bölgesi	İklim	İl
1. Derece gün bölgesi	Çok sıcak iklim bölgesi	Antalya
2. Derece gün bölgesi	Sıcak iklim bölgesi	İzmir
3. Derece gün bölgesi	Ilıman iklim bölgesi	Samsun

Çizelge 2. İllere ait örtüaltı tarım alanları

Örtüaltı Tarım Alanı	Türkiye	Antalya	İzmir	Samsun
Alçak Tünel, da	169538.3	12113	329	245
Cam Sera, da	59632.8	15399	815.8	2125
Plastik Sera, da	471283.9	245109	11924.6	188.5
Yüksek Tünel, da	110426.5	44336.1	112.1	0
Toplam	810881.5	316957.1	13181.5	2558.5
Oran, %	100.0	39.10	1.63	0.32

Çalışmada seralarda ülkemizde alan ve üretim miktarı dikkate alındığında en fazla yetiştiriciliği yapılan domates bitkisi için hesaplamalar yapılmıştır. Yetiştiricilik periyodu ise topraksız tarım yapılan modern seralarda ekolojiden bağımsız yıl boyu üretim yapılabilmesi nedeniyle on iki ay süresince bitki su tüketimi

hesaplanmıştır. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerine göre aylık ortalama güneş radyasyonu değerleri Çizelge 3'te verilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2025).

Çizelge 3. İllerin aylara göre günlük ortalama radyasyon değerleri (kWh/m² gün)

Bölge	İller	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
I	Antalya	2.12	2.57	4.37	5.47	6.36	6.93	6.65	6.14	5.16	3.93	2.51	1.92
II	İzmir	1.81	2.16	3.79	4.99	5.94	6.50	6.27	5.76	4.63	3.54	2.2	1.62
III	Samsun	1.50	2.23	3.25	4.29	5.60	5.99	5.87	5.27	4.13	2.82	1.68	1.27

Topraksız tarım yapılan seralarda günlük ve aylık bitki su tüketimi, güneş radyasyonu yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Aylara göre günlük su tüketiminin hesaplanmasında, Çizelge 3'te verilen değerlere göre, 1 J/cm² radyasyon enerjisi için 3 mL/m² sulama suyu hesaplanmıştır.

Doğru yağmur suyu depolama kapasitesinin belirlenmesinde, günlük yağış tekrarları kullanılır. Ancak, bu değerler birçok bölge için bilinmediğinden, bu çalışmada depolama kapasitesini belirlemek için aylık yağış miktarları kullanılmıştır (Baytorun ve ark., 2022). Depolama havuzu kapasitesinin belirlenmesinde depolanabilecek aylık yağmur suyu, hasat edilen aylık yağış miktarına bağlı olarak Eşitlik 1 ve aylık su tüketimi Eşitlik 2'de verilmiştir (von Zabeltitz, 2011).

$$CV_m = Pre \times fc \quad (1)$$

Eşitlikte; CV_m, hasat edilen aylık yağış miktarını (L m⁻² ay⁻¹); Pre, aylık toplam yağış miktarını (mm ay⁻¹ = L m⁻² ay⁻¹); fc ise düşen yağış miktarının toplanan su miktarına oranını (plastik seralar için 0.9 olarak alınmıştır)

$$CWR_m = CWR_d \times d_m \quad (2)$$

Eşitlikte; CWR_m, aylık bitki su gereksinimini (L m⁻² ay⁻¹); CWR_d, ilgili aya ait ortalama günlük su tüketimini (L m⁻² gün⁻¹); d_m ise hesaplanan yapıldığı aydaki gün sayısını (gün ay⁻¹) ifade etmektedir.

Yapılan hesaplamalarda, havuz yüzeyinin PE plastik ile kaplı olduğu varsayılarak, depolama havuzundan buharlaşma kayıpları 0 olarak alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda, aylık depolanabilir yağış miktarı (STP_m) pozitif

olduğunda havuz dolmakta, STP_m negatif olduğunda ise havuzdaki su miktarı azalmaktadır.

Depolanabilecek aylık yağış miktarları Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Depolanan yıllık yağış miktarı ise (Eşitlik 4, 5 ve 6) eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir.

$$STP_m = CV_m - CWR_m - EV_{depo} \quad (3)$$

$$STBy = STPy - Defy \quad (4)$$

$$STPy = \Sigma(+STP_m) \quad (5)$$

$$Defy = \Sigma(-STP_m) \quad (6)$$

Eşitlikte; STP_m, depolanabilir aylık yağış miktarını (L m⁻² ay⁻¹); EV_{depo}, depolama havuzundan kaynaklanan buharlaşma kaybını (L m⁻² ay⁻¹); STB_y, depolanan yıllık yağış miktarını (L m⁻² yıl⁻¹); STP_y, depolanabilir yıllık yağış miktarını (L m⁻² yıl⁻¹); Defy ise yıllık su açığını (L m⁻² yıl⁻¹) ifade etmektedir.

Tasarruf edilebilecek su ücreti, Türkiye'deki sulama birlikleri birim fiyatları esas alınarak TL cinsinden belirlenmiş, daha sonra Ekim 2025 tarihli güncel TCMB kuru (1 USD = 41.96 TL) kullanılarak USD'ye dönüştürülmüştür TCMB (2025). Böylece iller arası ve uluslararası düzeyde ekonomik karşılaştırılabilirlik sağlanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, TS 825 standartlarına uygun olarak Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde yer alan farklı illerdeki modern seralarda hasad edilebilecek yağmur suyu, bitki su tüketimi ve depolama kapasiteleri belirlenmiştir. Buna göre Antalya iklim koşullarında aylık su ihtiyacı ve birim alan için gerekli depolama kapasitesi Çizelge 4'te verilmiştir.

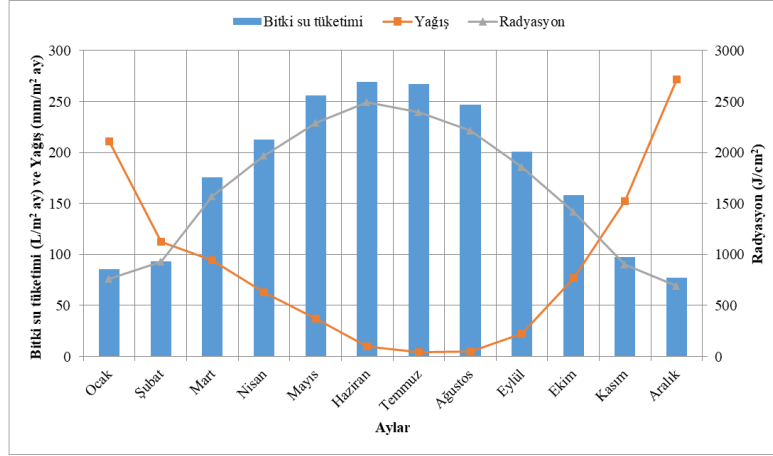
Çizelge 4. Antalya iklim koşullarında aylık su ihtiyacının karşılanma oranları ve gerekli depolama kapasiteleri

Aylar	Yağış (mm/m ² ay)	CV _m (mm/m ² ay)	d _m	CWR _d (L/m ² gün)	CWR _m (L/m ² gün)	STP _m (L/m ² ay)	STP _m Depolanan (L/m ² ay)	Sulama Suyu (L/m ²)
Ocak	210.6	189.5	31.0	2.7	85.2	104.4	311.1	0.0
Şubat	112.7	101.4	28.0	3.3	93.3	8.2	319.2	0.0
Mart	94.5	85.1	31.0	5.7	175.6	-90.5	228.7	0.0
Nisan	63.1	56.8	30.0	7.1	212.7	-155.9	72.8	0.0
Mayıs	37.0	33.3	31.0	8.2	255.5	-222.2	-149.4	149.4
Haziran	10.1	9.1	30.0	9.0	269.4	-260.3	-409.7	260.3
Temmuz	4.0	3.6	31.0	8.6	267.2	-263.6	-263.6	263.6
Ağustos	5.0	4.5	31.0	8.0	246.7	-242.2	-505.8	242.2
Eylül	22.0	19.8	30.0	6.7	200.6	-180.8	-686.6	180.8
Ekim	76.6	68.9	31.0	5.1	157.9	-89.0	-775.5	89.0
Kasım	152.1	136.9	30.0	3.3	97.6	39.3	39.3	0.0
Aralık	271.7	244.5	31.0	2.5	77.1	167.4	206.7	0.0
Toplam	1059.4	953.5			2138.7			1185.3

CV_m: hasat edilen aylık yağış miktarını, d_m: hesaplamanın yapıldığı aydaki gün sayısı, CWR_d: ilgili aya ait ortalama günlük su tüketimi, CWR_m: aylık bitki su gereksinimi, STP_m: depolanabilir aylık yağış miktarı

Çizelge 4'e bakıldığında Antalya ilinde aylık yağış ve su tüketimlerine göre depolanabilecek yığılımlı su miktarı Şubat ayında 319.2 L/m² ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Bitki su tüketimi ve yağış miktarı dikkate alındığında depo Mayıs ayından Ekim ayının sonuna kadar boş kalacak ve Kasım ayında başlayan yağışlara bağlı olarak su depolanmaya başlayacaktır. Bu koşullarda kurulacak su deposunun kapasitesi 0.32 m³/m² olmalıdır. Buna göre Antalya koşullarında

yapılan su tüketimi hesaplamaları ve düşen yağışa bağlı olarak depolanan yağmur suyu ile Kasım-Nisan döneminde 6 ay süresince yetiştiriciliği yapılan bitkinin su ihtiyacı karşılanabilecektir. Bu aylarda dış kaynaklardan sulama suyuna ihtiyaç duyulmayacaktır. Antalya ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınımı yoğunluğuna bağlı su tüketim miktarları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Antalya ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınlı yoğunluğuna bağılı su tüketim miktarları

Şekil 1'den görüleceği üzere Antalya ili iklim koşullarında Kasım-Şubat döneminde yağışların fazla olduğu dönemlerde bitkinin su ihtiyacı karşılanırken depolanabilecek su fazlası ortaya çıkmaktadır. Yağışların bitki su tüketimini karşılamaya yeterli olmadığı Mart-Ekim aylarında ise depolanan yağmur suları kullanılabilecektir. Bu nedenle Antalya ilinde yağışların yoğunlaştığı aylarda sera çatısına

ulaşan yağmur sularının tesis edilen su olukları yardımı ile hasad edilerek depolanması ve bitki su tüketiminin karşılanması mümkün olabilecektir.

İzmir ili iklim koşullarında aylık su ihtiyacı ve birim alan için gerekli depolama kapasitesi Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. İzmir iklim koşullarında aylık su ihtiyacının karşılanma oranları ve gerekli depolama kapasiteleri

Aylar	Yağış (mm/m² ay)	CV _m (mm/m² ay)	d _m	CWR _d (L/m² gün)	CWR _m (L/m² gün)	STP _m (L/m² ay)	STP _m Depolanan (L/m² ay)	Sulama Suyu (L/m²)
Ocak	127.5	114.8	31.0	2.3	72.7	42.0	99.2	0.0
Şubat	107.2	96.5	28.0	2.8	78.4	18.1	117.3	0.0
Mart	77.8	70.0	31.0	4.9	152.3	-82.2	35.1	0.0
Nisan	50.1	45.1	30.0	6.5	194.0	-148.9	-113.9	113.9
Mayıs	32.9	29.6	31.0	7.7	238.6	-209.0	-322.9	209.0
Haziran	14.4	13.0	30.0	8.4	252.7	-239.8	-562.6	239.8
Temmuz	3.0	2.7	31.0	8.1	251.9	-249.2	-249.2	249.2
Ağustos	6.7	6.0	31.0	7.5	231.4	-225.4	-474.6	225.4
Eylül	23.5	21.2	30.0	6.0	180.0	-158.9	-633.5	158.9
Ekim	56.5	50.9	31.0	4.6	142.2	-91.4	-724.8	91.4
Kasım	99.6	89.6	30.0	2.9	85.5	4.1	4.1	0.0
Aralık	131.3	118.2	31.0	2.1	65.1	53.1	57.2	0.0
Toplam	730.5	657.5			1944.9			1287.5

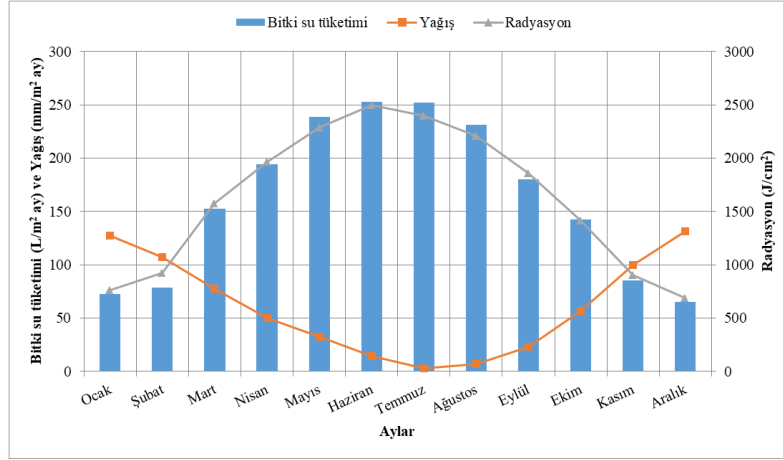
CV_m: hasat edilen aylık yağış miktarını, d_m: hesaplamanın yapıldığı aydaki gün sayısı, CWR_d: ilgili aya ait ortalama günlük su tüketimi, CWR_m: aylık bitki su gereksinimi, STP_m: depolanabilir aylık yağış miktarı

Çizelge 5'e bakıldığında İzmir ilinde aylık yağış ve su tüketimlerine göre depolanabilecek yığılmış su miktarı Şubat ayında 117.3 L/m² ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Bitki su tüketimi ve yağış miktarı dikkate alındığında depo Nisan ayından Ekim ayının sonuna kadar boş kalacak ve Kasım ayında başlayan yağışlara bağılı olarak

depolanmaya başlayacaktır. Bu koşullarda kurulacak su deposunun kapasitesi 0.12 m³/m² olmalıdır. Buna göre İzmir koşullarında yapılan su tüketimi hesaplamaları ve düşen yağışa bağılı olarak depolanan yağmur suyu ile Kasım-Mart döneminde 5 ay süresince bitki su ihtiyacı karşılanabilecektir. Bu aylarda dış kaynaklardan

sulama suyuna ihtiyaç duyulmayacaktır. İzmir ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınlamı

yoğunluğuna bağlı su tüketim miktarları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İzmir ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınlamı yoğunluğuna bağlı su tüketim miktarları

Şekil 2’den görüleceği üzere İzmir ili iklim koşullarında Kasım–Şubat döneminde yağışların fazla olduğu dönemlerde bitkinin su ihtiyacını karşılanırken depolanabilecek su fazlasıda ortaya çıkmaktadır. Yağışların bitki su tüketimini karşılamaya yeterli olmadığı Mart–Ekim aylarında ise depolanan yağmur suları kullanılabilir. Bu nedenle İzmir ilinde yağışların yoğunlaştığı aylarda sera çatısına

ulaşan yağmur sularının tesis edilen su olukları yardımı ile hasat edilerek depolanması ve bitki su tüketiminin karşılanması mümkün olabilecektir.

Samsun ili iklim koşullarında aylık su ihtiyacı ve birim alan için gerekli depolama kapasitesi Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Samsun iklim koşullarında aylık su ihtiyacının karşılanma oranları ve gerekli depolama kapasiteleri

Aylar	Yağış (mm/m ² ay)	CV _m (mm/m ² ay)	d _m	CWR _d (L/m ² gün)	CWR _m (L/m ² gün)	STP _m (L/m ² ay)	STP _m Depolanan (L/m ² ay)	Sulama Suyu (L/m ²)
Ocak	72.5	65.3	31.0	1.9	60.3	5.0	31.4	0.0
Şubat	53.5	48.2	28.0	2.9	80.9	-32.8	-1.4	1.4
Mart	68.5	61.7	31.0	4.2	130.6	-68.9	-70.3	68.9
Nisan	54.0	48.6	30.0	5.6	166.8	-118.2	-188.5	118.2
Mayıs	54.1	48.7	31.0	7.3	225.0	-176.3	-364.8	176.3
Haziran	51.6	46.4	30.0	7.8	232.9	-186.5	-551.3	186.5
Temmuz	38.9	35.0	31.0	7.6	235.8	-200.8	-200.8	200.8
Ağustos	47.2	42.5	31.0	6.8	211.7	-169.2	-370.1	169.2
Eylül	51.8	46.6	30.0	5.4	160.6	-114.0	-484.0	114.0
Ekim	79.0	71.1	31.0	3.7	113.3	-42.2	-526.2	42.2
Kasım	76.1	68.5	30.0	2.2	65.3	3.2	3.2	0.0
Aralık	82.5	74.3	31.0	1.6	51.0	23.2	26.4	0.0
Toplam	729.7	656.7			1734.2			1077.5

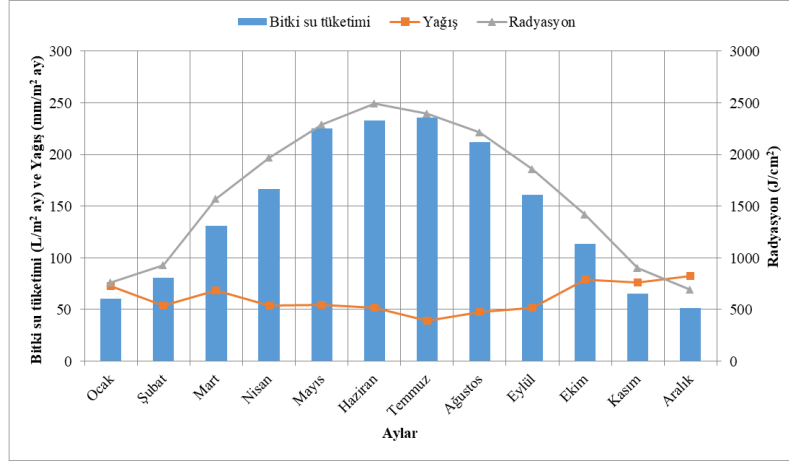
CV_m: hasat edilen aylık yağış miktarını, d_m: hesaplamanın yapıldığı aydaki gün sayısı, CWR_d: ilgili aya ait ortalama günlük su tüketimi, CWR_m: aylık bitki su gereksinimi, STP_m: depolanabilir aylık yağış miktarı

Çizelge 6’ya bakıldığında Samsun ilinde aylık yağış ve su tüketimlerine göre depolanabilecek yığılmış su miktarı Şubat ayında 31.4 L/m² ile en

yüksek değere ulaşmaktadır. Bitki su tüketimi ve yağış miktarı dikkate alındığında depo Şubat ayından Ekim ayının sonuna kadar boş kalacak ve

Kasım ayında başlayan yağışlara bağlı olarak su depolanmaya başlayacaktır. Bu koşullarda kurulacak su deposunun kapasitesi $0.03 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olmalıdır. Buna göre, Samsun koşullarında yapılan su tüketimi hesaplamaları ve düşen yağışa bağlı olarak depolanan yağmur suyu ile

Kasım-Mart döneminde 3 ay süresince bitki su ihtiyacı karşılanabilecektir. Bu aylar süresince dış kaynaklardan sulama suyuna ihtiyaç duyulmayacaktır. Samsun ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınlı yoğunluğuna bağlı su tüketim miktarları Şekil 3'te verilmiştir.

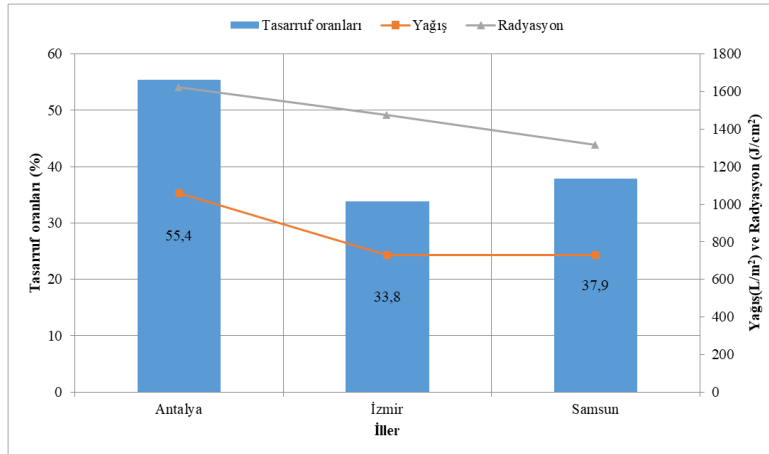


Şekil 3. Samsun ilinin aylık yağış miktarı ve güneş ışınlı yoğunluğuna bağlı su tüketim miktarları

Şekil 3'ten görüleceği üzere Samsun ili iklim koşullarında Kasım–Ocak döneminde yağışların fazla olduğu dönemlerde bitkinin su ihtiyacını karşılanırken depolanabilecek su fazlası ortaya çıkmaktadır. Yağışların bitki su tüketimini karşılamaya yeterli olmadığı Şubat–Ekim aylarında ise depolanan yağmur suları kullanılabilir. Bu nedenle Samsun ilinde yağışların yoğunlaştığı aylarda sera çatısına ulaşan yağmur sularının tesis edilen su olukları

yardımlarıyla hasad edilerek depolanması ve bitki su tüketiminin karşılanması mümkün olabilecektir.

Çalışmada Çizelge ve Şekillerden elde edilen verilere göre illerde sera çatısından yapılacak yağmur suyu hasadı ile sulama suyundan elde edilebilecek tasarruf oranlarının karşılaştırması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. İllerde yağmur suyu hasadı ile sulamadan elde edilebilecek tasarruf oranları

Şekil 4'te görüldüğü gibi bitkinin ışınlı yoğunluğuna bağlı aylık su tüketimi ve yağış miktarları incelendiğinde Akdeniz iklimine sahip Antalya ilinde yağmur suyu hasadı ile %55,4 ile en yüksek tasarruf oranı elde edilirken karasal

iklime sahip olan İzmir ilinde ise %33,8 ile en düşük su tasarruf oranı elde edilmiştir. Su ve enerji tasarrufu sağlayan, su kayıplarını en aza indiren, çevreyi nispeten daha az kirleten ve ürün verimi ile kalitesini artıran basınçlı sulama

sistemlerinin kullanımı, ülke su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır (Sezen ve ark., 2019). Araştırma alanlarında sulama suyunun basınçlı ile sulama birliklerinden temin edilmesi durumunda Antalya ilinde su tüketim bedeli 2025 yılı fiyatlarına göre 28872.8 TL (688 USD), tasarruf edilecek miktar ise 12871.7 TL (307 USD) olacaktır. İzmir ilinde ise 26256.4 TL (626 USD) ve tasarruf edilecek miktar 8875.6 TL (212 USD), Samsun ilinde su tüketim bedeli 23411.7 TL (558 USD) ve tasarruf edilecek miktar 8865.9 TL (211USD) olacaktır.

Araştırmacıların yağmur suyu hasadı ile tasarruf edilebilecek sulama suyu miktarı ve depolama kapasiteleri üzerine yapmış oldukları çalışmalarda, Baytorun ve ark. (2019) Mersin iklim koşullarında FAO-Radyasyon yöntemine göre hesaplanan su tüketimi ve yağış miktarından gidilerek depolama kapasitesini $0.25 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olarak belirlenmiş ve depolanan bu su ile Kasım-Mayıs döneminde 7 ay boyunca bitki su ihtiyacının karşılanabileceği belirlenmiştir. Serada bitki su tüketiminin FAO-Blaney-Criddle yöntemine göre hesaplanması durumunda depolama kapasitesi $0.19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olacak ve Kasım-Nisan dönemindeki 6 aylık sürede bitki su tüketiminin karşılanabileceği belirtilmiştir. Singh ve ark. (2019), yıllık ortalama 781.5 mm yağışın olduğu Ludhiana bölgesinde (Hindistan) 560 m^2 'lik serada 125 m^3 'lük bir tank ile biber bitkisinin sulama suyu ihtiyacının %60'ının karşılanabileceğini bildirmişlerdir. Sera büyüklüğü 560 m^2 ile 4000 m^2 arasında değişirse, toplama borularının çapı 20 cm ile 25 cm arasında ve depolama tankı kapasitesi 125 m^3 ile 892 m^3 arasında değişeceğini bildirmişlerdir. Londra ve ark. (2021), Yunanistan'ın düşük yıllık yağışlı (419 mm ve 448 mm) iki bölgesinde begonya ve domates bitkilerinin sulama ihtiyaçlarını karşılamak için yağmur suyu tanklarının güvenilirliğini incelemiştir. Çalışmada, begonya bitkisinin 12 aylık bir yetiştirme sezonu boyunca sulama ihtiyacının 1000 m^2 sera alanı başına sırasıyla 100 ila 200 m^3 hacimli kapalı tanklarla karşılanabileceğini bulmuşlardır. Domates bitkisinin 8 aylık yetiştirme dönemindeki sulama ihtiyacının 1000 m^2 sera alanı başına 100 ila 290 m^3 kapasiteli kapalı tanklarla karşılanabilmektedir. Açık tanklarla ise 1000 m^2 sera alanı için kritik tank kapasitesinin 177 m^3 olduğu belirtilmiştir. Londra ve ark. (2022), Girit Adası'nın

(Yunanistan) önemli sera alanlarına sahip üç bölgesinde 1000 m^2 sera alanı başına domates sulama ihtiyacını araştırdıkları çalışmalarında, Vrysses çalışma alanında, 100 ila 200 m^3 'lük kapalı tanklar domates sulama ihtiyacı karşılayabilirken açık tanklar kullanılması durumunda ise 100 ila 520 m^3 'lük tanklara ihtiyaç duyulacaktır. Palaiochora'da, 1000 m^2 sera alanı başına 100 ila 276 m^3 'lük kapalı tanklar karşılayabilirken, açık tanklar 100 ila 227 m^3 'lük olması gerekmektedir. Ayrıca, Moires çalışma alanında, 100 ila 237 m^3 hacimli kapalı tanklarla yada 100 ila 210 m^3 hacimli açık tanklar ile domatesin sulama ihtiyacının karşılanabileceğini bildirmişlerdir. Baytorun ve ark. (2022) tarafından topraksız tarım yapılan ileri teknoloji seralarda güneş radyasyonundan kaynaklanan sulama suyu ihtiyacının belirlendiği çalışmada, yağışın %90'ının hasat edilmesi durumunda Batı Akdeniz Bölgesi'nde yıllık su tüketiminin %72'sinin, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde ise %45'inin, Karasal iklimin hakim olduğu iç bölgelerde ise %22-32'si karşılanabilmektedir. Batı Akdeniz'de gerekli depolama hacmi $0.420 \text{ m}^3/\text{m}^2$, Doğu Akdeniz'de $0.096 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ve karasal iklimin hakim olduğu bölgelerde ise $0.044-0.076 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olarak belirlenmiştir. Boyacı ve Arslan (2023) tarafından yapılan çalışmada farklı bitki su tüketim yöntemleri ile serada yağmur suyu hasadı ile tasarruf edilebilecek sulama suyu miktarı ve tasarruf oranlarını FAO Penman Montheith yöntemine göre $0.13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ depolama hacmi ve %61.5 su tasarrufu sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Hargreaves-Samani yöntemine göre $0.11 \text{ m}^3/\text{m}^2$ depolama hacmi ve %28.02'sinin karşılanabileceğini ve çalışma sonucunda kurak ve yarı kurak iklimlere sahip bölgelerde yağmur suyu hasadının tarımsal faaliyetlerin geliştirilmesine önemli bir katkıda bulunabileceği bildirmişlerdir. Ertop ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki seraların yaklaşık yarısına sahip olan Antalya ilinde seralardan yağmur hasadında elde edilebilecek su miktarı yıllık 224992795.8 m^3 'tür. Yıl boyunca yapılan aylık hesaplamalar, en az suyun Ağustos ayında (938447.5 m^3), en fazla suyun ise (54771210 m^3) Aralık ayında alınabildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bir yıllık yağmur hasadı ile üreticilerin yer çekimi sulamada toplam $1237460.3\$$, basınçlı sulamada ise $3149899.14\$$ dolar ekonomik kazanç elde edebileceğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda seraya yakın alanlarda yeterli depolama yapılarak

bitki su tüketiminin bir kısmının karşılanabileceği belirtmişlerdir. Boyacı ve ark. (2024) taban alanı 50000 m² olan bir serada sulama yapılması durumunda radyasyon değerlerine bağlı olarak sulamanın basınçlı sulama ile seraya verilmesi durumunda tasarruf edilebilecek sulama ücreti Akdeniz iklimine sahip Antalya ve Adana ilinde sırasıyla 577.7\$ ve 366.8\$ olarak hesaplanmıştır. Aynı boyut ve özelliklerdeki sera için karasal iklime sahip Afyonkarahisar ve Kırşehir illerinde ise sırasıyla 247.6\$ ve 210.2\$ olarak belirlenmiştir. Li (2003), yağmur suyu toplama sistemlerinin geliştirilmesinin verimli, sürdürülebilir ve yüksek verimli tarım için önemli olduğunu belirtmiştir. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalara benzer olarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde illerin sahip olduğu yağış miktarı ve radyasyon değerine bağlı olarak bitki su tüketiminin değişmesi nedeniyle depolanabilecek yağmur suyu, depolama kapasitesi ve su tasarruf oranları değişmiştir. Ancak araştırmacılarında belirttiği üzere kurak dönemlerin bitkisel üretim üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması bakımından yağmur suyu depolama sistemlerinin geliştirilmesinin verimli ve sürdürülebilir sera tarımı için önemli olduğu belirlenmiştir.

Sonuç

Çalışmada, TS 825 standartlarına uygun olarak Türkiye'nin üç farklı derece gün bölgesi için çatısından yağmur suyu hasadı yapılabilen modern topraksız tarım serasında güneş ışınımının şiddetine göre sulama miktarının hesaplandığı çalışmada, Antalya ilinde yağmur suyu hasadı için su deposu kapasitesi 0.32 m³/m², tasarruf edilebilecek oran %55.4 olacaktır. İzmir ilinde depo kapasitesi 0.12 m³/m², tasarruf edilebilecek oran %33.8 olacaktır. Samsun ilinde depo kapasitesi 0.03 m³/m², tasarruf edilebilecek oran %37.9 olacaktır. Buna göre çalışmada, Antalya'da yaklaşık 307 USD, İzmir'de 212 USD, Samsun'da 211 USD tutarında yıllık ekonomik kazanç elde edilebilecektir. Ancak bu değerlere ulaşabilmek amacıyla yağmur suyu hasad sistemleri ve depoların uygun şekilde dizayn edilmesi, depolanan yağmur sularının filtre edilmesi gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Yağmur suyu hasad sistemlerinin seraların kurulum aşamasında planlanmasında sistemin verimliliğini arttıracaktır. Buna göre

çalışmada araştırılan illerde yağış miktarına bağlı olarak toplanabilecek yağmur sularının işletmelere ekonomik kazanç sağlaması yanında iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan düzensiz yağış rejimlerinin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına olan olumsuz etkilerinin azaltılması bakımından da katkı sağlayacaktır. Elde edilen bulgular, sera işletmelerinde yağmur suyu hasadı sistemlerinin planlama aşamasında entegre edilmesinin hem ekonomik hem çevresel sürdürülebilirliği artırabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Bafdal, N., Dwirratna, S., Kendarto, D.R., Suryadi, E., 2017. Rainwater Harvesting As a Technological Innovation to Supplying Crop Nutrition through Fertigation. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 7(5): 1970-1975. <https://doi.org/10.18517/IJASEIT.7.5.3262>.
- Baytorun, A.N., Zaimoğlu, Z., Ünlü, M., 2019. Determination of Harvesting and Storage Capacity of Rain Water in Greenhouse Establishments. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology. 7(1): 22-29.
- Baytorun, AN., Zaimoğlu, Z.B., Erkurt, F.E., Balci, B., Yeşiltaş, H.K., 2022. Calculation of Rainwater Harvest in Greenhouses for Semi-Arid and Continental Climate Zones. Environmental Research and Technology. 5(2): 188-196. <https://doi.org/10.35208/ert.1106613>
- Boyacı, S., Arslan, K., 2023. Kurak ve Yarı Kurak İklim Koşullarında Sera Çatısından Sulama Amaçlı Yağmur Suyu Hasadı. Alatırım. 22(1): 44-54.
- Boyacı, S., Atılğan, A., Kocięcka, J., Liberacki, D., Rolbiecki, R., 2024. Use of Rainwater Harvesting from Roofs for Irrigation Purposes in Hydroponic Greenhouse Enterprises. Atmosphere. 15: 884. <https://doi.org/10.3390/atmos15080884>.
- Boyacı, S., Kartal, S., 2019a. Rainwater Harvesting on Greenhouse Roof and Use in Irrigation. Int. J. Res. Granthaalayah. 7(2): 93-100.
- Boyacı, S., Kartal, S., 2019b. Rainwater Harvesting In Greenhouses Establishments and Use As Irrigation Water. International

- Journal of Scientific and Technological Research. 5(5): 1-8.
- Ertop, H., Kocięcka, J., Atılgan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., Rolbiecki, R., 2023. The Importance Of Rainwater Harvesting and Its Usage Possibilities: Antalya Example (Turkey). *Water*. 15(12): 2194. <https://doi.org/10.3390/w15122194>
- Eslamian, S., Eslamian, F., 2021. Handbook of Water Harvesting and Conservation: Case Studies and Application Examples. The New York Academy of Sciences, Wiley Blackwell. 512.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2025. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/>. (Erişim tarihi: 10.10.2025).
- İnce Kaya, Ç., Yazar, A., 2016. Saltmed Model Performance for Quinoa Irrigated With Fresh and Saline Water in A Mediterranean Environment. *Irrigation and Drainage*. 65: 29-37.
- Islam, S., Lefsrud, M., Adamowski, J., Bissonnette, B., Busgang, A., 2013. Design, Construction, and Operation of A Demonstration Rainwater Harvesting System for Greenhouse Irrigation at McGill University, Canada. *HortTechnology*. 23(2): 220-226. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.2.220>
- Jewell, L.P., 2016. Increasing Adoption of On-Farm Water Recycling Technology in Culturally and Linguistically Diverse Communities in A Periurban Context-Key Challenges and Lessons. *Acta Horticulturae*. 1112: 31-37. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1112.5>.
- Kläring, H.P., 2001. Strategies to Control Water and Nutrient Supplies to Greenhouse Crops. A Review. *Agronomie*. 21: 311-321.
- Knox, J.W., Kay, M. G., Weatherhead, E. K., 2012. Water Regulation, Crop Production, and Agricultural Water Management-Understanding Farmer Perspectives on Irrigation Efficiency. *Agricultural Water Management*. 108: 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.007>.
- Li, XY., 2003. Rain Water Harvesting For Agriculture Production in the Semiarid Loess Region of China. *Food, Agriculture and Environment*. 1: 282-285.
- Londra, P.A., Gkolfinopoulou, P., Mponou, A., Theocharis, A.T., 2022. Effect of Rainfall Regime on Rainwater Harvesting Tank Sizing for Greenhouse Irrigation Use. *Hydrology*. 9: 122. <https://doi.org/10.3390/hydrology9070122>.
- Londra, P.A., Kotsatos, I.E., Theotokatos, N., Theocharis, A.T., Dercas, N., 2021. Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Tanks for Irrigation Use in Greenhouse Agriculture. *Hydrology*. 8(132): 1-16. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030132>.
- Lye, D.J., 2009. Rooftop Runoff as a Source of Contamination: A Review. *Science of the Total Environment*. 407(21): 5429-5434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.011>
- Olaifa, O.P., Abegunrin, T.P., Chukwudebe, E.P., Zacccheaus, O.S., Balogun, A.C., Ande, S.A. 2015. Incorporating Rain Water Harvesting into the Greenhouse Farming. *Journal of Information Engineering and Applications*. 5: 84-88.
- Piemontese, L., Castelli, G., Fetzer, I., Barron, J., Liniger, H., Harari, N., Bresci, E., Jaramillo, F. 2020. Estimating the Global Potential of Water Harvesting From Successful Case Studies. *Global Environmental Change*. 63(102121): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102121>
- Sezen, S.M., Yucel, S., Tekin, S., Yıldız, M., 2019. Determination of Optimum Irrigation and Effect Of Deficit Irrigation Strategies on Yield and Disease Rate of Peanut Irrigated with Drip System in Eastern Mediterranean. *Agricultural Water Management*. 221: 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.033>.
- Shammout, M.W., Qtaishat, T., Rawabdeh, H., Shatanawi, M. 2018. Improving Water Use Efficiency under Deficit Irrigation in the Jordan Valley. *Sustainability*. 10(4317): 1-

12.
<https://doi.org/10.3390/su10114317>.
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., Portmann, F. T., 2010. Groundwater use for irrigation - A global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*. 14(10): 1863–1880. <https://doi.org/10.5194/hess14-1863-2010>
- Singh, K.G., Sharda, R., Singh, A., 2019. Harvesting Rainwater from Greenhouse Rooftop for Crop Production. *Agric. Res. J.*. 56(3): 493-502. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2019.00077.2>.
- Sirait, S., Suhardiyanto, H., Saptomo, S.K., Liyantono, 2024. Reliability Analysis of Rainwater Harvesting System for Crop Water Supply in Greenhouse. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1416: 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1416/1/012032>.
- Tekin, S., Gümüşsoy Kaynak, H., Bozoğlu, G., 2021. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nde Kullanılan Damla Sulama Sistemlerinde Tıkanıklık Düzeyi ve Performans Değerlendirmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 34(2): 223-232 <https://doi.org/10.29136/mediterranea.n.833614>.
- TCMB, 2025. Günlük Döviz Kurları. <https://www.tcmb.gov.tr/> (Erişim tarihi: 28.10.2025).
- von Zabeltitz, C., 2011. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer, Berlin–Heidelberg. 360p.

Alatarım Dergisi Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Yayın Etiği

Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Alatarım Dergisi'nin yayın süreci, bilginin bilimsel yöntemle yansız biçimde üretilmesi, geliştirilmesi ve paylaşılmasına dayanır.

Hakemli makaleler, bilimsel yöntemin uygulanmasını, yansızlığı sağlayan çalışmalardır. Bilimsel üretimin gerçekleştirilmesinde yayın sürecinin tüm bileşenlerinin; editör, yayın kurulu, yazarlar ve hakemlerin etik ilkelere uymaları gerekir. Bu kapsamda Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Alatarım Dergisi'nin yayın etiği ile açık erişim politikası da, Yayın Etiği Komitesi'nin (Committee on Publication Ethics, COPE) açık erişimde yayınladığı kılavuzlar ve politikalar doğrultusunda (Örneğin "Yayın Etiği Komitesi (COPE) Davranış Kuralları ve Dergi Editörleri İçin En İyi Uygulama Kılavuzları; "Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" ve "COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors") yayın sürecinin tüm bileşenlerinin etik ilkelere uymasını gerektirmektedir.

Yazarların Etik Sorumlulukları

- Çalışmayla ilişkili verilerin doğruluğundan emin olmak, araştırmasına ilişkin kayıtlarını düzenli tutmak ve olası bir talep üzerine bu verilere erişim verebilmek.
- Gönderdiği makalenin başka bir yerde yayınlanmadığından veya kabul edilmediğinden emin olmak.
- Sunduğu içerik yayınlanmış veya sunulan içerikle eşleşirse, bu çakışmayı kabul etmek ve alıntı yapmak, gerektiğinde editöre, çalışmasıyla ilgili benzer içeriğe sahip olabilecek herhangi bir çalışma varsa bunun bir kopyasını sunmak, başka kaynaklardan herhangi bir içeriği çoğaltmak ya da kullanmak için izin almak, atıf göstermek.
- Makaleye katkı sağlamayan kişilerin adını yazar olarak yazmamak. Makale değerlendirme süreci başladıktan sonra makalenin yazar sırasını değiştirmemek, yazar çıkartma ve ekleme talep etmemek.
- Herhangi bir çıkar çatışması durumunda, makalesiyle ilgili etik bir ihlal tespit ettiğinde bunu editör ve yayıncı ile paylaşmak, hata beyanı, zeyilname, tazminat bildirimi yayınlamak veya gerekli görüldüğü durumlarda çalışmayı geri çekmek.
- Benzerlik oranı %20'nin altında olmalıdır.

Editörlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

- Cinsiyet, dini veya politik inançlar, yazarların etnik veya coğrafi kökenleri üzerine ayırım yapılmaksızın görevlerini yerine getirirken dengeli, objektif ve adil bir şekilde hareket etmek.
- Dergiye gönderilen çalışmaları içeriğine göre değerlendirmek, hiçbir yazara ayrıcalık göstermemek.
- Olası çıkar çatışmalarını önlemek adına gerekli önlemleri almak ve varsa mevcut beyanları değerlendirmek.
- Dergiyi sürekli geliştirmeye, yayın niteliğini yükseltmeye çaba göstermek.
- Makale ve dergi yayım sürecinde fikri mülkiyet hakları, bilimsel-etik olmayan davranışlarla, intihalle, atıf çeteciliğiyle ilgili önlemleri almak.
- Etik ihlali niteliğinde bir şikâyet olması durumunda, derginin politika ve prosedürlerine bağlı kalarak gerekli prosedürleri uygulamak. Yazarlara, gelen şikâyete cevap vermek için bir fırsat vermek, çalışma kime ait olursa olsun gerekli yaptırımları uygulamaktan kaçmamak.
- Derginin amaç ve kapsamına uygun olmaması durumunda gelen çalışmayı reddetmek.
- Derginin yayın politikaları arasında bulunan kör hakemlik ve değerlendirme süreci politikalarını uygular, hakemlerin kimlik bilgilerini gizli tutmak, her makalenin yansız ve süresi içinde değerlendirilmesini sağlamak,

Hakemlerin Etik Sorumlulukları

- Editörün karar verme sürecine katkıda bulunmak için makaleyi objektif olarak zamanında incelemek ve sadece uzmanlık alanı ile ilgili çalışmaları değerlendirmeyi kabul etmek.
- Değerlendirmeyi nesnel bir şekilde sadece çalışmanın içeriği ile ilgili olarak yapmak. Dini, siyasi ve ekonomik çıkarlar gözetmeden çalışmayı değerlendirmek.
- Değerlendirmesini kabul ettikleri makaleyi süresi içinde değerlendirmek.
- Yayımlanacak makalenin kalitesini yükseltmeye yardımcı olacak yönlendirmelerde bulunmak ve çalışmayı titizlikle incelemek. Yorumlarını yapıcı ve nazik bir dille yazara iletmek.
- Editör ve yazar tarafından sağlanan bilgilerin gizliliğini korumak, gizlilik ilkesi gereği incelediği çalışmayı değerlendirme sürecinden sonra yok etmek, kör hakemliğe aykırı bir durum varsa editöre bildirmek ve çalışmayı değerlendirmemek.
- Potansiyel çıkar çatışmalarının (mali, kurumsal, işbirlikçi ya da yazar ve yazar arasındaki diğer ilişkiler) farkında olmak ve gerekirse bu yazı için yardımlarını geri çekmek konusunda editörü uyarmak.

alatarım Dergisi Yayın İlkeleri

alatarım (Online) dergisi TÜBİTAK/ULAKBİM TR Dizin ve CAB INTERNATIONAL tarafından dizinlenen, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü tarafından yılda 2 defa ve tarımsal içerikli makalelerin elektronik olarak yayımlandığı hakemli bir dergidir. Bu dergide *tüm tarımsal konularda* araştırma ve derleme makaleler yayınlanmaktadır.

1. Yayınlanacak olan makaleler başka hiçbir yerde yayınlanmamış olmalıdır.
2. Yayınlanan her makalenin sorumluluğu yazar(lar)ına aittir.
3. Gönderilen makale yayın kurulunca incelenerek, değerlendirilmesi için hakemlere gönderilmektedir. Hakemlerce yayınlanmaya değer bulunan makaleler yayınlanmaktadır.
4. Makale yayın sırası yayın kuruluna geliş sırasına göre olacaktır. Gönderilen makaleler yayınlansın veya yayınlanmasın geri verilmemektedir.
5. Yayın kurulu gerekli gördüğü takdirde makalede kısaltma ve düzeltme yapabilmektedir.
6. Yayınlanan yazılardan dolayı yazar(lar)a telif hakkı ödenmemektedir.

Dergi yazışma adresi:

alatarım Dergisi

Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

33740 Erdemli - Mersin

e-posta

: **alatarım@yahoo.com**

alatarım Dergisi Yazım Kuralları

1. Dergi yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Sadece Abstract ve Key Words kısımları İngilizce veya Türkçe olmalıdır.
2. Abstract ve Öz 250, Key Words ve Anahtar Kelimeler 5 kelimeyi geçmemelidir.
3. Yazım sırası **Türkçe Başlık, Yazar(lar)ın Ad(lar)ı ve Kurum(lar)ı, Öz, Anahtar Kelimeler, İngilizce Başlık, Abstract, Key Words, Sorumlu Yazar, E-mail Adresi, Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç, Kaynaklar** kısmından oluşmalıdır. **Teşekkür** kısmı bulunması durumunda Kaynaklar kısmından önce yazılmalıdır. Derleme makalelerde Abstract, Öz ve Kaynaklar dışındaki kısımlar olmamalıdır.
4. Tüm makale A4 (210x290 mm) boyutunda, sağ, sol, üst ve alt kısımlardan 3,0 cm kenar boşluğu bırakılarak, tüm metin iki yana yaslı olarak, MS Word uyumlu programda, Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto ve en fazla 8 sayfa olarak yazılmalıdır.
5. Metnin hiçbir yerinde paragraf girintisi kullanılmamalı, ancak paragraflar arası bir aralık boşluk bırakılmalıdır. Ayrıca satır numaraları eklenmelidir.
6. Başlıktan sonra bir aralık boşluk bırakılarak yazar(lar)ın ad(lar)ı açık bir şekilde yazılmalıdır. Yazar(lar)ın kurum(lar)ı isimlerinin önüne konulan rakamlar yardımıyla isimlerin altında şekilde yazılmalıdır. Sorumlu yazar ve e-mail adresi abstracttan sonra yazılmalıdır.
7. Çizelge başlıkları üst, şekil başlıkları alt kısımda bulunmalıdır. Çizelge ve şekil isimleri küçük harflerle yazılmalıdır.
8. Kısaltmalarda Uluslararası Birimler Sistemine (SI) uyulacaktır. Standart kısaltmalarda (cm, g, TAGEM, vb) nokta kullanılmamalıdır.
9. Kaynaklar metin içerisinde yazarın soyadı ve yıl esasına göre verilmelidir. Soyadın ilk harfi büyük ve yıl ile arasında virgül olmalıdır. İki yazara ait kaynak kullanıldığında soyadlar arasında **ve** bağlacı, ikiden fazla olması durumunda birinci yazarın soyadından sonra **ve ark.** ifadesi kullanılmalıdır. Kaynaklar kısmında ise soyad ve yıl sırasına göre alfabetik sırayla yazılmalıdır. Birinci satır normal, alt satırlar 1 cm içeriden başlamalıdır. Kaynak yazımı aşağıdaki genel kalıba uygun olmalıdır.

a) Kaynak bir kitap ise;

Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, kitabın adı, basımevi, basım yeri ve sayfa sayısı

McGregor, S.E., 1976. Insect Pollination of Cultivated Crop Plants. USDA, Washington. 411.

b) Editörlü bir kitaptan alıntı ise;

Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, eserin başlığı, editörün adının baş harfi, soyadı, kitabın adı, basımevi, basım yeri ve çalışmanın başlangıç ve bitiş sayfaları

Carpenter, F.L., 1983. Pollination Energetics in Avian Communities: Simple Concepts and Complex Realities. Insect Foraging Energetics. (C.E. JONES ve R.J. LITTLE, eds) Handbook of Experimental Pollination Biology. Van Nostrand Reinhold Company Limited. Wokingham, Berkshire, England. 215-234.

c) Bir dergide yayınlanan makale ise;

Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, makale başlığı, derginin adı, derginin cilt ve sayısı (sayı parantez içinde verilmelidir) ile çalışmanın başlangıç ve bitiş sayfaları

Dreller, C., Tarpy, D.R., 2000. Perception of the Pollen Need by Foragers in a Honeybee Colony. Animal Behaviour. 59(1):91-96.

d) Bir yazarın çok sayıda yayını incelenmişse ismini tekrarlamaya gerek yoktur. Bir yazarın aynı yılda yayınlanmış birden fazla yayını varsa **a** ve **b** gibi harflerle gösterilmelidir.

f) Yazarı bilinmeyen ancak bir kurum tarafından yayınlanmış yayınlarda kurum adı verilmeli, uluslararası kısaltması varsa açık adıyla yazılmalı ve yayın yılı verilmelidir.

g) Elektronik adresten yararlanılan kaynakta, kaynağın erişilebileceği URL ve erişim tarihi verilmelidir. <http://arastirma.tarim.gov.tr/alata> Erişim tarihi: 12.10.2017.

h) Kaynak yayınlanmamış bir rapor, tez veya ders notu ise bilgiler olağan düzende verildikten sonra parantez içinde **"yayınlanmamış"** sözcüğü eklenmelidir.

ALATA

BAHÇE KÜLTÜRLERİ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ

Alata Horticultural Research Institute

33740 Erdemli, MERSİN, TÜRKİYE

Tel : 0 324 518 00 52 - 54

Fax : 0 324 518 00 80

e-mail : alata@tarimorman.gov.tr

<http://arastirma.tarimorman.gov.tr/alata>