

Oksalik Asidin Kuraklık Stresindeki Kadife Çiçeklerinin Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi*

Oxalic Acid's Impact on the Morphological, Physiological and Biochemical Characteristics of Marigolds under Drought Stress

 Tuğba KILIÇ¹,  Ezgi DOĞAN MERAL²,  Emine KIRBAY³,
 Hilal Beyza DURSUN⁴,  Soner KAZAZ⁴

Özet

Küresel iklim değişikliği nedeniyle bitkisel tasarımda kuraklığa dayanıklı/tolerant tür ve çeşitlerin tercih edilmesinin yanı sıra bitki toleransının artırılması büyük bir gereklilik haline gelmiştir. Organik asit uygulamalarının abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını artırdığı bilinmektedir. Ancak oksalik asidin stres koşullarına maruz kalan mevsimlik çiçekler üzerindeki etkinliği tam olarak anlaşılmamıştır. Bu çalışmada, oksalik asit uygulamasının kuraklık stresi altındaki kadife çiçeklerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. *Tagetes erecta* L. 'Bali Orange' çeşidine ait F₁ tohumlar kullanılmış ve fide aşamasında yaprakdan püskürtme yöntemiyle 1 mM, 3 mM ve 5 mM konsantrasyonlarındaki oksalik asit çözeltisi uygulanmıştır. Ardından fideler, %100 (optimal sulama) ve %40 tarla kapasitesi (kısıtlı sulama) koşullarında tutulmuştur. Deneme, oksalik asit uygulanmamış kısıtlı sulanan bitkilerin %50'den fazlasında kuraklık belirtileri görüldüğünde sonlandırılmıştır. MDA, klorofil ve prolin içeriği, yaprak alanı, çiçek çapı, bitki boyu, yaprak oransal su içeriği, membran zararlanma indeksi parametreleri incelenmiştir. Kuraklık stresi genel olarak kadife çiçeklerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Buna karşın oksalik asit uygulamaları, kadife çiçeklerinin fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirerek kuraklık stresinin çiçeklerin morfolojik özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmış ve kuraklık stresine toleransı arttırmıştır. Elde edilen sonuçlar, oksalik asidin peyzaj düzenlemelerinde kullanılacak mevsimlik çiçeklerin stres toleransını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kadife çiçeği, oksalik asit, kuraklık stresi, MDA, prolin

Abstract

Due to global climate change, it has become a great necessity to prefer drought-resistant/tolerant species and varieties in plant design and to increase plant tolerance. Organic acid treatments can improve plant tolerance to abiotic stress factors. However, the effectiveness of oxalic acid on seasonal flowers under stress conditions is not fully understood. In this study, the effects of oxalic acid treatment on the morphological, physiological and biochemical characteristics of marigolds under drought stress were investigated. F₁ seeds of *Tagetes erecta* L. 'Bali Orange' variety were used and oxalic acid solution at concentrations of 1 mM, 3 mM and 5 mM was applied by foliar spraying at the seedling stage. Then, the seedlings were kept at 100% (well-watered) and 40% field capacity (limited watering) conditions. The experiment was terminated when drought symptoms were observed in more than 50% of the limited watering plants that had not been treated with oxalic acid. MDA, chlorophyll and proline content, leaf area, flower diameter, plant height, leaf relative water content, membrane damage index parameters were examined. Drought stress generally negatively affected the morphological, physiological and biochemical characteristics of marigolds. On the other hand, oxalic acid treatments improved the physiological and biochemical characteristics of marigolds, reduced the negative effects of drought stress on the morphological characteristics of flowers and enhanced drought stress tolerance. The results showed that oxalic acid has the potential to improve the stress tolerance of seasonal flowers for landscaping.

Keywords: Marigold, oxalic acid, drought stress, MDA, proline

Geliş Tarihi: 29.09.2024, Düzeltme Tarihi: 24.10.2021, Kabul Tarihi: 28.11.2024

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

²Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

³Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri MYO

⁴Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

E-mail: tugba-klc@hotmail.com

1. Giriş

İklim değişikliği, dünya genelindeki sıcaklıkları ve yağış düzenlerini köklü bir şekilde değiştirerek çevresel dengeleri büyük ölçüde etkilemektedir. Özellikle kuraklık olaylarının sıklığı ve şiddeti önemli ölçüde artmaktadır (Seleiman ve ark., 2021). Kuraklık, uzun süreli su eksikliği olarak tanımlanmakta olup, bitkilerin su temininde zorlanmasına neden olmaktadır. Bu durum, bitkilerin stres yaşamasına yol açmakta ve tarımsal üretim üzerinde derin etkiler yaratmaktadır (Kaplunan, 2013; Hussain ve ark., 2019).

Kuraklığın etkileri sadece tarımsal üretimi kısıtlamakla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda bitkisel tasarımda kullanılan süs bitkilerini yönetme konusunda da önemli sorunlara yol açmaktadır (Pichakum ve Pichakum, 2021). Toprak neminin düşmesi ve su kaynaklarının azalması / tükenmesi sonucunda kuraklık stresi yaşayan süs bitkileri, tarımsal ürünlerde görülen morfolojik ve fizyolojik değişikliklere benzer tepkiler göstermektedir. Büyüme ve gelişmenin yavaşlaması, vejetatif (yaprak ve sürgün) ve generatif (çiçek ve meyve) organların oluşumunda gerileme, solgunluk, kuruma, dökülme, doku ve renk değişimleri, verimliliğin azalması gibi belirtiler ortaya çıkabilmektedir. Kuraklık stresinin ilerlemesiyle birlikte, bitki ölümleri de meydana gelebilmektedir (Farieri ve ark., 2016; Toscano ve ark., 2019; Wach ve Skowron, 2022).

Bitkisel tasarımda kullanılan türler için stres tepkilerinin değerlendirilmesi, tarımsal ürünlerdeki gibi büyüme, gelişme ve verim üzerindeki etkilerinden ziyade öncelikle estetik değere dayanmaktadır (Toscano ve ark., 2019). Tasarımı oluşturan türlerin estetik değerini kaybetmesi, tasarımların görsel ve estetik bütünlüğünü bozmakta, genel çekiciliğini ve fonksiyonelliğini olumsuz yönde etkilemekte, hatta ekonomik ve sosyal etkileri ile toplumların yaşam kalitesini azaltmaktadır (Savé, 2007). Dolayısıyla, kuraklığa dayanıklı tasarımların düzenlenmesi, dünya genelinde daha popüler hale gelmiş ve gerekli bir yaklaşım halini almıştır (Taylor, 2020).

Günümüzde ve gelecekte, kuraklığa dayanıklı tasarımların oluşturulması; hem sürdürülebilirliği hem de estetik açıdan memnuniyeti arttıran önemli bir adım olacaktır. Dayanıklı veya toleranslı türlerin seçimi önemli bir strateji olmakla birlikte, genellikle tek başına yeterli değildir. Kuraklığın yoğunluğu, süresi ve öngörülemezliği, stres ile başa çıkmak için bütünsel bir yaklaşım gerektiğini göstermektedir (Seleiman ve ark., 2021). Bütünsel bir strateji, kuraklık koşullarında bitkisel tasarımların kalitesini ve sürdürülebilirliğini koruyabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu stratejinin bir parçası olarak, bitkilerde önemli fizyolojik değişiklikler başlatan moleküller veya bileşikler olarak bilinen elisitörlerin

kullanımı ortaya çıkmaktadır (Baenas ve ark. 2014, Jamiołkowska, 2020). Elisitörler, bitkilerin savunma mekanizmalarını güçlendirerek kuraklık gibi stres faktörlerine karşı toleransı artırabilmekte ve böylece görsel kalitenin korunmasına katkı sağlayabilmektedir (Kılıç, 2023). Elisitörlerin eksojen uygulamasının prolin içeriği, MDA içeriği, membran stabilitesi, klorofil içeriği ve enzim aktivitesi başta olmak üzere birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreç üzerinde olumlu etkileri olduğu saptanmıştır (Kılıç, 2023; Daler ve ark., 2024). Organik asitler, hormonlar, sinyal molekülleri ve reaktif oksijen türleri, doğal ve sentetik polimerler, bitkisel proteinler ve peptitler gibi birçok madde, çalışmalarda sıklıkla kullanılan elisitörler arasında yer almaktadır (Ahmad ve ark., 2019; Panchal ve ark., 2021).

Organik asitler, bitkilerin stres koşullarına karşı tolerans ve dayanıklılık göstermeleri için kritik öneme sahip bileşiklerdir (Yıldırım ve ark., 2022). Organik asitler arasında yer alan oksalik asit, pH ve ozmoregülasyon üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Düşük pKa değerleri nedeniyle, hidrojen iyonlarının serbest bırakılmasını kolaylaştırmakta ve böylece pH dengesini ve ozmotik basıncı düzenleyebilmektedir (Gupta ve ark., 2024). Oksalik asidin, kuraklık stresi dâhil olmak üzere çeşitli stres faktörlerinin neden olduğu hasarı azalttığı, farklı bitki türlerinde gösterilmiştir (Webb ve ark., 1995; Li ve ark., 2022; Çoban ve Aras 2023; Gupta ve ark., 2024). Ancak, süs bitkileri üzerinde oksalik asidin kuraklık stresi ile başa çıkmadaki etkinliği ve bitkilerin estetik değerini korumadaki işlevselliği üzerine yapılmış yeterli araştırma bulunmamaktadır. Süs bitkisi türleri üzerinde yapılacak araştırmalar, oksalik asidin stres yönetimindeki potansiyel yararlarının ve bitkilerin estetik özelliklerini nasıl koruyabileceğinin anlaşılmasına katkıda bulunacaktır. Bu çalışma, bitkisel tasarımlarda sıkça tercih edilen ve popüler bir mevsimlik çiçek olan kadife çiçeklerinde (*Tagetes erecta* L.) kuraklık stresi hasarını azaltmak amacıyla eksojen oksalik asit uygulamalarının etkinliğini incelemeyi amaçlamıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Afrika kadife çiçeği olarak bilinen *Tagetes erecta* F₁ 'Bali Orange' çeşidine ait tohumların ekimi ve fide yetiştiriciliği, doğal gün ışığına sahip, ortalama gündüz/gece sıcaklığı 28°C±1.0 / 16°C±1.0 ve ortalama bağıl nemi %35 olan polikarbonat örtülü bir serada gerçekleştirilmiştir [39°46'24.2"N 34°48'11.7"E] (Anonymous, 2024a).

Ekimden önce tohumlar, %5 (v/v) sodyum hipoklorit çözeltisi kullanılarak yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Ardından torf içeren viyollere ekim yapılmıştır. 4-5 gerçek yaprak görüldüğünde fideler, torf : perlit karışımı (1:1 v/v) ile doldurulmuş potlara şaşırtılmıştır. Şaşırtılan fideler, 30 gün boyunca büyümeye bırakılmıştır. Aynı süreçte, taze

hazırlanmış 1 mM, 3 mM ve 5 mM konsantrasyonlarındaki oksalik asit (Sigma-Aldrich, CAS No: 6153-56-6) çözeltisi, üç hafta boyunca haftada bir kez spreyci uygulama yöntemiyle tüm bitkiye uygulanmıştır. Her uygulamada bitki başına 20 ml çözelti uygulanmış ve Tween 20 (%0.05 v/v) eklenerek spreyci çözeltilerinin bitki yüzeyinde daha iyi tutunması ve daha uzun süre kalması sağlanarak uygulamaların etkinliği artırılmıştır. Kontrol grubu bitkilere Tween 20 ile birlikte saf su uygulanmıştır. Oksalik asit uygulaması, bitkiler strese maruz bırakılmadan önce ve tekrarlamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Strese maruz kalmadan önce elisitör uygulanmasının stresle ilişkili fizyolojik süreçlerde önemli bir iyileşmeye neden olduğu ve belirli aralıklarla tekrar edildiğinde daha etkili olduğu bilinmekle birlikte (Zahedi ve ark., 2020; Asghari ve ark., 2023), tasarım oluşturulduktan sonra elisitör uygulamasının pratik ve ekonomik olmadığı öngörülmüştür.

Fideler, tasarımda kullanım için satışı hazır hale geldiği çiçeklenme aşamasında kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Tarla kapasitesinin %40'ında yapılan sulamanın, Afrika kadife çiçeklerinde tüm morfo-fizyolojik özellikleri önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Arbani ve ark., 2020). Bu nedenle kuraklık stresi, optimal sulama (%100 tarla kapasitesi) ve kısıtlı sulama (%40 tarla kapasitesi) olmak üzere iki farklı seviyede, Earl (2003) tarafından bildirilen gravimetrik substrat su içeriği yöntemi (GSWC) esas alınarak uygulanmıştır. Her pottan günlük su kaybı, temsili bir yetiştirme ortamı örneği kullanılarak aşağıdaki formül ile belirlenmiştir:

$$GSWC (\%) = \frac{\text{Substrat yağ ağırlığı} - \text{Substrat kuru ağırlığı}}{\text{Substrat kuru ağırlığı}} \times 100$$

Denemede kullanılan yetiştirme ortamı, bitki kökleri için gereken hava dengesini sağlamak amacıyla çok fazla sıkıştırılmamış ve orta yoğunlukta hazırlanmıştır. %100 tarla kapasitesinin tespiti için, homojen bir şekilde karıştırılan 2.5 litre torf : perlit ortamı tamamen suya doyurulmuş ve serbest suyun drene edilmesi için bekletilmiştir. Drenaj tamamlandığında, %100 tarla kapasitesine ulaşan substratın yağ ağırlığı saptanmış, 105°C'de tamamen kurutularak ise kuru ağırlığı belirlenmiştir. Ardından, formül yardımıyla yetiştirme ortamının %100 tarla kapasitesine ulaşması için gereken su miktarı hesaplanmıştır. Kuraklık stresi uygulamalarının başlangıcına kadar, tüm bitkiler %100 tarla kapasitesine kadar sulanırken, kuraklık stresi uygulamaları başlatıldığında, kısıtlı sulama yapılan bitkilerde; %100 tarla kapasitesi için gereken su miktarının %40'ı hesaplanarak kısıtlı sulama yapılmıştır. Optimal sulama yapılan bitkilerde ise %100 tarla kapasitesi korunarak sulamaya devam edilmiştir. Tüm sulama uygulamalarında, gübreleme amacıyla günlük olarak verilen

20 ml besin solüsyonunun hacmi, hesaplanan toplam su miktarının hacminden çıkarılmıştır. Her iki haftada bir NPK (20:20:20) ile gübreleme yapılmıştır.

Deneme, oksalik asit uygulanmamış kısıtlı sulama grubundaki fidelerin %50 veya daha fazlasında solgunluk, kuruma, nekroz gibi kuraklık stresi belirtileri görüldüğünde sonlandırılmıştır. Deneme sonunda, bitkilerde morfolojik özellikler olarak bitki boyu (cm), yaprak alanı (mm²) ve çiçek çapı (cm) ile fizyolojik ve biyokimyasal parametreler olarak prolin içeriği (µmol g⁻¹ YA), MDA içeriği (nmol g⁻¹ YA), membran zararlanma indeksi (%), yaprak oransal su içeriği (%) ve klorofil içeriği (SPAD) belirlenmiştir. Ayrıca kuraklık indeksi (%) hesaplanmıştır. Prolin içeriği, Bates ve ark., (1973) tarafından tanımlanan yöntem kullanılarak; MDA içeriği ve membran zararlanma indeksi Lutts ve ark., (1996) tarafından önerilen yöntemle, yaprak oransal su içeriği ise Yamasaki ve Dillenburg (1999) tarafından belirtilen yöntemle ölçülmüştür. Yaprak alanı, ADC BioScientific Alan Ölçer AM 300 cihazı; klorofil içeriği, Konica Minolta SPAD-502 klorofil ölçer cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kuraklık indeksi, Daler ve Uygun (2024) tarafından kullanılan ve OIV (1997) tarafından bildirilen yöntemde 'Fiziksel Zararlanma Derecesi: 1-5 Ölçeği' modifiye edilerek (Çizelge 1) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Kuraklık İndeksi (\%)} = \frac{\sum(\text{bitki} \times \text{skala değeri})}{\text{Toplam bitki} \times \text{en yüksek skala değeri}} \times 100$$

Çizelge 1. Fiziksel zararlanma ölçeği

Fiziksel Zararlanma Tanımı		Skala Değeri
Yüksek kalite görünüm	Bitki sağlıklı, canlı ve kompakt yapıdadır. Yaprak, sürgün ve çiçeklerde herhangi bir kuruma, solma veya kuraklık zararı belirtisi yok.	1
Orta kalite görünüm	Bitkide hafif genel solgunluk. Yapraklarda az sayıda nekrotik alanlar olabilir, ancak bu durum bitkinin genel sağlığını ve kompakt yapısını ciddi şekilde etkilememektedir. Bitki hala düzenli ve estetik bir görünüm sağlar.	2
Düşük kalite görünüm	Bitkide belirgin solgunluk ve kuruma. Yaprakların %30-50'sinde nekrotik alan bulunmakta. Çiçeklerde taç yapraklarda dağılma ve kompakt yapıda bozulmalar görünmekte. Bitkinin genel sağlığı önemli ölçüde etkilenmiş ve estetik görünüm bozulmuştur.	3

Deneme, her biri dokuz bitkiden oluşan üç tekrarlı tamamen tesadüfi bir tasarım (CRD) uygulanarak yürütülmüştür. Toplanan veriler, IBM SPSS versiyon 20.0 paket programı kullanılarak varyans analizine (iki yönlü ANOVA) tabii tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıklar 'Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi' kullanılarak belirlenmiştir (p ≤ 0.05). İncelenen özellikler ve parametreler arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve hiyerarşik kümeleme ısı haritası oluşturulmuştur. Korelasyon analizi ile ısı

haritasının oluşturulmasında SRPLOT çevrimiçi platformu (Anonymous, 2024b) kullanılmıştır.

3. Bulgular

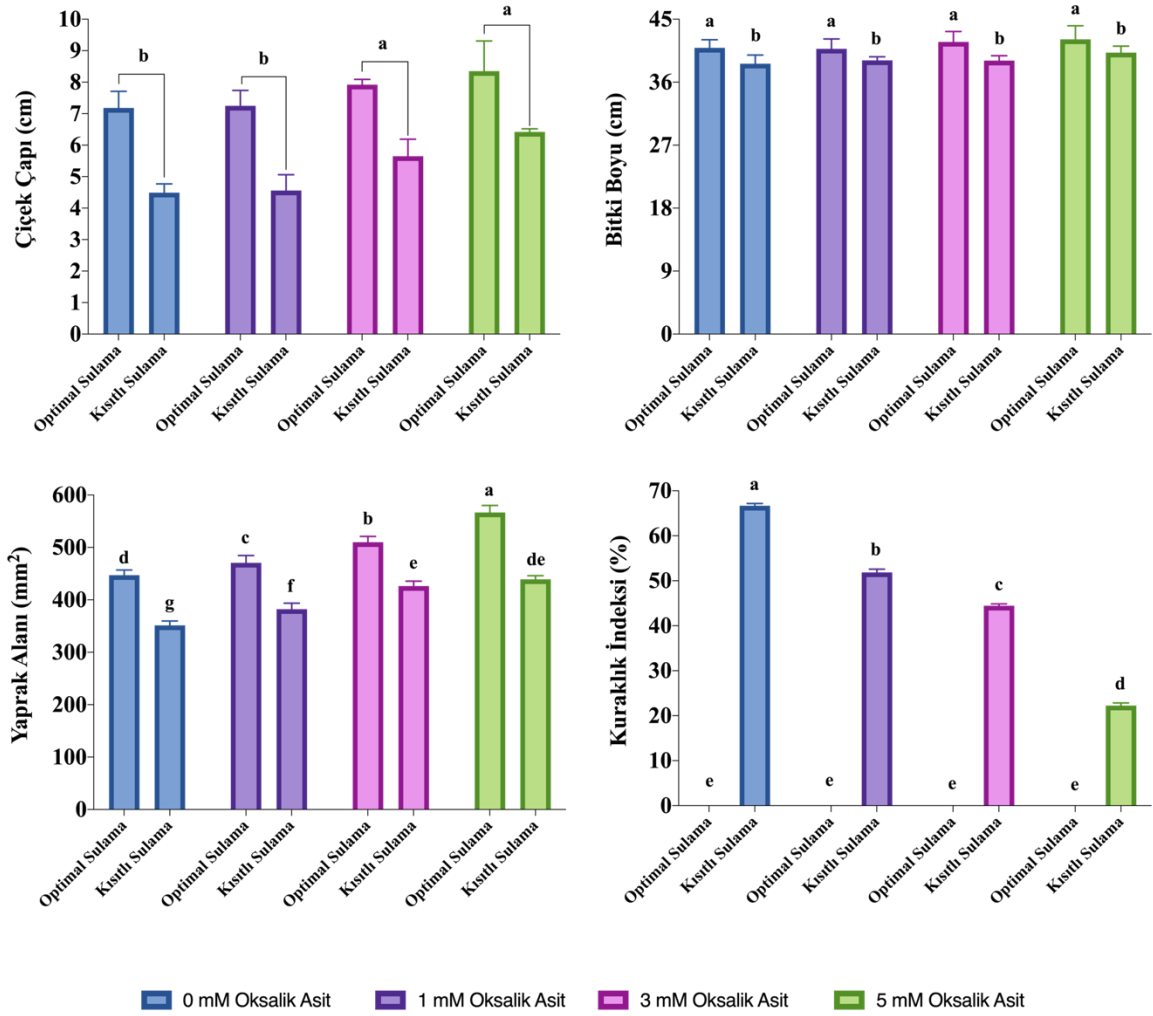
Kadife çiçeklerine farklı konsantrasyonlarda oksalik asit uygulandıktan sonra bitkilerin optimal ve kısıtlı sulama koşullarında kuraklık stresine verdiği yanıtların araştırıldığı bu çalışmada, elde edilen varyans analizi sonucunda; çiçek çapı ve klorofil içeriği bakımından 'uygulama' faktörü, bitki boyu bakımından 'sulama rejimi' faktörü, prolin içeriği, membran zararlanma indeksi, MDA içeriği, yaprak alanı, oransal su içeriği ve kuraklık indeksi bakımından ise 'sulama rejimi x uygulama' faktörü istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

Optimal sulama koşullarında farklı oksalik asit konsantrasyonlarına göre çiçek çapı 8.35 cm ile 7.18 cm arasında değişirken, kısıtlı sulama koşullarında 4.49 cm ile 6.42 cm arasında değişiklik göstermiştir. Kısıtlı sulama koşullarında çiçek çapı, optimal sulama koşullarına göre önemli ölçüde azalmıştır. Her iki sulama rejiminde de en yüksek çiçek çapı değeri, 5 mM oksalik asit uygulaması ile elde edilirken; en küçük çiçek çapı değeri, oksalik asit uygulanmayan bitkilerde kaydedilmiştir. Oksalik asidin bitki boyu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır, ancak kısıtlı sulama koşullarında bitki boyu önemli ölçüde azalmıştır. Optimal sulama koşullarında bitki boyu ortalama 41.39 cm iken, kısıtlı sulama koşullarında 39.27 cm olarak ölçülmüştür.

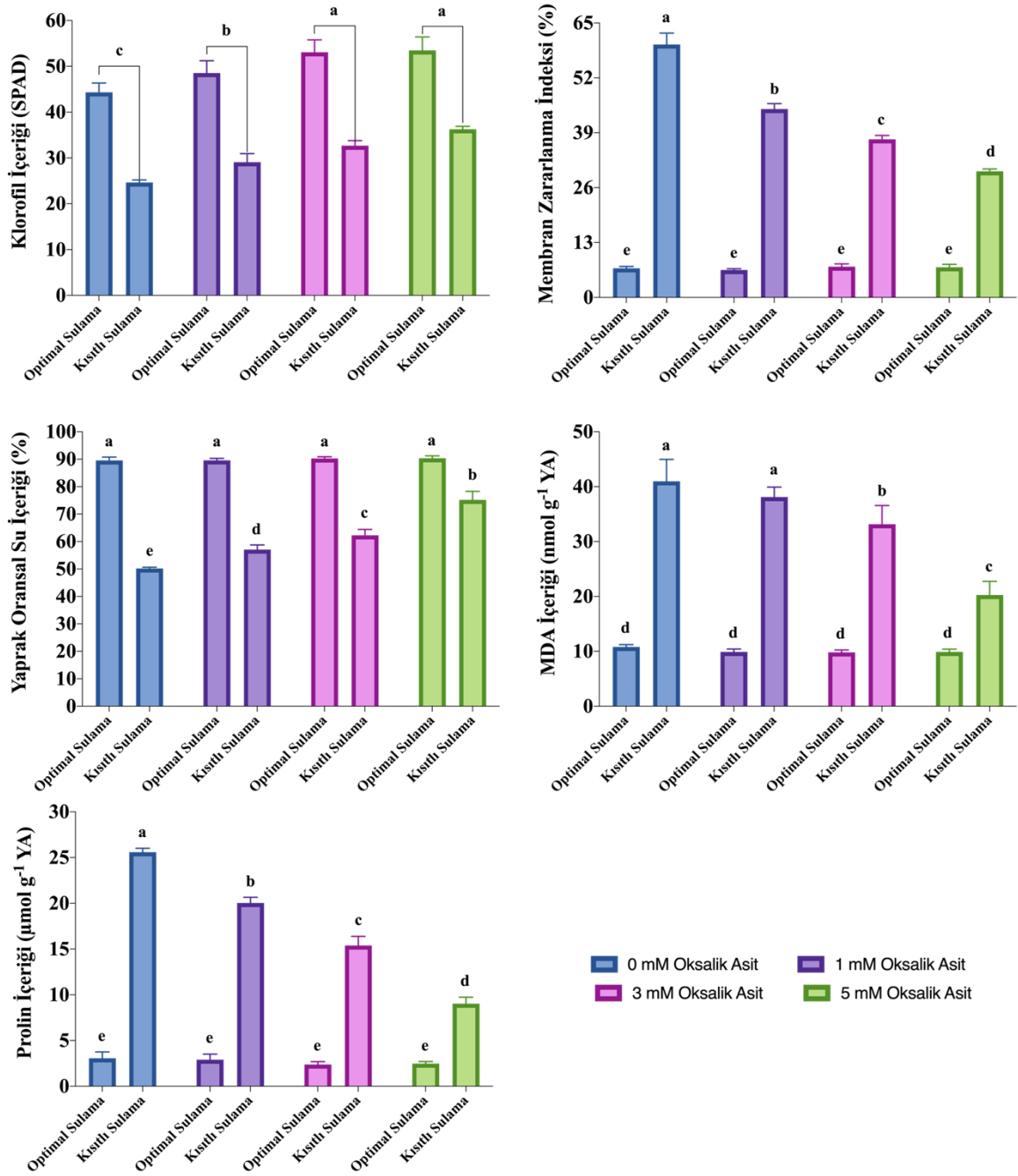
Yaprak alanı hem sulama rejiminden hem de oksalik asit uygulamasından önemli ölçüde etkilenmiştir. En fazla yaprak alanı, optimal sulama koşullarında ve 5 mM oksalik asit uygulaması yapılan bitkilerde 566.67 mm² olarak ölçülmüştür. En az yaprak alanı ise oksalik asit uygulanmayan kısıtlı sulama koşullarındaki bitkilerde 351.33 mm² olarak belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşullarında oksalik asit uygulaması, yaprak alanındaki küçülme oranını da azaltmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında 5 mM oksalik asit uygulanan bitkilerde yaprak alanı (439.33 mm²), yalnızca kısıtlı sulama yapılan bitkilere ve diğer oksalik asit konsantrasyonlarına göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 1). Kısıtlı sulama koşullarında SPAD değerleri oksalik asit konsantrasyonlarına bağlı olarak 24.64 SPAD ile 36.27 SPAD arasında değişirken, optimal sulama koşullarında 44.33 SPAD ile 53.47 SPAD arasında farklılık göstermiştir. Oksalik asit uygulamalarından bağımsız olarak, kısıtlı sulanan bitkilerde klorofil içeriği, optimal sulanan bitkilere oranla önemli ölçüde azalmıştır. Her iki sulama rejiminde de, en yüksek SPAD değeri 3 mM oksalik asit uygulaması ile aynı istatistik grup içerisinde yer alan 5 mM oksalik asit uygulamasında belirlenmiştir.

Membran zararlanma indeksi, kısıtlı sulama koşullarında önemli derecede artış göstermiştir. En yüksek membran zararlanma indeksi %59.90 ile oksalik asit uygulanmamış kısıtlı sulanan bitkilerde kaydedilmiştir. Kısıtlı sulama koşullarında oksalik asit uygulaması membran zararlanma indeksini, uygulama yapılmayan bitkilere göre önemli ölçüde azaltarak %29.87 seviyesine çekmiştir. En düşük membran zararlanma indeksi ise %6.50 ile optimal sulama koşullarında 1 mM oksalik asit uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Bu uygulama, optimal sulanan koşullarda 0 mM, 3 mM ve 5 mM oksalik asit uygulamaları ile aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Prolin içeriği, optimal sulama koşullarına göre kısıtlı sulama koşullarında önemli ölçüde artış göstermiştir. Ancak oksalik asit uygulamaları ile prolin içeriğindeki artış, konsantrasyonlara bağlı olarak azalmıştır. Kısıtlı sulanan koşullarda en yüksek prolin içeriği, 25.59 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA değeri ile oksalik asit uygulanmayan bitkilerden elde edilirken, en düşük prolin içeriği 5 mM oksalik asit uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Optimal sulama koşullarındaki bitkilerde prolin içeriği 2.48 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA ile 3.06 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA aralığında değişmiştir ve tüm oksalik asit konsantrasyonları (0 mM, 1mM, 3 mM ve 5 mM) aynı istatistiksel grupta yer almıştır (Şekil 1).

Optimal sulama koşullarında oksalik asit uygulamasının yaprak oransal su içeriği üzerinde belirgin bir etkisi bulunmamıştır. Oksalik asit uygulanan ve uygulanmayan bitkiler arasında yaprak oransal su içeriği (%89.54-%90.33) açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak, kısıtlı sulama koşullarında oksalik asit uygulaması yaprak oransal su içeriğinin korunmasına katkıda bulunmuştur. Optimal sulama koşullarına göre yaprak oransal su içeriği azalmış olsa da, kısıtlı sulama koşullarında 5 mM oksalik asit uygulaması, %75.20 yaprak oransal su içeriği ile diğer konsantrasyonlara ve oksalik asit uygulanmayan bitkilere göre daha yüksek bir seviyede kalmıştır. MDA içeriği açısından optimal sulama koşullarında oksalik asit uygulanan ve uygulanmayan bitkiler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Optimal sulama koşullarında MDA içeriği, kısıtlı sulama koşullarındaki bitkilere kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. En yüksek MDA içeriği, kısıtlı sulama koşullarında 1 mM oksalik asit uygulaması ile aynı istatistiksel grupta yer alan kısıtlı sulama koşullarındaki oksalik asit uygulanmayan bitkilerde (40.97 nmol g^{-1} YA) belirlenirken, 5 mM oksalik asit uygulaması (20.26 nmol g^{-1} YA) ile MDA içeriği önemli ölçüde azalmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında kuraklık indeksi optimal sulama koşullarına göre önemli ölçüde artış göstermiştir. En yüksek kuraklık indeksi, yalnızca kısıtlı sulama yapılan bitkilerde belirlenmiştir. Oksalik asit uygulaması ile kısıtlı sulamanın etkileri önemli ölçüde azalmıştır. Oksalik asit uygulanmayan kısıtlı sulama koşullarındaki bitkilerde kuraklık indeksi %66.67 iken, 5 mM oksalik asit uygulaması ile bu indeks %22.23 seviyesine gerilemiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı konsantrasyonlardaki oksalik asit uygulamalarının optimal ve kısıtlı sulama koşulları altındaki kadife çiçeklerinde çiçek çapı, yaprak alanı, bitki boyu, klorofil içeriği, membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, yaprak oransal su içeriği, MDA içeriği ve kuraklık indeksi parametreleri üzerine etkileri. *Farklı harfler, $p \leq 0.05$ düzeyinde anlamlı farklılıkları; hata çubukları, standart sapmayı göstermektedir.

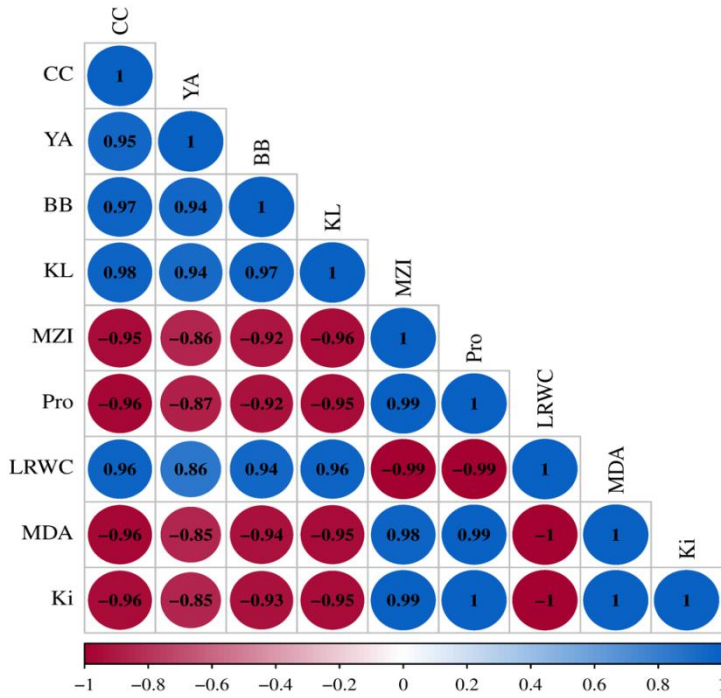


Şekil 1 (devam). Farklı konsantrasyonlardaki oksalik asit uygulamalarının optimal ve kısıtlı sulama koşulları altındaki kadife çiçeklerinde çiçek çapı, yaprak alanı, bitki boyu, klorofil içeriği, membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, yaprak oransal su içeriği, MDA içeriği ve kuraklık indeksi parametreleri üzerine etkileri. *Farklı harfler, $p \leq 0.05$ düzeyinde anlamlı farklılıkları; hata çubukları, standart sapmayı göstermektedir.

3.1. Korelasyon Analizi ve Hiyerarşik Isı Haritası

Pearson korelasyon analizi, çiçek çapı ile yaprak alanı, bitki boyu, klorofil içeriği ve yaprak oransal su içeriği arasında; yaprak alanı ile bitki boyu, klorofil içeriği ve yaprak

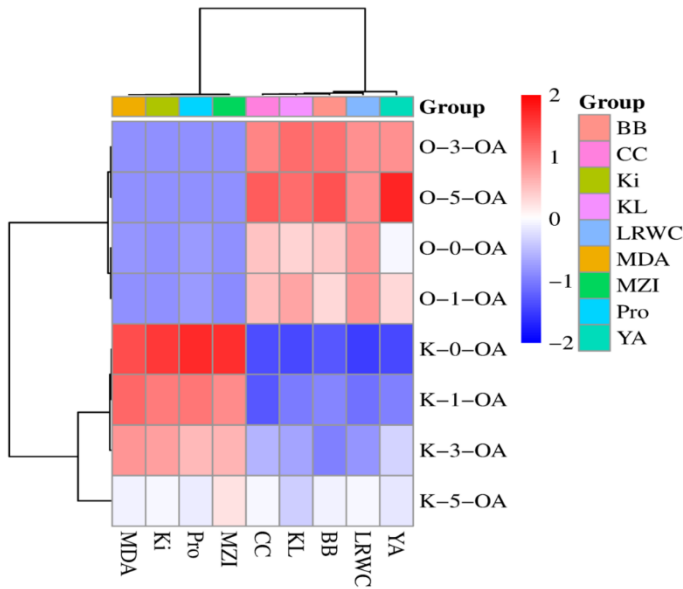
oransal su içeriği arasında; bitki boyu ile klorofil içeriği ve yaprak oransal su içeriği arasında; klorofil içeriği ile yaprak oransal su içeriği arasında; ve membran zararlanma indeksi ile prolin içeriği, kuraklık indeksi ve MDA içeriği arasında güçlü pozitif korelasyonlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çiçek çapı, yaprak alanı, bitki boyu ve klorofil içeriği ile membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, MDA içeriği ve kuraklık indeksi arasında negatif yönlü güçlü korelasyonlar bulunmuştur. Membran zararlanma indeksi ve prolin içeriği, yaprak oransal su içeriği ile; yaprak oransal su içeriği ise MDA içeriği ve kuraklık indeksi ile negatif yönlü güçlü korelasyonlar göstermiştir.



Şekil 2. Oksalik asit uygulamasının farklı sulama rejimlerinde incelenen parametreler arasındaki korelasyon analizi. Analizde, Pearson yöntemi kullanılarak korelasyon hesaplanmıştır. Korelasyon değerleri, düşük değerler için koyu kırmızı, yüksek değerler için ise koyu mavi renklerle görselleştirilmiştir. BB: bitki boyu, CC: çiçek çapı, Ki: kuraklık indeksi, KL: klorofil içeriği, LRWC: yaprak oransal su içeriği, MDA: MDA içeriği, MZI: membran zararlanma indeksi, Pro: prolin içeriği, YA: yaprak alanı.

Hiyerarşik kümeleme ısı haritasına göre, incelenen parametreler iki ana kümeye ayrılmıştır. İlk ana kümede, membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, kuraklık indeksi ve MDA içeriği yer almıştır. İkinci ana kümede ise yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, bitki boyu, klorofil içeriği ve çiçek çapı özellikleri yer almıştır. Isı haritasında, farklı sulama rejimlerinde uygulanan farklı konsantrasyonlardaki oksalik asit uygulamaları da iki ana kümeye ayrılmıştır. İlk ana kümede, membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, kuraklık

indeksi ve MDA içeriği parametrelerinde daha düşük ortalamalarla temsil edilen optimal sulama koşulları altında oksalik asit uygulamaları yer almıştır. Ayrıca bu küme, diğer parametreler bakımından daha yüksek ortalamalar göstermiştir. İkinci ana kümede ise yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, bitki boyu, klorofil içeriği ve çiçek çapı özellikleri bakımından daha düşük ortalamalarla temsil edilen kısıtlı sulama altında oksalik asit uygulamaları yer almıştır. Bu küme, diğer parametreler bakımından daha yüksek ortalamalar göstermiştir. İkinci ana kümede, kısıtlı sulama koşullarında 5 mM oksalik asit (K-5-OA) uygulaması; membran zararlanma indeksi, prolin içeriği, kuraklık indeksi ve MDA içeriği gibi stres göstergelerinde daha düşük, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, bitki boyu, klorofil içeriği ve çiçek çapı gibi parametrelerde daha yüksek değerler sağladığı için gelişmiş fizyolojik performans sergileyen ilk alt küme olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İncelenen parametrelerin farklı sulama rejimlerinde her bir oksalik asit konsantrasyonu için hiyerarşik kümeleme ısı haritası. Kümeleme yöntemi, ortalama olarak seçilmiş ve mesafe hesaplama yöntemi olarak korelasyon kullanılmıştır. Renkli ölçek, mavi renkten kırmızı renge kadar bir artışı göstermektedir. BB: bitki boyu, CC: çiçek çapı, Ki: kuraklık indeksi, KL: klorofil içeriği, LRWC: yaprak oransal su içeriği, MDA: MDA içeriği, MZI: membran zararlanma indeksi, Pro: prolin içeriği, YA: yaprak alanı. O: optimal sulama, K: kısıtlı sulama, OA: oksalik asit ve 0, 1, 3 ve 5 ise oksalik asidin 0, 1, 3 ve 5 mM konsantrasyonları.

4. Tartışma

Bitkiler, stres koşullarına verdikleri yanıtları morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal düzeylerde farklı yollarla göstermektedir. Her bitki türü, bu koşullara uyum sağlamak için kendi morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyon stratejilerini geliştirmiştir. Türlerin

adaptasyon stratejileri arasındaki farklılık, strese karşı dayanıklılık seviyelerini ve hayatta kalma yeteneklerini belirlemektedir. Bununla birlikte, stresin bitkiler üzerindeki genel etkilerini değerlendirmede klorofil içeriği, yaprak oransal su içeriği, MDA içeriği, prolin içeriği ve membran zararlanma indeksi gibi fizyolojik ve biyokimyasal parametreler yaygın olarak kullanılan göstergelerdir. Stres koşulları altında bitkilerde prolin ve MDA seviyelerinin yükseldiği, membran bütünlüğünün bozulduğu, ayrıca yaprak oransal su içeriği ve klorofil içeriğinin azaldığı rapor edilmiştir (Babaei ve ark., 2021, Amnan ve ark., 2022; Daler ve ark., 2024). Optimal ve kısıtlı sulama koşullarında kadife çiçeklerinin kuraklık stresine verdiği yanıtları ve oksalik asidin bitki performansını iyileştirme potansiyelini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada da, kuraklık stresi altında prolin ve MDA içeriklerinin arttığı, yaprak oransal su içeriği ve klorofil içeriğinin azaldığı, ayrıca membran bütünlüğünün bozulmasıyla membran zararlanma indeksinin yükseldiği belirlenmiştir.

Yaprak oransal su içeriği, hem yaprak su potansiyelinin hem de osmotik ayarlamının olası etkilerini dikkate alarak hücrel hidrasyon düzeylerini yansıtmaktadır. Osmotik ayarlama, kuraklık stresi altında hücrel hidrasyonu korumanın güçlü bir mekanizmasıdır. Yaprak oransal su içeriği, hücrel hidrasyonun optimal olduğu tam turgor durumundaki yapraklarda %98'den, önemli derecede kurumuş ve ölmekte olan yapraklarda ise yaklaşık %30-%40'a kadar değişmektedir. Çoğu bitki türünde, yaprak oransal su içeriği; solma noktası başlangıcında yaklaşık %60 ila %70 civarındadır (Barr ve Weatherley, 1962). Diğer bir ifadeyle, yüksek yaprak oransal su içeriği, bitkilerde su alımının yeterli olduğunu ve hücrelerin osmotik basıncının dengede olduğunu ifade ederken; düşük oransal su içeriği, su eksikliğine bağlı olarak hücrelerde su kaybının meydana geldiğini ve bitkinin su dengesinin bozulduğunu, dolayısıyla bitkinin su stresine girdiğini işaret etmektedir. Kısıtlı sulama koşullarında oksalik asit uygulanan kadife bitkilerinde yaprak oransal su içeriği (%57.08-%75.20), optimal sulanan bitkiler (%90.00) kadar olmasa da; yalnız kısıtlı sulanan bitkilere göre (%50.20) önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu bulgu, oksalik asidin bitkilerde su dengesinin korunmasında ve hücrel hidrasyonun sağlanmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Prolin içeriğine ilişkin bulgular da oksalik asidin osmoregülatif etkileri olabileceğini desteklemektedir. Prolin, sitoplazma ve vakuol arasında hücrel osmotik dengeyi sağlayan, reaktif oksijen türlerini detoksifiye ederek membran bütünlüğünü koruyan düşük moleküler ağırlıklı bir amino asittir (Chaves ve ark., 2010; Procházková ve ark., 2016). Oksalik asit uygulaması ile birlikte, kısıtlı sulama altındaki bitkilerde prolin birikiminin azaldığı görülmüştür. Oksalik asit, su stresi durumunda osmotik dengenin sağlanmasında ihtiyaç duyulan prolin miktarını azaltmış olabilir.

Düşük yaprak oransal su içeriği, bitkilerin metabolizmasında özellikle, fotosentez sürecinde elektron taşıma zincirinde bozulmalar meydana gelmesine ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesine neden olmaktadır (Lawlor, 2002). ROS birikimi, oksidatif stresi artırmakta ve hücrel bileşenlere zarar vererek lipid peroksidasyonu, protein denatürasyonu ve DNA hasarına yol açabilmektedir. Yüksek oranda zararlanan membranlarda, MDA seviyeleri artırmaktadır. MDA, lipid peroksidasyonunun bir ürünü olup, hücre zarlarının hasar görmesiyle ilişkilidir. MDA seviyelerinin yükselmesi, bitkilerin membran bütünlüğünü korumadaki zorlukları göstermekte ve yaşamsal birçok faaliyeti tehdit eden hücrel zararlanmaları işaret etmektedir (Karamian ve ark., 2020; Zahedi ve ark., 2023). Oksalik asit uygulamalarının, kısıtlı sulanan kadife çiçeklerinde; membran hasarını azalttığı belirlenmiştir. Oksalik asidin, oksidatif stresin etkilerini azaltarak hücrel bütünlüğü korumada bitkiye destek sağlamış olabileceği düşünülmektedir. Membran zararlanma indeksi sonuçları da, oksalik asidin hücre zararını korumadaki işlevselliğini destekler niteliktedir. Oksalik asit, hücre içindeki su dengesini koruyarak hücrelerin yapısal bütünlüğünü desteklemiş ve membran stabilitesini artırmış olabilir. Yaprak oransal su içeriğindeki artma ve prolin birikimindeki azalma yanında membran zararlanma indeksi ile MDA içeriğindeki düşüş, oksalik asidin bitki su dengesi üzerinde olası rolünü güçlendirmektedir. Aynı zamanda, düşük membran zararlanma derecesi ile MDA içeriği, oksalik asidin; reaktif oksijen türlerinin (ROS) zararlı etkilerini azaltma potansiyeline sahip olabileceğini, savunma mekanizmalarını teşvik ederek hücre zarlarının korunmasına yardımcı olabileceğini ve iyon dengesini düzenleyerek hücrel işlevleri destekleyebileceği olasılıklarını da düşündürmektedir.

Kuraklık stresi altındaki bitkilerin klorofil içeriğinde azalma görülebilmektedir. Su eksikliği, stomaların kapanmasına yol açarak karbondioksit alımını azaltmaktadır. Bu durum, fotosentez oranını düşürerek bitkilerin enerji üretimini kısıtlamakta ve sonuç olarak klorofil sentezinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca su stresi, kloroplastların işlevselliğini olumsuz yönde etkileyerek oksidatif stresin artmasına yol açmaktadır. Artan oksidatif stres, klorofilin yapısal bütünlüğünün bozulmasına ve klorofil içeriğinin azalmasına neden olmaktadır (Flexas ve ark., 2013, Daler ve ark., 2024). Kuraklık koşulları, bitkilerin besin elementlerini, özellikle klorofil sentezi için kritik olan azot ve magnezyum gibi maddeleri almasını zorlaştırmakta; bu maddelerin eksikliği, klorofil içeriğinin azalmasına katkıda bulunmaktadır (Zheng ve ark., 2007). Su stresinin yaprak yaşlanma süreçlerini hızlandırması da klorofil kaybına yol açarak klorofil içeriğinin azalmasında etkili bir diğer faktördür. Oksalik asit uygulamaları sonucunda, kısıtlı sulanan bitkilerdeki klorofil içeriğinin, oksalik asit uygulanmamış kısıtlı sulanan bitkilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Optimal sulama koşullarının klorofil içeriği

üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Optimal sulama koşullarında, bitkilerin su alımı yeterli düzeyde olduğu için klorofil sentezi desteklenmiş, dolayısıyla en yüksek klorofil içeriği elde edilmiştir. Kısıtlı sulama koşullarında ise bitkilerde yaşanan su stresi nedeniyle klorofil sentezi inhibe edilmiştir ve/veya mevcut klorofil parçalanarak klorofil kaybı yaşanmıştır. Oksalik asit uygulaması, bitkilerin stres yanıtlarını düzenleyerek klorofil sentezindeki düşüşü ve/veya klorofil parçalanmasını bir miktar azaltmış olabilir. Oksalik asit, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini engelleyerek klorofilin yapısal bütünlüğünü korumuş olabilir. Oksalik asidin bitkilerin besin elementlerini daha etkin kullanmalarına yardımcı olması da klorofil sentezini desteklemiş olabilir. Bu bağlamda, oksalik asidin hücre büyümesini teşvik etmesi ve kloroplast gelişimini artırması da klorofil içeriğini artırıcı bir etki yaratmış olabilir. Bu hipotezler, oksalik asidin stres koşullarında bitkilerin klorofil içeriğini koruyucu bir rol oynadığını ve/veya klorofil sentezini desteklediğini öne sürmektedir.

Oksalik asidin stres koşullarına toleransı artırmak amacıyla eksojen kullanımına dair sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmalarda oksalik asidin; ROS ile aracılık edilen sinyal iletim yollarını etkileyerek ve ROS üretimini azaltarak oksidatif stresi baskıladığı (Liang ve ark., 2009), hücre ekspansiyonunu arttırdığı ve ksilem gelişimini desteklediği (Çoban ve Aras, 2023), bitki hücrelerinin asit-baz dengesini düzenlediği ve su dengesini sağladığı (Gupta ve ark., 2024), hormon seviyeleri ile DNA, RNA içeriklerini etkilediği, antioksidan enzimlerin aktiviteleri ile yeni yanıt veren protein bantlarının sayısını arttırdığı (Sadak ve Orabi, 2015), bitkilerde besin maddesi alımını artırmada kritik bir rol oynadığı (Pan ve ark., 2016) ancak bitkilerde azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) seviyelerinin düzenlenmesi veya alımı üzerindeki etkilerinin henüz tam olarak anlaşılamadığı (Anwar ve ark., 2018) rapor edilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından rapor edilen bu bulgular, oksalik asidin stres toleransındaki rolü hakkında bu çalışmada geliştirilen hipotezleri desteklemekte ve oksalik asit üzerine yürütülmüş / yürütülecek araştırmaların önemini vurgulamaktadır.

Yüksek konsantrasyonlarda oksalik asit kullanımının bitkilerde toksik etkilere neden olabileceği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2010). Bu çalışmada ise, oksalik asidin üç farklı konsantrasyonunun (1 mM, 3 mM, 5 mM) bitkiler üzerindeki olumlu etkilerinin artan konsantrasyonlarla birlikte yükseldiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgu, Wang ve ark., (2010) tarafından elde edilen sonuç ile örtüşmemektedir. Araştırmacılar, 5 mM L⁻¹ oksalik asit uygulamasının kurşun stresi altındaki *Iris lactea* var. *chinensis* bitkilerinde toksik etkiye neden olduğunu ve daha düşük konsantrasyonlarda kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir. Çalışma sonuçları arasındaki bu çelişki, bitki türü, yetiştirme koşulları ve stres faktörlerindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Kullanılan madde ile konsantrasyonun etkinliği, bitki

türleri arasında farklılık gösterebilir. Bitki türü ve yetiştirme koşullarının farklılığı, organik asitlerin bitkiler üzerindeki etkilerini önemli ölçüde etkileyebilir. Ağır metal stresi ve su stresi, bitkilerin fizyolojik yanıtlarını farklı şekillerde etkileyebilir. Birçok araştırmada da, oksalik asidin bitkilerdeki rolünün mevcut koşullara, konsantrasyona ve uygulama şekline bağlı olarak değişebileceği bildirilmiştir (Lehner ve ark., 2008; Chen ve ark., 2024). Diğer yandan, bu çalışmada elde edilen bulgular; kadife çiçeklerinde kuraklık stresi ve diğer stres faktörlerinin etkilerini araştıran birçok çalışma ile örtüşmektedir (Umar ve ark., 2017; Azizi ve ark., 2021; Babaei ve ark., 2021). Salisilik asit başta olmak üzere bitkilerde stres faktörlerinin etkilerini azaltmada başarılı bulunan diğer maddeler gibi, oksalik asidin de; bitkilerin stres yanıtlarını düzenleyerek, büyüme ve gelişmeleri ile morfolojik özelliklerini olumlu yönde etkileyebileceği görülmektedir.

Bitkide meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler, stres koşullarının şiddetine bağlı olarak morfolojik özellikler üzerinde belirgin etkilere yol açabilmektedir. Bu değişimler, bitkinin büyüme ve gelişmesi ile genel görünümünü önemli ölçüde etkileyebilir. Su eksikliği, yaprak alanı, bitki boyu ve çiçek çapı gibi morfolojik parametrelerde gözle görülür azalmalar ile kendini gösterebilir (Anjum ve ark., 2017; Umar ve ark., 2017). Su eksikliği durumunda, stomaların kapanması ve klorofil seviyelerinin düşmesi gibi faktörler nedeniyle; fotosentez verimliliği azalabileceği için yaprak, çiçek ve sürgün büyüme ve gelişmesi olumsuz etkilenebilir. Hem büyüme ve gelişme sınırlanabilir hem de organlarda büzülme ve küçülme meydana gelebilir. Diğer bir ifadeyle, hem büyüme performansında düşüş yaşanabilir hem de fiziksel yapılarda bozulmalar görülebilir. Hücrelerin su alımındaki azalma, hücre büyüklüğü ve sayısında bir düşüşe yol açabilir ve bu durum, yaprak alanının küçülmesi, çiçek çapının daralması ve bitki boyunun kısalmasıyla sonuçlanabilir. Bu çalışmada, kısıtlı sulanan bitkilerin yaprak alanı, çiçek çapı ve bitki boyu özelliklerinde optimal sulanan bitkilere göre bir azalma olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin, hücre içi su dengesinin bozulmasına ve hücre zarında hasara yol açarak bitkilerin genel görünümünde kalite kaybı yaşatan bir dizi fizyolojik ve biyokimyasal değişikliğe neden olduğu saptanmıştır. Bitki boyu önemli ölçüde kısalmış, çiçek çapı ve yaprak alanları ise küçülmüştür. Bitkilerin kompakt yapılarında bozulmalar gözlemlenmiştir. Bitkilerin genel görünümü dikkate alınarak oluşturulan kuraklık indeksi değeri de, bu bulguları desteklemektedir. Kısıtlı sulanan bitkilerde kuraklık indeksi, kalite kaybının %66.67 oranında gerçekleştiğini göstermektedir.

Oksalik asit uygulamaları, kısıtlı sulama koşulları altında kadife çiçeklerinin yaprak alanı ve çiçek çapı özelliklerini iyileştirmiştir. Oksalik asidin yaprak alanı üzerindeki olumlu etkileri, büyüme ve gelişmeyi iyileştirmesinden daha ziyade, stres koşullarına verilen yanıtta

savunma mekanizmalarını aktive ederek bitkiye destek sağlamasından kaynaklanıyor olabilir. Çiçek çapındaki olumlu etkiler ise, büyüme ve gelişme üzerinde artırıcı etkileri ile birlikte stresle başa çıkma yeteneğini iyileştirmesinden ileri geliyor olabilir. Çünkü kadife çiçeklerinde, çiçeklenme aşamasında; vejetatif aksamın büyüme ve gelişmesi önemli ölçüde sınırlanmaktadır ve generatif büyüme ve gelişme devam etmektedir (Ramashala, 2024). Bununla birlikte, bitki boyu üzerinde oksalik asit uygulamasının anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Bu durum, oksalik asidin kuraklık stresine maruz kalmadan önce uygulanmış olması ve kadife çiçeklerinin belirli bir büyüme aşamasına ulaşmış olmasından kaynaklanıyor olabilir. Oksalik asidin, birçok tarımsal üründe morfolojik özellikler üzerine olumlu etkilerinin varlığını rapor eden başka çalışmalar bulunmaktadır (Anwar ve ark., 2018, Çoban ve Aras, 2023; Soukht Saraei ve ark., 2024).

Fizyolojik ve biyokimyasal parametreler ile morfolojik özellikler arasındaki ilişkiler, korelasyon analizi ile açıkça ortaya konmuştur. Birçok araştırmacı tarafından da stres koşulları altında MDA içeriği, membran zararlanma indeksi ve prolin içeriği gibi parametrelerdeki artışa karşılık; çiçek çapı, yaprak alanı ve bitki boyu gibi morfolojik özelliklerde bir azalış ile kendini gösteren negatif korelasyonlar rapor edilmiştir. Aynı zamanda yaprak oransal su içeriği, klorofil içeriği gibi parametrelerdeki artış ile morfolojik özelliklerde bir artış olduğuna ilişkin pozitif korelasyonlar olduğu belirtilmiştir (Umar ve ark., 2017; Daler ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2024). Çiçek çapı ile yaprak alanı, bitki boyu, klorofil içeriği ve yaprak oransal su içeriği arasındaki güçlü pozitif korelasyonlar, bitkilerde su dengesinin iyi durumda olduğuna ilişkin bir göstergedir. Bununla birlikte, membran zararlanma indeksi ile prolin içeriği, kuraklık indeksi ve MDA içeriği arasındaki pozitif korelasyonlar, bitkilerin su stresine maruz kaldığında hücre zarlarında hasarın artması ve bu hasara karşı savunma mekanizmalarının devreye girmesiyle açıklanabilir. Bu, hasarın morfolojik özellikler üzerinde ciddi yansımaları olduğunu göstermektedir. Negatif korelasyonlar ise, kuraklık koşullarında çiçek çapı, yaprak alanı, bitki boyu ve klorofil içeriğinin azalmasının, hücre zarlarının zarar görmesiyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Membran zararlanma indeksi, yaprak oransal su içeriği ile negatif yönde ilişkili olduğundan, bu durum, bitkinin su kaybı yaşadığı anlamına gelmektedir.

Hiyerarşik kümeleme ısı haritasına göre, kısıtlı sulama koşullarında 5 mM oksalik asit uygulamasının stres göstergelerinde düşük, morfolojik parametrelerde yüksek değerler sağlaması, oksalik asidin bitkilerin fizyolojik performansını iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, oksalik asidin kuraklık stresini azaltıcı etkisini destekler nitelikte olup, bitkilerin

kuraklık koşullarında mevcut durumlarını sürdürülebilir potansiyelini artırdığına işaret etmektedir.

Genel olarak, elde edilen bulgular, sulama rejimlerinin ve oksalik asit uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki önemli etkilerini vurgulayarak, tarımsal uygulamalarda stres yönetimi için stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Ancak, kontrollü koşullar altında uygulanmış olması, bulguların farklı iklim koşullarında geçerliliğini sorgulatmaktadır. Tarım alanlarında karşılaşılan değişken çevresel faktörler, sulama rejimleri ve oksalik asit uygulamalarının etkilerini farklılaştırabilir.

5. Öneriler

Kadife çiçeklerinde kuraklık stresinin neden olduğu belirtileri azaltmada 5 mM konsantrasyonunda oksalik asidin etkili olduğu belirlenmiştir. İdeal konsantrasyonlarda uygulandığında oksalik asidin, abiyotik stres toleransını artırmak için umut verici bir elisitör adayı olduğu görülmektedir. Oksalik asit uygulaması, optimal sulama koşullarında da bitki morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerini olumlu yönde etkilemiştir. Bitkisel tasarımlarda kullanılacak bitki türlerinde, dikim öncesinde ve/veya yetiştiricilik sırasında elisitör uygulamalarının, bitkilerin kuraklık ve diğer çevresel stres faktörlerine karşı toleransını artırmada etkili bir strateji olabileceği düşünülmektedir. Bu uygulamalar, bitkilerin stres altında performanslarını iyileştirerek sürdürülebilir bitkisel tasarımların geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Ancak, elisitör uygulamalarının ideal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Oksalik asidin ve diğer elisitörlerin farklı bitki türleri ve yetiştirme koşullarında etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, bu uygulamaların etkinliğini artırabilir ve sürdürülebilirliği destekleyebilir. Gelecek araştırmalar, elisitörlerin etki mekanizmalarını derinlemesine anlamak ve çeşitli stres koşulları altında bitki performansını artırmak için kapsamlı değerlendirmeler yapmalıdır. Ayrıca, elisitörlerin bitki büyümesi, stres toleransı ve görsel kalite üzerindeki uzun vadeli etkileri üzerine de çalışılmalıdır. Bu yaklaşım, kuraklık gibi zorlu koşullarla başa çıkma yeteneğini artırarak sürdürülebilir peyzaj tasarımları ve tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, VIII. Ulusal Süs Bitkileri Kongresinde poster bildiri olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

- Anonymous. (2024a). <https://www.google.com.tr/maps/place>. Erişim Tarihi: 21.06.2024.
- Anonymous. (2024b). <https://www.bioinformatics.com.cn/en>. Erişim Tarihi: 21.06.2024.
- Ahmad, B., Zaid, A., Sadiq, Y., Bashir, S., & Wani, S. H. (2019). Role of selective exogenous elicitors in plant responses to abiotic stress tolerance. In Hasanuzzaman, M., Hakeem, K., Nahar, K., Alharby, H. (eds), *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches* (pp. 273-290). Springer, Cham.
- Amnan, M. A. M., Aizat, W. M., Khaidizar, F. D., & Tan, B. C. (2022). Drought stress induces morpho-physiological and proteome changes of *Pandanus amaryllifolius*. *Plants*, *11*(2), 221. <https://doi.org/10.3390/plants11020221>.
- Anjum, S. A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Nazir, U., & Tabassum T. (2017). Growth and development responses of crop plants under drought stress: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, *104*(3), 267-276. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.034>.
- Anwar, R., Gull, S., Nafees, M., Amin, M., Hussain, Z., Khan, A. S., & Malik, A. U. (2018). Pre-harvest foliar application of oxalic acid improves strawberry plant growth and fruit quality. *Journal of Horticultural Science and Technology*, *1*(1), 35-41. <https://doi.org/10.46653/jhst180101035>.
- Arbani, M. R., Jari, S. K., Fatehi, F., Khalighi, A. (2020). The effect of humi-forthi and L-arginine amino acid on growth, physiological and biochemical characteristics of Marigold (*Tagetes erecta*) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(2), 365-373. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.262454.1483>.
- Asghari, J., Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Banaei-Asl, F., Amani Machiani, M., Harrison, M. T. (2023). Selenium nanoparticles improve physiological and phytochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Land*, *12*(1), 164. <https://doi.org/10.3390/land12010164>.
- Çoban, G. A., & Aras, S. (2023). Effects of ascorbic and oxalic acids on cucumber seedling growth and quality under mildly limey soil conditions. *Gesunde Pflanzen*, *75*(5), 1925-1932. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00809-w>.
- Azizi, F., Moghaddam, M., Farsaraei, S., & Moshfegh, D. M. (2021). The effect of azomite application on reducing the damage of salinity stress in Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.). *Plant Productions*, *44*(2), 247-258. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.29933.1778>.

- Baenas, N., García-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2014). Elicitation: a tool for enriching the bioactive composition of foods. *Molecules*, *19*(9), 13541-13563. <https://doi.org/10.3390/molecules190913541>.
- Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N., & Pirbalouti, A. G. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, *284*, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116>.
- Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413-428. <http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413>.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, *105*(5), 661-676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>.
- Chen, J., Tang, L., Guo, W., Wang, D., Sun, Y., & Guo, C. (2024). Oxalic acid secretion alleviates saline-alkali stress in alfalfa by improving photosynthetic characteristics and antioxidant activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, *208*, 108475. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108475>.
- Daler, S., Korkmaz, N., Kılıç, T., Hatterman-Valenti, H., Karadağ, A., & Kaya, O. (2024). Modulatory effects of selenium nanoparticles against drought stress in some grapevine rootstock/scion combinations. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *11*(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00609-6>.
- Daler, S., & Uygun, E. (2024). Effects of putrescine application against drought stress on the morphological and physiological characteristics of grapevines. *Applied Fruit Science*, *66*(2), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01109-5>.
- Earl, H. J. (2003). A precise gravimetric method for simulating drought stress in pot experiments. *Crop Science*, *43*(5), 1868-1873. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1868>.
- Farieri, E., Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2016). Identification of ornamental shrubs tolerant to saline aerosol for coastal urban and peri-urban greening. *Urban Forestry & Urban Greening*, *18*, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.014>.
- Flexas, J., Niinemets, Ü., Gallé, A., Barbour, M. M., Centritto, M., Diaz-Espejo, A., Douthe, C., Galmes, J., Ribas-Carbo, M., Rodriguez, P. L., Rosello, F., Soolanayakanahally, R.,

- Tomas, M., Wright, I. J., Farquhar, G. D. & Medrano, H. (2013). Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research*, *117*, 45-59. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9844-z>.
- Gupta, M., Kumar, S., Dwivedi, V., Gupta, D. G., Ali, D., Alarifi, S., Patel, A., & Yadav, V. K. (2024). Selective synergistic effects of oxalic acid and salicylic acid in enhancing amino acid levels and alleviating lead stress in *Zea mays* L.. *Plant Signaling & Behavior*, *19*(1), 2400451. <https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2400451>.
- Hussain, S., Hussain, S., Qadir, T., Khaliq, A., Ashraf, U., Parveen, A., Saqib M., & Rafiq, M. (2019). Drought stress in plants: An overview on implications, tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. *Plant Science Today*, *6*(4), 389-402. <https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.4.578>.
- Jamiołkowska, A. (2020). Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, *10*(2), 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>.
- Karamian, R., Ghasemlou, F., & Amiri, H. (2020). Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in *Verbascum sinuatum* plants treated with methyl jasmonate, salicylic acid and titanium dioxide nanoparticles. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *154*(3), 277-287. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1591535>.
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *27*, 487-510.
- Kılıç, T. (2023). Seed treatments with salicylic and succinic acid to mitigate drought stress in flowering kale cv. 'Red Pigeon F₁'. *Scientia Horticulturae*, *313*, 111939. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111939>
- Lawlor, D. W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, *89*(7), 871-885. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf110>.
- Lehner, A., Meimoun, P., Errakhi, R., Madiona, K., Barakate, M., & Bouteau, F. (2008). Toxic and signalling effects of oxalic acid: Oxalic acid-natural born killer or natural born protector?. *Plant Signaling & Behavior*, *3*(9), 746-748. <https://doi.org/10.4161/psb.3.9.6634>.
- Li, A., Sun, X., & Liu, L. (2022). Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 878076. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076>.

- Liang, Y., Strelkov, S. E., & Kav, N. N. (2009). Oxalic acid-mediated stress responses in *Brassica napus* L.. *Proteomics*, 9(11), 3156-3173. <https://doi.org/10.1002/pmic.200800966>.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3), 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>.
- OIV & International Plant Genetic Resources Institute. (1997). *Descriptors for grapevine (Vitis spp.)* (Vol. 19). Bioversity International.
- Pan, F., Liang, Y., Zhang, W., Zhao, J., & Wang, K. (2016). Enhanced nitrogen availability in karst ecosystems by oxalic acid release in the rhizosphere. *Frontiers in Plant Science*, 7, 687. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00687>.
- Panchal, P., Miller, A. J., & Giri, J. (2021). Organic acids: versatile stress-response roles in plants. *Journal of Experimental Botany*, 72(11), 4038-4052. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab019>.
- Pichakum, N., & Pichakum, A. (2021). Evaluating the drought endurance of landscaping ground cover plants in a roof top model. *Horticulturae*, 7(2), 31. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020031>.
- Procházková, D., Jan, S., Abd-Allah, E. F., & Ahmad, P. (2016). Water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.). In Ahmad, P. (ed.), *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach* (pp. 412-421). Wiley.
- Ramashala, T., (2024). Marigold flower production guideline. Erişim adresi: www.dalrrd.gov.za, Erişim Tarihi: 20.08.2024.
- Sadak, M. S., & Orabi, S. A. (2015). Improving thermo tolerance of wheat plant by foliar application of citric acid or oxalic acid. *International Journal of ChemTech Research*, 8(1), 111-123.
- Soukht saraei, N., Varasteh, F., & Alizadeh, M. (2024). The effect of foliar application of ascorbic acid and oxalic acid on the physiological responses of strawberry cv. Camarosa. *Journal of Horticultural Science*, 37(4), 1073-1086. <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.81120.1240>.
- Savé, R. (2007). What is stress and how to deal with it in ornamental plants?. *VI International Symposium on New Floricultural Crops, Acta Horticulturae*, 813, 241-254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.813.31>.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroğlu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and

- different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, *10*(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>.
- Taylor, L. H. (2020). Reasons to consider drought-tolerant landscaping. <https://www.th.espruce.com/drought-tolerant-landscaping-what-to-know-2736660>.
- Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, *5*(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006>.
- Wach, D., & Skowron, P. (2022). An overview of plant responses to the drought stress at morphological, physiological and biochemical levels. *Polish Journal of Agronomy*, *50*, 25-34. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.435.2022.04>.
- Wang, H. Y., Tong, H. Y., Huang, S. Z., & Yuan, H. Y. (2010). Effects of citric acid and oxalic acid on the growth and physiology of *Iris lactea* var. *chinensis* under Pb stress. *Chinese Journal of Ecology*, *29*(07), 1340-1346.
- Webb, M. A., Cavaletto, J. M., Carpita, N. C., Lopez, L. E., & Arnott, H. J. (1995). The intravacuolar organic matrix associated with calcium oxalate crystals in leaves of *Vitis*. *The Plant Journal*, *7*(4), 633-648. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1995.7040633.x>.
- Umar, S., Sharma, M. P., Khan, W., & Ahmad, S. (2017). Variation in ornamental traits, physiological responses of *Tagetes erecta* L. and *T. patula* L. in relation to antioxidant and metabolic profile under deficit irrigation strategies. *Scientia Horticulturae*, *214*, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.037>.
- Yamasaki, S., & Dillenburg, L. R. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, *11*(2), 69-75.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Yüce, M., Turan, M., & Ors, S. (2022). Drought and biostimulant treatments affected organic acid content of tomato seedlings. *Proceedings of the International Conference on Agriculture*, *7*(1), 21-28. <https://doi.org/10.17501/26827018.2022.7103>.
- Zahedi, S. M., Moharrami, F., Sarikhani, S., & Padervand, M. (2020). Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. *Scientific Reports*, *10*(1), 17672. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74273-9>.
- Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Hoveizeh, N. F., Kadkhodaei, S., & Vaculík, M. (2023). Comparative morphological, physiological and molecular analyses of drought-stressed strawberry plants affected by SiO₂ and SiO₂-NPs foliar spray. *Scientia Horticulturae*, *309*, 111686. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111686>.

- Lei, Z., Mingyu, S., Chao, L., Liang, C., Hao, H., Xiao, W., Xiaoqing, L., Fan, Y., Fengqing, G., & Fashui, H. (2007). Effects of nanoanatase TiO₂ on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. *Biological Trace Element Research*, *119*, 68-76. <https://doi.org/10.1007/s12011-007-0047-3>.
- Zhao, B., Wu, F., Cai, G., Xi, P., Guo, Y., & Li, A. (2024). Physiological response mechanism and drought resistance evaluation of *Passiflora edulis* Sims under drought stress. *Phyton International Journal of Experimental Botany*, *93*(6), 1345-1363. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.050950>.