

## Kuraklığın Ebegümeçi (*Malva sylvestris* L.) Bitkisinin Su Durumu, Büyümesi ve Antioksidan Sistem Üzerine Etkisi

### Effect of Drought on Water Status, Growth and Antioxidant System of Mallow (*Malva sylvestris* L.)

 Seda ŞAHİN<sup>1</sup>,  Hülya TORUN<sup>2</sup>

#### Özet

Ebegümeçi (*Malva sylvestris* L.), Malvaceae familyasına üye, çiçekleri mor çizgili pembe renkli, tıbbi aromatik bir bitki olup gıda ve sağlık alanlarında oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kuraklık stresinin ebegümeçi bitkisinin büyümesi, su içeriği ve antioksidan savunma sistemi enzimleri üzerine etkilerini incelemektir. Bu doğrultuda, 21 gün kuraklığa maruz bırakılan bitkinin yapraklarında nisbi büyüme, osmotik potansiyel, nisbi su içeriği, lipid peroksidasyonu, hidrojen peroksit içeriği ile süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) antioksidan enzim aktiviteleri ölçülmüştür. Kuraklık stresi altındaki bitkilerle stres uygulaması olmayan bitkiler kıyaslandığında, büyüme oranı, nisbi su içeriği, osmotik potansiyel önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca, lipid peroksidasyonu ve hidrojen peroksit miktarları kuraklık uygulaması ile artmıştır. Bitkinin savunma sistemi kuraklık stresi altında uyarılmış ve SOD, POX, CAT, APX ve GR aktivitelerinde artış kaydedilmiştir. Bu çalışmada, kuraklık stresine maruz kalan ebegümeçinde antioksidan savunma sisteminin etkinliği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antioksidan enzimler, Ebegümeçi, Kuraklık stresi, *Malva sylvestris*.

#### Abstract

Mallow (*Malva sylvestris* L.) is a member of the Malvaceae family, a medicinal aromatic plant with pink flowers with purple stripes and is widely used in food and health fields. The aim of this study was to investigate the effects of drought stress on growth, water content and antioxidant defence system enzymes of mallow. Accordingly, relative Growth rate, osmotic potential, relative water content, lipid peroxidation, hydrogen peroxide content and antioxidant enzyme activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POX), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and glutathione reductase (GR) were measured in the leaves of plants exposed to drought for 21 days. When plants under drought stress were compared with non-stressed plants, growth rate, relative water content and osmotic potential were significantly decreased. In addition, lipid peroxidation and hydrogen peroxide levels increased with drought stress. Plant defence system was stimulated under drought stress and SOD, POX, CAT, APX and GR activities were increased. In this study, the efficiency of antioxidant defence system in mallow exposed to drought stress was determined.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Drought stress, Mallow, *Malva sylvestris*.



## 1. Giriş

Tarım, evrensel boyutta su tüketiminin en yoğun olduğu alandır ve UNESCO (2022) raporlarına göre suyun daha etkin kullanılması için etkili kullanım mekanizmalarının oluşması gerekmektedir. Artan nüfus ve değişen beslenme alışkanlıkları nedeniyle tarımsal faaliyetlere olan talep ivmelenirken su kullanımda da artış meydana gelmektedir (Fukase ve Martin, 2020). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) raporunda da belirtildiği üzere, iklim değişikliği gıda güvenliğine yönelik riskleri artırmaktadır. Açlık ve yetersiz beslenme ile mücadele etmek üzere geliştirilen tarımsal faaliyetlerdeki ilerleme, iklim değişikliği ile tersine çevrilebilecek boyuta ulaşabilecektir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) tahminlerine göre, nüfus artışı ile doğru orantılı olarak artan talebi karşılayabilmek adına tarımsal faaliyetlerde 2050 yılında ortalama %60 artış beklenmekte olup bu durum iklim değişikliği ile tehdit altındadır (Gitz ve ark., 2016). İklim değişikliği etkileri ile dünyanın birçok yerinde yağış rejiminin düşmesi, sıcaklıkların artması ve değişen hava koşulları ile suyun mevcudiyeti önemli oranda düşerek su sorunu meydana gelmektedir (Greve ve ark., 2014 ; Xiao ve ark., 2020). Dolayısıyla sesil doğaları gereği yaşamları boyunca sıklıkla su eksikliği ile yaşamak zorunda olan bitkiler (Abdalla ve ark., 2022) iklim değişikliğiyle de su kıtlığı ile karşı karşıya kalmaktadır.

Bitkilerin yaşadıkları çevrede karşılaştıkları olumsuzluklar ile verimi sınırlayan eş ya da ayrı zamanlı faktörler bitkilerin strese girmesine neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2020; Nawaz ve ark., 2023). Stres, bitki hücresindeki yapısal ya da metabolik faaliyetleri olumsuz etkileyerek bitkilerin zorlu koşullara uyum sağlamaması söz konusu olduğunda ölüme de neden olabilmektedir. Bitkinin strese karşı verdiği tepki, stres faktörünün süresi, şiddeti ve stres ile mücadele yeteneği beraberindeki genetik özelliklerine bağlıdır (Hideg ve ark., 2013). Küresel boyutta bitki büyümesini ve gelişimini en çok etkileyen abiyotik stres türü kuraklıktır (Ramakrishna ve Ravishankar, 2011). Az ya da hiç yağış görülmemesi ile kendini gösteren meteorolojik bir terim olan kuraklık, iklimle ilgili en çok karşılaşılan stres faktörü olarak kabul edilmektedir (Raza, ve ark., 2019; Rojas, 2020). Yaprak su potansiyelinin azalması, turgor basıncının düşmesi, stomaların kapanması ve hücre gelişiminin sekteye uğraması kuraklık stresinin bitkide neden olduğu durumlardır (Osakabe ve ark., 2014). Ayrıca, su kıtlığı bitkide klorofil miktarını azaltıp iyon taşınım mekanizmasını bozarak fotosentez ve solunum gibi metabolik olayları olumsuz etkileyip fizyolojik ve biyokimyasal olayları sekteye uğratmaktadır (Hussain ve ark., 2018). Stomalarda iletkenlik bozularak fotosentetik aygıt, karbon döngüsü ve elektron taşınımı sekteye uğramaktadır (Hura ve ark.,

2022). Ayrıca, kuraklık stresi reaktif oksijen türlerinin üretilmesine neden olarak antioksidan savunma sisteminde dengesizliğe yol açmaktadır (Hasanuzzaman ve Fujita, 2022).

Ebegümeçi (*Malva sylvestris* L.) Malvaceae familyasına üye çiçekli bir bitkidir (Mustafa ve Ali, 2011). Çiçekleri mor çizgili pembe olan ve yaprakları kalp şeklini andıran 5 ile 7 loblu ebegümeçi bitkisi fitokimyasal açıdan zengin bileşik kaynağıdır (Sabir ve Rocha 2008; Tabaraki ve ark., 2012). Bu özelliğinden dolayı gıda ve tıp alanlarında kullanılmaktadır (Tabaraki ve ark., 2012). Diyabet ve otoimmün bozukluk gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde tıbbi olarak kullanılmasının yanı sıra geleneksel olarak da öksürük, dizanteri, hipertansiyon ve cilt hastalıklarında tedavi amaçlı kullanılmaktadır (Marouane ve ark., 2011; Akash ve ark., 2012, 2013; Razavi ve ark., 2011). Tedavi amaçlı doğal yöntemlerin çok kez tercih edildiği bilindiğinden tıbbi aromatik bir bitki olan ebegümeçinin kuraklık stresine toleransının belirlenmesi ve yetiştirme koşullarının incelenmesi önem arz etmektedir (Newman ve Cragg, 2016).

Bu çalışmada, geniş yayılış alanına sahip, tıpta kullanımı yoğun, aynı zamanda süs bitkisi olarak kullanılan ve ekonomik değeri giderek artmakta olan ebegümeçi bitkisinin kuraklık stresi altındaki fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini tespit etmek amaçlanmıştır. Kuraklık stresi altında yetişen ebegümeçi bitkisi ile literatürde yer alan çalışmaların kısıtlı olmasından dolayı bu çalışmada kuraklık stresinin ebegümeçi yapraklarında nisbi büyüme oranı, osmotik potansiyel, nisbi su içeriği, lipid peroksidasyonu ve hidrojen peroksit içeriği ve antioksidan enzim aktiviteleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Bitki Materyali ve Yetiştirme Koşulları

Bu çalışma kontrollü sera koşullarında (27/22°C, gece/gündüz, 16/8 saat; %70 bağıl nem) gerçekleştirilmiştir. Ebegümeçi (*Malva sylvestris* L.) tohumları doğadan elde edilmiş ve saf su ile yıkanarak kirden arındırıldıktan sonra sodyum hipoklorit ile 15 dk dezenfekte edilerek ardından saf su ile iyice yıkanmıştır. Sterilizasyon işleminin ardından tohumlar 1:1:1 oranında torf:perlit:kum içeren 16 cm'lik saksılara ekilmiştir. Bu şekilde 3 ay boyunca bitkiler yetiştirilmiş ve sonrasında kuraklık uygulaması başlatılmıştır. Kontrol bitkilerine üç günde bir sulama yapılırken, sulama işlemi yapılmayan bitkiler kuraklık stresli grup olarak belirlenmiştir. Normal sulanan ve sulama yapılmayan bitkiler 3 hafta sonunda yaprak boyları ölçülerek hasat edilmiştir. Hasat sonrası yapraklar sıvı azottan geçirilerek diğer analizler için -80°C'de korunmuştur.

## 2.2. Nisbi Büyüme Oranı, Nisbi Su İçeriği ve Osmotik Potansiyelin Belirlenmesi

Nisbi büyüme oranı (RGR) rasgele seçilen 10 bitki üzerinden hesaplanmıştır. Kuraklık uygulaması öncesi ve sonrasında yaprak numuneleri alınarak etüvde 70°C'de kurutulmuş ve ardından tartılarak kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Yapraklara ait RGR değeri hesaplanmıştır (Hunt ve ark., 2002). Nisbi su içeriği (RWC) için yaprakların öncelikle yaş ağırlıkları belirlenerek saf su içerisinde yaklaşık 12 saat bekletilerek turgid ağırlıkları kaydedilmiş ve ardından etüvde kurutulmuştur. Yapraklara ait RWC değeri hesaplanmıştır (Smart ve Bingham, 1974). Osmotik potansiyel için ebegümece bitkisinin stresli ve stressiz yapraklarından alınan örnekler ezilerek 5000 rpm'de 5 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrasında ölçümler cihaz yardımı ile gerçekleştirilmiştir (Santa-Cruz ve ark., 2002).

## 2.3. Lipid Peroksidasyonu ve Hidrojen Peroksit Miktarının Belirlenmesi

Lipid peroksidasyonu miktarının tespiti için yapraklardan 0,5 gr tartılarak %0,1'lik trikloroasetik asit (TCA) ile muamele edilmiştir. Elde edilen özüt %0,5 tiyobarbütirik asit içeren %20 TCA ile karıştırılmıştır. Örnekler 90 °C'de 30 dakika bekletilmiş ve elde edilen çözeltiler 532 ve 600 nm'de ölçülmüştür (Madhava ve Sresty, 2000). Hidrojen peroksit miktarının tespiti için ise 0,5 g yaprak %1'lik TCA ile muamele edilmiştir ve ardından santrifüj edilmiştir. Özüt %0,1'lik TiCl<sub>4</sub> ile muamele edildikten sonra elde edilen çözeltiler 410 nm'de ölçülerek  $\mu\text{mol/g H}_2\text{O}_2$  olarak belirlenmiştir (Liu ve ark., 2000).

## 2.4. Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

Enzim aktivitelerinin tespiti için 0,5 g yaprak 50 mM fosfat tamponu (1 mM EDTA, %1 polivinilpirolidon; pH 7.0) ile muamele edilmiştir. Askorbat peroksidaz aktivitesi için ayrıca 2 mM askorbik asit tampona ilave edilmiştir. Örnekler 1400g'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Özüt aktivite tayininde kullanılmıştır. Özütlerdeki protein miktarları ise Bradford (1976)'a göre belirlenmiştir. Süperoksit dismutaz aktivitesi için Beauchamp ve Fridovich (1971), peroksidaz aktivitesi Mika ve Lüthje (2003), katalaz aktivitesi Aebi (1984), askorbat peroksidaz aktivitesi Nakano ve Asada (1981) ve glutatyon redüktaz aktivitesi Foyer ve Halliwell (1976) tarafından belirlenen yöntemlere göre ölçülmüştür.

## 2.5. İstatiksel Analizler

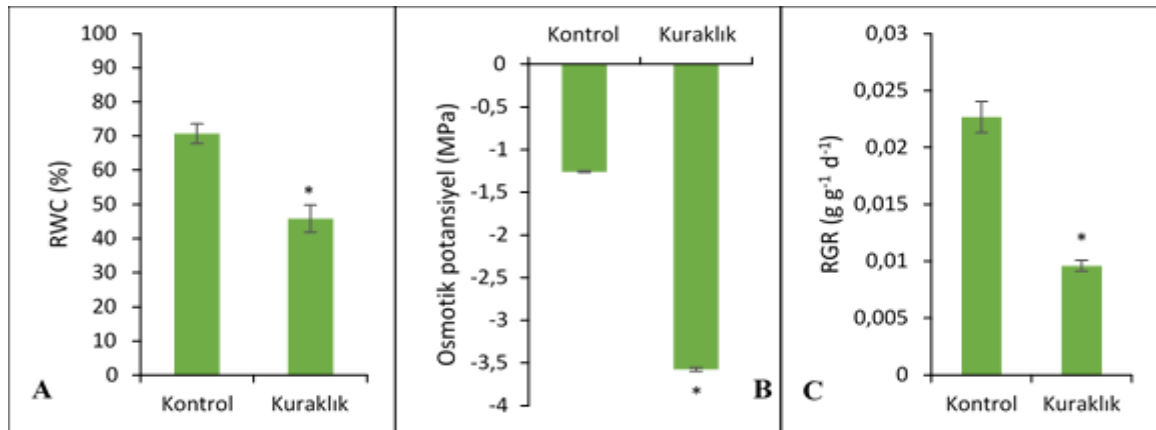
Tüm denemeler (RGR hariç) 3 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Verilerin analizi için tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Sonuçlar aritmetik ortalama  $\pm$  standart hata olarak ifade edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile karşılaştırılmıştır ( $P < 0,05$ ).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Kuraklık stresi bitkilerde meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir (Ahmad ve ark., 2018). Bu çalışmada, kuraklık stresinin ebegümece bitkisinin fizyolojisini olumsuz etkilediği ortaya konulmuştur. Kuraklık stresi altında bitkideki su mevcudiyetini belirlemek amacıyla yapraklarda bağıl su içeriği (RWC) ölçülmüştür. Ebegümece yapraklarındaki RWC içeriği kuraklık stresi ile kontrol bitkilerine kıyasla %35,2 oranında azalmaktadır (Şekil 1A). Benzer şekilde, sorgum (Bijanzadeh ve ark., 2023) ve yulaf (Tian ve ark., 2022) bitkilerinin yapraklarında da kuraklıkla birlikte RWC miktarları azalmıştır. Kuraklık stresi kaynaklı bu azalma istatistiksel olarak anlamlı ( $P < 0,05$ ) bulunmuştur.

Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler turgorlarını koruyabilmek için hücre içerisinde birtakım maddeler biriktirerek osmotik potansiyeli düzenler ve bu durum kuraklık toleransını belirlemede önemli bir belirteçtir (Bayar ve Deligöz, 2019). Ebegümece bitkisinin kuraklık stresli bitkilerinin yaprak osmotik potansiyeli kontrol bitkilerine kıyasla önemli ölçüde ( $P < 0,05$ ) azalmıştır (Şekil 1B). *Vigna umbellata* (Thunb.) ile yapılan denemede de benzer şekilde kuraklık stresi ile osmotik potansiyel azalmıştır (Atta ve ark., 2022).

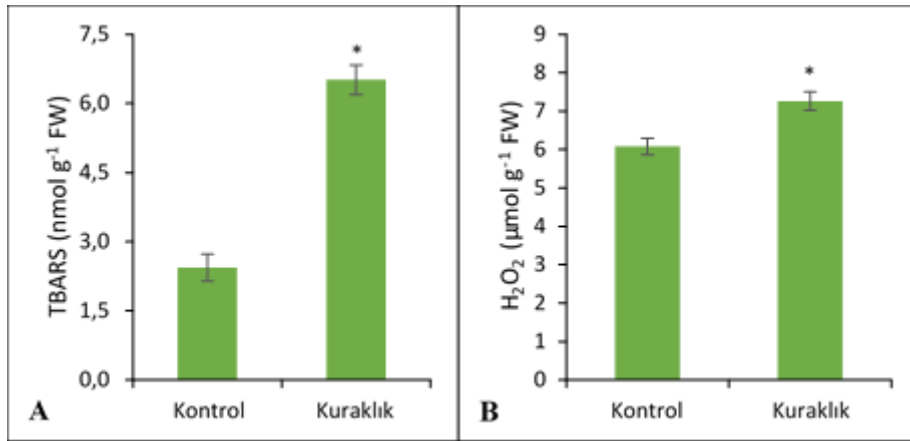
Bitkinin büyümesi de kuraklık stresinden olumsuz etkilenmiştir. Kuraklık stresi altında olan ebegümece bitkisinde stres altında olmayan bitkilere kıyasla RGR %58,3 oranında azalmıştır (Şekil 1C). Çalışmamızla benzer sonuçlar, domates (Rady ve ark., 2020), hardal (Suhail ve ark., 2023) ve bezelye (Mazhar ve ark., 2023) bitkilerinde de kaydedilmiş ve kuraklık stresi büyümeyi istatistiksel anlamda önemli ölçüde ( $P < 0,05$ ) azaltmıştır. Kuraklık stresi altında büyümenin kısıtlanması, bitkinin su içeriğindeki düşüşle doğru orantılıdır.



**Şekil 1.** Kuraklık stresinin ebegümece (*Malva sylvestris* L.) bitkisinde nisbi su içeriği (RWC, A), osmotik potansiyel (B) ve nisbi büyüme oranı (RGR, C) üzerine etkileri. Veriler ortalama  $\pm$  standart sapmayı temsil etmektedir. Yıldız işareti ile gösterilen sütunlarda  $P < 0,05$  düzeyinde fark vardır.

Stres faktörlerinin neden olduğu hasarların en önemli göstergelerinden biri lipid peroksidasyonudur (Bettaieb vd., 2011). Membran lipidlerinin peroksidasyon düzeylerinin ölçülmesi, kuraklığın yol açtığı oksidatif hasarın derecesi ile bitkinin strese karşı toleransının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Dvojković vd., 2023). Yapılan ölçümler sonucunda, kuraklık stresi altındaki ebegümece bitkisinde lipid peroksidasyonu seviyesi stresli olmayan bitkilere kıyasla yaklaşık 2,7 kat artmıştır (Şekil 2A). Benzer şekilde, kuraklık stresi kinoaada (Abbas ve ark., 2024) ve buğdayda (Upadhyay vd., 2020) lipid peroksidasyonunun artmasına sebep olmuştur. Bu veriler, kuraklık stresinin ebegümeceinde membran lipidlerinin yapısının bozulduğunun bir göstergesi olmakla birlikte oksidatif hasarın da meydana geldiğini göstermektedir.

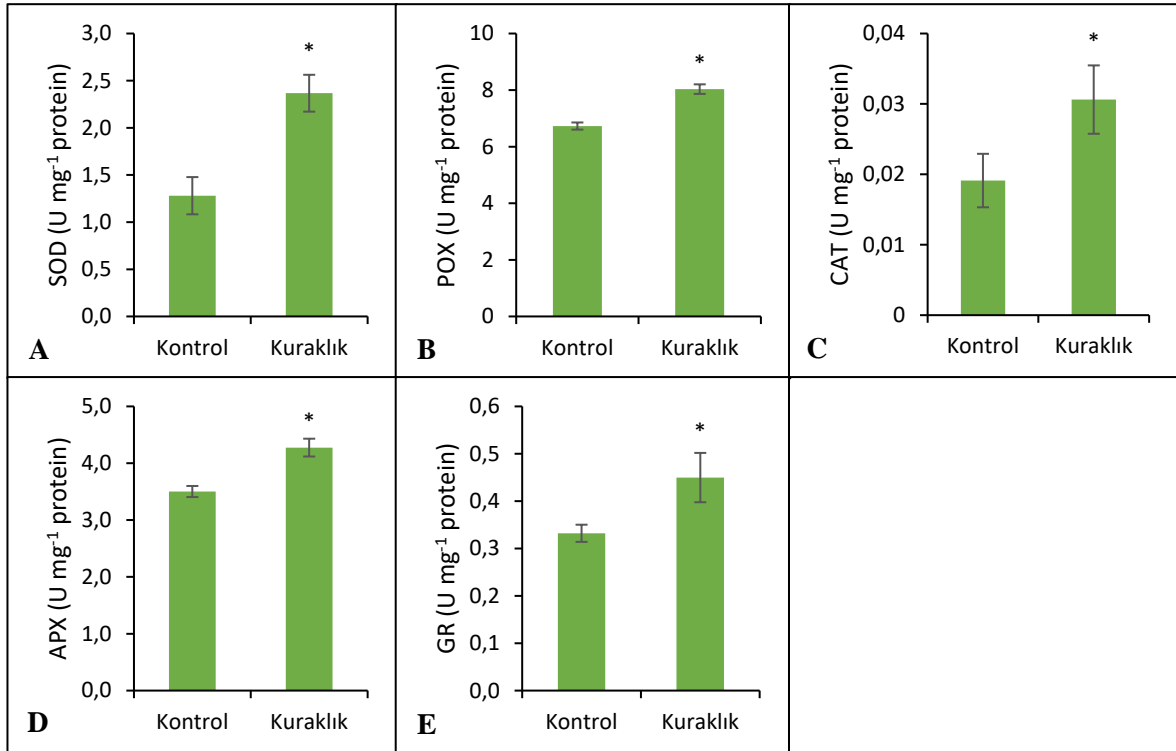
Kuraklık stresi bitkilerin osmotik dengesini bozarak fotosentez hızını düşürerek reaktif oksijen türlerinin oluşmasına yol açmaktadır (Lee ve Park, 2012; Ahanger ve Agarwal, 2017). Hidrojen peroksit bir reaktif oksijen türü olup kuraklık gibi stres koşullarına yanıt olarak metabolik savunma mekanizmalarını tetiklemekle görevli bir bitki sinyal molekülüdür (Barzotto vd., 2023). Kontrol ve kuraklık grubu ebegümece bitkileri kıyaslandığında, kuraklık grubunda %19,6 oranında hidrojen peroksit miktarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 2B). Bu artış kuraklık stresi altında sinyal iletiminin bir göstergesi olarak meydana gelen hidrojen peroksit artışıdır (Bailey-Serres ve Mittler, 2006).



**Şekil 2.** Kuraklık stresinin ebegümece (*Malva sylvestris* L.) bitkisinde lipid peroksidasyonu (TBARS, A) ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, B) miktarı üzerine etkileri. Veriler ortalama ± standart sapmayı temsil etmektedir. Yıldız işareti ile gösterilen sütunlarda  $P < 0,05$  düzeyinde fark vardır.

Bitkiler enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemlerine sahiptir. Çalışmamızda, kuraklığın antioksidan savunma sisteminde değişim meydana getirip getirmediğini belirlemek için, ebegümece bitkisinde süperoksit dismutaz (SOD), guaiacol peroksidaz (POX), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR)

enzim aktiviteleri ölçülmüştür ve kuraklık stresi altında meydana gelen değişimler kaydedilmiştir. Antioksidanlar, hücrelerdeki protein, lipid, karbohidrat ve DNA gibi maddelerin oksidasyonunu önleyen veya geciktiren maddeler olup bu maddelerin aktivitesi sonucunda bitkilerin korunmasına katkı sağlayan bu süreç antioksidan savunma olarak adlandırılmaktadır (Aydın ve ark., 2012). Antioksidan savunma sistemine ait enzimler, hücrenin metabolik ve fizyolojik süreçlerini düzenlemede kritik öneme sahip, yaşamsal işlevleri olan bileşiklerdir (Doyotte ve ark., 1997). Serbest radikallerin zararsız hale getirilmesi, oluşumlarının engellenmesi ve biyolojik moleküllerin onarılmasına yardımcı olmaktadır (Dündar ve Aslan 2000). Çalışmamızda kuraklık stresi altında SOD, POX, CAT, APX ve GR enzimlerinin aktiviteleri kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla %85,2, %19,3, %63,2, %22,3 ve %36,4 artmıştır (Şekil 3A-E). Literatür incelendiğinde çalışmamızla benzer şekilde, mercimek (Teker, 2017), çeltik (Elbasan, 2019) ve mısır bitkilerinde de (Shahimoghdam ve ark., 2024) kuraklık stresi altında artan antioksidan savunma sistemi enzim aktiviteleri kaydedilmiştir.



**Şekil 3.** Kuraklık stresinin ebegümeçi (*Malva sylvestris* L.) bitkisinde süperoksit dismutaz (SOD, A), guaiacol peroksidaz (POX, B), katalaz (CAT, C), askorbat peroksidaz (APX, D) ve glutatyon redüktaz (GR, E) enzim aktiviteleri üzerine etkileri. Veriler ortalama  $\pm$  standart sapmayı temsil etmektedir. Yıldız işareti ile gösterilen sütunlarda  $P < 0,05$  düzeyinde fark vardır.



#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, önemli kullanım alanları olan ebegümece (*Malva sylvestris* L.) bitkisinde kuraklık stresi altında meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal değişimler incelenmiştir. Kuraklık stresi, ebegümeceinde nisbi büyüme oranı, osmotik potansiyel ve nisbi su içeriklerini önemli ölçüde azaltmıştır. Diğer taraftan, kuraklık ile lipid peroksidasyon seviyesi ve hidrojen peroksit miktarlarında artış belirlenmiştir. Buna ek olarak antioksidan savunma sistemi enzimleri olan süperoksit dismutaz, peroksidaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz enzimlerinin aktivitelerinde de artış kaydedilmiştir. Türkiye’de doğal olarak yetişen ancak kullanım alanı yaygınlığı ile tarımı yapılabilecek ekonomik değere sahip olan ebegümece bitkisinin kuraklık stresi altında kaydedilen enzim aktiviteleri varlığında etkili kuraklık toleransı gösterdiği görülmektedir. Tüm bu verilere ek olarak, enzimatik olmayan antioksidanlar, fitohormonlar ve sinyal iletiminde görev yapan moleküllerin varlığının tespit edilmesi gelecek çalışmalar için ebegümece bitkisinin kuraklık toleransının daha ayrıntılı olarak aydınlatılmasında kullanılabilir.

#### Kaynaklar

- Abbas, G., Murtaza, B., Amjad, M., Saqib, M., Akram, M., Naeem, M. A., & Ahmed, K. (2024). Heat stress resulting from late sowing impairs grain yield and quality of quinoa genotypes facing drought and salt stress under field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(4), e12717.
- Abdalla, M., Ahmed, M. A., Cai, G., Wankmüller, F., Schwartz, N., Litig, O., Javaux, M., & Carminati, A. (2022). Stomatal closure during water deficit is controlled by below-ground hydraulics. *Annals of Botany*, 129, 161-170.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In: *Methods in Enzymology*. (eds) Colowick. S. P., Kaplan, N. O., Orlando: Academic Press, 114-121.
- Agriculture| UN World Water Development Report. (2022). <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en/agriculture>. (Eriřim Tarihi: 21.11.2024).
- Ahmad, Z., Anjum, S., Waraich, E. A., Ayub, M. A., Ahmad, T., Tariq, R. M. S., Ahmad, R., & Iqbal, M. A. (2018). Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress – A review. *Journal of Plant Nutrition*, 41, 1734-1743.

- Ahanger, M. A., & Agarwal, R. M. (2017). Potassium up-regulates antioxidant metabolism and alleviates growth inhibition under water and osmotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L). *Protoplasma*, 254, 1471-1486.
- Akash, M. S. H., Rehman, K., & Chen, S. (2013). Role of inflammatory mechanisms in pathogenesis of type 2 diabetes mellitus. *Journal of Cellular Biochemistry*, 114, 525-531.
- Akash, M. S. H., Shen, Q., & Rehman, K. (2012). Interleukin-1 receptor antagonist: a new therapy for type 2 diabetes mellitus. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 101, 1647-1658.
- Atta, K., Sen, J., Chettri, P., & Pal, A. K. (2022). Antioxidant responses of ricebean [*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi and Ohashi] seedling under iso-osmotic potential of salinity and drought stress. *Legume Research-An International Journal*, 45(4), 429-434.
- Aydın, S. S., Gökçe, E., Büyük, İ., & Aras, S. (2012). Characterization of stress induced by copper and zinc on cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings by means of molecular and population parameters. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 746(1), 49-55.
- Bayar, E., & Deligöz, A. (2019). *Cedrus libani* ve *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* ağaçlandırma alanında kurak dönemde ağaç-su ilişkisi değişimleri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(4), 317-323.
- Bailey-Serres, J., & Mittler, R. (2006). The roles of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiology*, 141(2), 311.
- Barzotto, G. R., Cardoso, C. P., Jorge, L. G., Campos, F. G., & Boaro, C. S. F. (2023). Hydrogen peroxide signal photosynthetic acclimation of *Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom under water deficit. *Scientific Reports*, 13, 13059.
- Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-287.
- Bettaieb, I., Hamrouni Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2011). Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4), 1103-1111.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of the protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.

- Bijanazadeh, E., Naderi, R., & Barati, V. (2023). Water uptake, anatomical, and biochemical changes of sorghum genotypes subjected to polyethylene glycol-induced drought stress. *Arid Land Research and Management*, 37(4), 554-576.
- Doyotte, A., Cossu, C., Jacquin, M.C., Babutb, M., & Vaseural, P. (1997). Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *unio tumidus*. *Aquatic Toxicology*, 39, 93-110
- Dündar, Y., & Aslan. R. (2000). *Hekimlikte oksidatif stres ve antioksidanlar*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Afyonkarahisar.
- Dvojković, K., Plavšin, I., Novoselović, D., Šimić, G., Lalić, A., Čupić, T., Horvat, D., & Viljevac Vuletić, M. (2023). Early antioxidative response to desiccant-stimulated drought stress in field-grown traditional wheat varieties. *Plants (Basel)*, 12(2), 249.
- Elbasan, F. (2019). ‘Çoklu streslere maruz bırakılan çeltik (*Oryza sativa* L.) yapraklarında eksojen skandiyum (sc)'un reaktif oksijen türleri (ROS) ve antioksidan savunma sistemi üzerine etkileri’. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Foyer, C. H., & Halliwell, B. (1976). *The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism*. *Planta*, 133, 21–25.
- Fukase, E., & Martin, W. (2020) Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Development*, 132, 104954.
- Gitz, V., Meybeck, A., Lipper, L., Young, C. D., & Braatz, S. (2016). *Climate Change and Food security: Risks and Responses*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report.
- Greve, P., Orłowsky, B., Mueller, B., Sheffield, J., Reichstein, M., & Seneviratne, S. I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature Geoscience*, 7, 716–721.
- Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant oxidative stress: biology, physiology and mitigation. *Plants (Basel)*, 11(9), 1185.
- Hideg, E., Jansen, M. A. K., & Strid, A. (2013). UV-B exposure, ROS, and stress: Inseparable companions or loosely linked associates? *Trends in Plant Science*, 18, 107-115.
- Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B., & Askew, A. P. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, 90, 485-488.

- Hura, T., Hura, K., & Ostrowska, A. (2022). Drought-stress induced physiological and molecular changes in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4698.
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 9, 393.
- Lee, S., & Park, C. M. (2012). Regulation of reactive oxygen species generation under drought conditions in Arabidopsis. *Plant Signaling & Behavior*, 7(6), 599-601.
- Liu, J., Lu, B., & Xun, A. L. (2000). An improved method for the determination of hydrogen peroxide in leaves. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 27, 548–551.
- Madhava-Rao, K. V., & Sresty, T. V. S. (2000). Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Science*, 157, 113-128.
- Marouane, W., Soussi, A., & Murat, J. C. (2011). The protective effect of *Malva sylvestris* on rat kidney damaged by vanadium. *Lipids in Health and Disease*, 10, 65.
- Mazhar, M. W., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Ullah, F., Sayed, S. R., & Mahmoud, E. A. (2023). Seed priming with iron oxide nanoparticles improves yield and antioxidant status of garden pea (*Pisum sativum* L.) grown under drought stress. *South African Journal of Botany*, 162, 577-587.
- Mika, A., & Lüthje, S. (2003). Properties of guaiacol peroxidase activities isolated from corn root plasma membranes. *Plant Physiology*, 132, 1489–1498.
- Mustafa, A., & Ali, M. (2011). New steroidal lactones and homomonoterpenic glucoside from fruits of *Malva sylvestris* L. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 68(3), 393–401.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867–880.
- Nawaz, M., Sun, J., Shabbir, S., Khattak, W. A., Ren, G., Nie, X., Bo, Y., Javed, Q., Du, D., & Sonne, C. (2023). A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors. *Science of The Total Environment*, 900, 65832.
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2016). Natural products as sources of new drugs over the period 1981-2014. *Journal of Natural Products*, 79(3), 629-661.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5, 86.
- Rady, M. M., Belal, H. E. E., Gadallah, F. M., & Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, 109290.

- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, *6*, 1720-1731.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A Review. *Plants*, *8*, 34.
- Razavi, S. M., Zarrini, G., & Molavi, G. (2011). Bioactivity of *Malva sylvestris* L., a medicinal plant from Iran. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, *14*, 574-579.
- Rojas, O. (2020). Agricultural extreme drought assessment at global level using FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS). *Weather and Climate Extremes*, *27*, 100184.
- Sabir, S. M., & Rocha, J. B. T. (2008). Water-extractable phytochemicals from *Phyllanthus niruri* exhibit distinct in vitro antioxidant and in vivo hepatoprotective activity against paracetamol-induced liver damage in mice. *Food Chemistry*, *111*, 845–851.
- Santa-Cruz, A., Martinez-Rodriguez, M. M., Perez-Alfocea, F., Romero-Aranda, R., & Bolarin M.C. (2002). The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Science*, *162*, 825–831.
- Shahimoghdam, M., Asghari, A., Moharramnejad, S., Dehghanian, Z., Singh, S. K., Sivalingam, K. M., & Marisennayya, S. (2024). Variation in oxidative defense system and physiological traits in maize under drought stress. *Plant Science Today*, *11*(2).
- Smart, R. E., & Bingham, G.E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, *53*, 258-260.
- Suhail, F., Afzal, A., Naseer, L., Pervaiz, A., Ikram, M., Shaheen, S., & Khan, N. (2023). Influence of phosphate solubilizing bacteria on the growth of mustard grown under drought stress conditions. *Agricultural Research*, *12*(4), 375-386.
- Tabaraki, R., Yosefi, Z., & Asadi Gharneh, H. A. (2012). Chemical composition and antioxidant properties of *Malva sylvestris* L. *Journal of Research in Agricultural Science*, *8*(1), 59-68.
- Teker, M. (2017). ‘Mercimek bitkisi *Orobanche crenata* Forsk. interaksyonunda eksojen glisin betainin antioksidan savunma sistemi üzerine etkisi’. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Tian, H., Zhou, Q., Liu, W., Zhang, J., Chen, Y., Jia, Z., & Wang, H. (2022). Responses of photosynthetic characteristics of oat flag leaf and spike to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 917528.
- Upadhyay, D., Budhlakoti, N., Singh, A. K., Bansal, R., Kumari, J., Chaudhary, N., Padaria, J. C., Sareen, S., & Kumar, S. (2020). Drought tolerance in *Triticum aestivum* L.

genotypes associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *BioTech*, 10(6), 281.

Xiao, M., Yu, Z., Kong, D., Gu, X., Mammarella, I., & Montagnani, L. (2020). Stomatal response to decreased relative humidity constrains the acceleration of terrestrial evapotranspiration. *Environmental Research Letters*, 15, 094066.

Zhang, H., Zhao, Y., & Zhu, J. K. (2020). Thriving under stress: how plants balance growth and the stress response. *Developmental Cell*, 55(5), 529-543.