

Yapraktan Uygulanan Glisin Betainin Kısıtlı Su Stresi Altındaki Avrupa Armutlarına (*Pyrus communis* L.) Etkisi

Melih AYDINLI^{1*}, İbrahim GÜR¹, Bahar TÜRKELİ¹, Mesut ALTINDAL¹, Cenk KÜÇÜKYUMUK²

¹Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Eğirdir, 32500/İSPARTA

²İzmir Demokrasi Üniversitesi, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, 35140/İZMİR

*melih.aydinli@tarimorman.gov.tr (Sorumlu yazar)

Özet

Kuraklık stresi, birçok ürün grubunda olduğu gibi bahçe bitkilerinde de yetiştiriciliği kısıtlamaktadır. Yetiştiriciliği sınırlanan türler arasında armut (*Pyrus* spp.) gelmektedir. Bitkiler stres faktörlerini dışsal uygulamalar ile kısmen yönetilebilmektedir. Önemli bir ozmolit olan glisin betain, kuraklık stresi gibi olumsuz çevre koşullarında osmotik basıncın düzenlenmesinde katkı sağlamaktadır. Yapılan çalışmada 18lt'lik saksılardaki bir yaşlı Ankara/BA 29 ve Deveci/BA 29 fidanlarına tarla kapasitesinin %50'si (orta stres) ve %25'i (ağır stres) kadar kısıtlı sulama suyu uygulanarak stres oluşturulmuştur. Stres uygulamalarının başında (0. gün) yapraktan 0 mM (kontrol) ve 10 mM glisin betain (GB) uygulamaları yapılmış, bazı morfolojik ve fizyolojik parametreler değerlendirilmiştir. Buna göre zararlanma derecesi stres sonucunda artmış ancak GB uygulamaları daha düşük puanlara sahip olmuşlardır. Membran stabilitesi kontrole kıyasla 10 mM GB uygulamalarında önemli şekilde artmıştır. İlaveten membran stabilitesi üzerine GB konsantrasyonu x stres şiddeti etkileşimi önemli bulunmuştur. Sonuçlar yapraktan uygulanan glisin betainin kısıtlı su stresi altındaki Avrupa armutlarında oluşan stresi hafifletebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Pyrus communis* L., su kısıtı, glisin betain, tolerans

Effect of Foliar Treatment Glycine Betaine on European Pears (*Pyrus communis* L.) Under Water-Deficit Stress

Abstract

Drought stress restricts the cultivation of horticultural crops, as in many product groups. Pear (*Pyrus* spp.) is among these species that cultivation is restricted. Plants can partially manage stress factors with external treatments. Glycine betaine, an important osmolyte, contributes to the regulation of osmotic pressure in adverse environmental conditions such as drought stress. In the study, stress was created by applying limited irrigation water to 50% (medium stress) and 25% (heavy stress) of the field capacity to one-year-old Ankara/BA 29 and Deveci/BA 29 saplings in 18lt pots. At the beginning of the stress treatments (day 0), 0 mM (control) and 10 mM glycine betaine (GB) were applied to the leaves, and some morphological and physiological parameters were evaluated. Accordingly, the degree of injury increased as a result of stress, but GB treatments had lower scores. Membrane stability increased significantly in 10 mM GB treatments compared to the control. Additionally, the interaction of GB concentration x stress intensity was found to be important on membrane stability. The results show that foliar treatment of glycine betaine can alleviate stress in European pears under water-deficit stress.

Keywords: *Pyrus communis* L., water-deficit, glycine betaine, tolerance

Giriş

Su kısıtı veya kuraklık, bahçe bitkilerinin verimliliğini sınırlandıran en önemli çevresel stres faktörlerinden biridir (Bolat vd., 2022). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde vejetatif gelişimin baskılanması, gaz alış-verişinin kısıtlanması, hücresel metabolizmaya zarar verebilecek bileşiklerin sentezlenmesi veya sentezinin artması gibi bir takım morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir.

Bitkiler bünyelerinde ortaya çıkan değişimlere tolerans mekanizmalarına yönelerek karşı gelmektedir (Bakır vd., 2022). En yaygın tepkilerden biri ise uyumlu organik çözünenlerin sentezidir (Serraj ve Sinclair, 2002). Yüksek hücresel konsantrasyonlarda toksik olmayan uyumlu çözünenler, düşük molekül ağırlığına sahip oldukça çözülebilen bileşiklerdir (Ashraf ve Foolad, 2007). Bu bileşenler

hücresel osmotik ayarlamaya, reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonuna, membran bütünlüğünün korunmasına ve enzim/proteinlerin stabilizasyonuna katkı yaparak bitkileri korumaktadır (Yancey vd., 1982; Bohnert ve Jensen, 1996; Ashraf ve Foolad, 2007). İlaveten bu bileşikler, hücresel yapıları osmotik strese karşı korudukları için osmoprotektanlar olarak da isimlendirilmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007). Bahsedilen bileşikler arasında bitkilerde en çok bulunanlardan biri kuerterner amonyum bileşiği olan glisin betaindir ve aralarında kuraklığın da bulunduğu pek çok stres faktörüne karşı doğal olarak sentezlenmekte ve/veya biriktirmektedir (Mansour, 2000; Yang vd., 2003; Demiral ve Türkan, 2004; Nahar vd., 2016). Bugüne kadar farklı türlerde yapılan çalışmalarda kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde glisin betain sentezinin arttığı bildirilmiştir (Quan vd.,

2004; Lv vd., 2007; He vd., 2011). Normal koşullarda veya stres altındaki bitkilerde glisin betain sentezi türe özgü farklılıklar göstermektedir. Tütün (*Nicotiana tabacum*), çeltik (*Oryza sativa*), mantar (*Brassica* spp.), domates gibi türlerde glisin betain sentezlenmezken armut (*Pyrus* spp.) glisin betain sentezinin/birikiminin çok az olduğu türler içerisinde yer almaktadır (Larher vd., 2009). Sentezin çok az olduğu veya hiç olmadığı türlerde dışarıdan yapılan glisin betain uygulamaları ile bitkilerin stresi yönetmede başarılı oldukları önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Rahman vd., 2002; Demiral ve Türkan, 2004; Oukarraum vd., 2012; Shan vd., 2016; Zulfiqar vd., 2022). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde de dışarıdan yapılan glisin betain uygulamalarının stresi hafifletmede başarılı oldukları farklı türlerde belirlenmiştir (Rezaei vd., 2012; Aldesuquy vd., 2013; Shemi vd., 2021).

2020 yılı verilerine göre armut, Dünya'da 23 milyon, Türkiye'de ise 540 000 tonu aşan üretimi ile yumuşak çekirdekli meyve türleri içerisinde ikinci sırada yer almaktadır (FAO, 2022). Özellikle Avrupa armutlarının (*Pyrus communis* L.) yetiştiriciliğinde lokomotif ülkelerden biri olan ve Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye'de armut yetiştiriciliği zaman zaman kısıtlı sulama uygulamalarına veya iklim faktörlerinin sonucu olarak kuraklığa maruz kalmaktadır.

Buradan hareketle Türkiye armut yetiştiriciliğinde önemli bir yere sahip olan Ankara ve Deveci armut çeşitlerinde kısıtlı sulama sonucu ortaya çıkan osmotik stresin olumsuz etkilerinin yapılan dışsal glisin betain uygulamaları ile ne derecede etkilendiğinin belirlenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma, Isparta ili Eğirdir ilçesi sınırlarında bulunan Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne (MAREM) ait yüksek tünel içerisinde, 2019 yılı vejetasyon döneminde gerçekleşmiştir. Araştırmada BA 29 (*Cydonia oblonga*) anacı üzerine aşılı bir yaşını tamamlamış Ankara ve Deveci armut çeşitlerine ait fidanlar kullanılmıştır. Bitkisel materyal içerisinde 2:1:1 oranlarında elenmiş bahçe toprağı:kum:torf bulunan 18 litre hacimli saksılara kış dinlenme periyodunda dikilmiştir. Uygulamalar başlayana kadar bitkisel materyale gerekli kültürel işlemler yapılmıştır.

Glisin betain ve kısıtlı sulama uygulamaları

Uygulamalara başlamadan önce ağırlıkları bilinen ve içinde bitki bulunmayan beş saksı sulama suyu ile doymuş hale getirilmiş, ağızları buharlaşma ile su kaybını önlemek için alüminyum folyo ile kapatılmış ve tartılmıştır. 48 saat sonra saksılar tekrar tartılmış ve elde edilen değerler yardımı ile tarla kapasitesi hesaplanarak her sulamada uygulanacak

su miktarı belirlenmiştir. Stres uygulamalarına yılın en sıcak dönemi olan Temmuz ayı (15 Temmuz) ortasında başlanmış ve çalışma 28 gün devam etmiştir. Çalışmada iki farklı su kısıtı ve iki farklı glisin betain uygulaması yer almıştır. T₁: Tarla kapasitesinin %50'si kadar sulama (orta derecede stres); T₂: Tarla kapasitesinin %25'i kadar sulama (ciddi derecede stres) olarak tasarlanmıştır. Her uygulama öncesi tüm saksıların tartılarak ağırlıkları belirlenmiş ve tarla kapasitesine göre sulamalar yapılmıştır. Çalışmada sulama aralığı 4 gün olarak belirlenmiştir.

Glisin betain uygulamaları stres uygulamalarının başladığı gün yapılmıştır. Bitkilere yapraktan yapılan uygulamalarda S₁ (0 mM glisin betain; kontrol) ve S₂ (10 mM glisin betain) olacak şekilde iki farklı konsantrasyondaki sıvı preparat bir sırt tulumbası yardımıyla sprey şeklinde tüm yapraklara püskürtülmüştür. Çalışma bitkilerin yapraklarında kurumaların görüldüğü dönemde (11 Ağustos) sonlandırılmıştır.

Bitkilerde zararlanma derecesinin belirlenmesi

Su kısıtı uygulamalarına maruz kalan bitkilerin yaprak ve sürgünlerinde meydana gelen zararın belirlenmesinde Sivritepe vd. (2008) tarafından geliştirilen skala kullanılmıştır.

Buna göre;

1. Zararlanmanın olmadığı bitkiler
2. Sürgün ucu ve yaprak kenarlarında yanıklık ve kurulamaların gözleendiği bitkiler
3. Yaprığın tamamı ya da gövdenin bir kısmında oluşan belirtiler gözleendiği bitkiler
4. Ölü bitkiler

$$ZD = \frac{\sum(n_i \times i)}{N}$$

ni: 1-4 skalası için işaretlenen bitki sayısı

i: 1-4 skalası için verilen numara

N: Tekerrürde bulunan bitki sayısı

Membran stabilite endeksinin belirlenmesi (MSE)

0.1 g tartılan yaprak örnekleri 10 ml saf su içerisinde 40°C'de 30 dakika bekletilmiş ve çözeltinin EC_e değeri ölçülmüştür (C₁). Daha sonra su banyosunda 100°C'de 10 dakika bekletilerek EC_e'si tekrar ölçülmüştür (C₂) (Şekil 3.12.). Bu işlemlerden sonra MSE değeri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır (Premchandra vd., 1990; Sairam, 1994).

$$MSE = [1 - (C_1/C_2)] \times 100$$

MSE: Membran Stabilite Endeksi

C₁: İlk EC_e değeri

C₂: Son EC_e değeri

İstatistiksel analizler

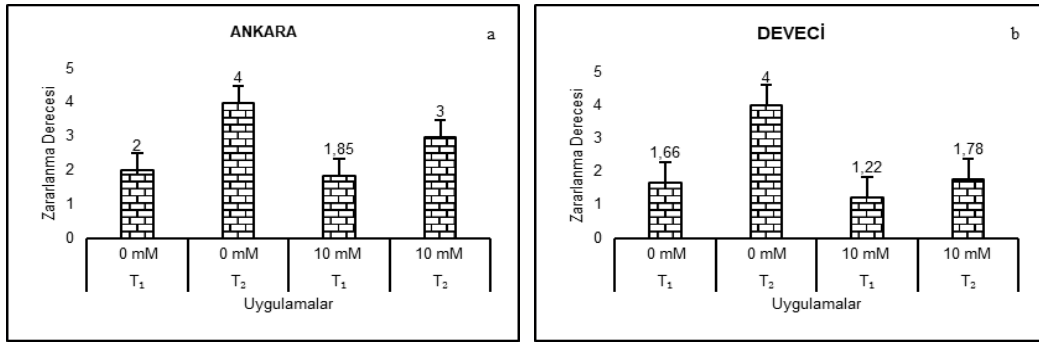
Deneme, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 5 bitki olacak şekilde kurulmuştur. Elde edilen bulgular, JUMP 8 yazılım programında, varyans analiz yöntemi ile F testine göre kontrol edildikten sonra, uygulamalar arasındaki farklılıklar, LSD Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının zararlanma derecesi üzerine etkisi

Şekil 1, su kısıtı ve glisin betain uygulamaları neticesinde Ankara (Şekil 1a) ve Deveci (Şekil 1b) armut çeşitlerinde belirlenen zararlanma derecesini ifade etmektedir. Buna göre her iki çeşitte de artan stres

2017) ve bazı bahçe bitkilerinde (Kuşvuran ve Abak, 2012; Kıran vd., 2015; Pıtır, 2015) yapılan çalışmalarda zararlanma derecesi daha yüksek olan çeşit/anaç/genotiplerin kuraklık stresine duyarlı oldukları belirlenmiştir. Bitkilerin stres faktörüne gösterdiği tepki kalıtsal özelliği ile ilgili olsa da dışarıdan yapılan uygulamalar ile tolerans/duyarlılığı değişebilmektedir. Nitekim kuraklık stresine maruz kalan bitkilere yapılan glisin betain uygulamaları ile bitkilerin strese karşı tolerans kazandığı saptanmıştır (Xing ve Rajashekar, 1999; Hussain vd., 2008; Ali Rezaei vd., 2012; Kılınçoğlu vd., 2021). Yapmış olduğumuz çalışmada glisin betain uygulamaları ile zararlanma derecesinin hem Ankara hem de Deveci çeşidinde azaldığı görülmüştür. Elde ettiğimiz sonuç Niu vd. (2021) tarafından *Pyrus betulaefolia* Rehd. türünde yapılan çalışma sonuçları ile de benzer bulunmuştur.



Şekil 1. Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının Ankara (a) ve Deveci (b) çeşitlerinde zararlanma derecesi üzerine etkisi

Figure 1. The effect of deficit water and glycine betaine treatments on the degree of damage in Ankara (a) and Deveci (b) cultivars.

şiddeti ile birlikte zararlanma derecesinin arttığı ve T₂ uygulamalarında daha fazla zararlanmalar olduğu belirlenmiştir. Glisin betain uygulamalarının su kısıtı stresine karşı etkisi incelendiğinde ise her iki çeşitte de zararlanma derecesinin azaldığı bulunmuştur. Ankara çeşidinin T₁+S₁ uygulamasında zararlanma derecesi 2 iken T₁+S₂ uygulamasında zararlanma derecesi azalmış ve 1.85 olarak belirlenmiştir. Benzer bir değişim T₂+S₁ uygulaması ile T₂+S₂ uygulaması arasında da elde edilmiştir. Zararlanma derecesi T₂+S₁ uygulamasında 4 iken T₂+S₂ uygulamasında 3 olarak bulunmuştur. Deveci çeşidinde en yüksek zararlanma derecesi 4 ile T₂+S₁ uygulamasında bulunmuştur. İlavenen T₂+S₂ uygulamasında zararlanma derecesi T₂+S₁ uygulamasına kıyasla oldukça dikkat çekici şekilde azalmış ve 1.78 değerine sahip olmuştur. T₁+S₁ uygulamasında 1.66 olan zararlanma derecesi T₁+S₂ uygulamasında 1.22 olarak azalan yönde tutum sergilemiştir. Bitkilerin stres faktörlerine karşı tolerans/duyarlılık seviyesi zararlanma derecesi ile belirlenebilmekte ve bu değerlendirme strese karşı göstermiş oldukları genel tepkiyi yansıtmaktadır. Asmada (Sivritepe vd., 2008), armutta (Gür ve Şan,

Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının membran stabilitesi üzerine etkisi

Kısıtlı sulama ve glisin betain uygulamalarının Ankara çeşidinde membran stabilite endeksi üzerine etkisi Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre membran stabilite endeksi kısıtlı sulama x glisin betain interaksyonundan çok önemli derecede etkilenmiştir ($p < 0.01$). İlavenen membran stabilite endeksinin kısıtlı sulama uygulamaları oldukça önemli ($p < 0.001$) ve glisin betain uygulamaları ise önemli ($p < 0.05$) şekilde etkilemiştir. T₁+S₁ uygulamasında %80.81 olan membran stabilitesi, T₂+S₁ uygulamasında %70.77 olarak ölçülmüş ve iki uygulama arasında istatistiksel olarak farklılık belirlenmiştir. Benzer farklılık T₁+S₂ (%82.07) ve T₂+S₂ (%77.93) uygulamaları arasında da ortaya çıkmıştır. Glisin betain uygulamalarının membran stabilitesi üzerine etkisi ele alındığında, T₁ uygulamasında stabilitenin değişmediği ancak T₂ uygulamasında stabilitenin etkilendiği görülmüştür. T₂+S₁ uygulamasında %70.77 olan stabilite değeri T₂+S₂ uygulamasında önemli şekilde artmış ve %77.93 olarak ölçülmüştür. Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının ortalamaları ele alındığında stres

seviyesindeki artış ile membran stabilitesinin önemli derece azaldığı, glisin betain uygulamalarının ise membran stabilitesini önemli şekilde arttırdığı belirlenmiştir.

Deveci çeşidinde su kısıtı ve glisin betain uygulamaları sonucu membran stabilitesinde olan değişimler Tablo 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının Ankara çeşidinde membran stabilite endeksine etkisi

Table 1. The effect of deficit water and glycine betaine treatments on membrane stability index in Ankara cultivar.

Membran Stabilite Endeksi			
Kısıtlı Sulama Uygulamaları	S ₁	S ₂	T Ort.
T ₁	%80.81ab	%82.07a	%81.44A
T ₂	%70.77c	%77.93b	%74.35B
S Ort.	%75.79 ^B	%80.35A	-
S *p<0.05			
T ***p<0.001			
S x T **p<0.01			

Membran stabilite endeksi glisin betain x su kısıtı interaksiyonundan (p<0.05), glisin betain (p<0.05) ve su kısıtı (p<0.001) uygulamalarından önemli şekilde etkilenmiştir. Membran stabilite endeksi sırasıyla % 80.92 ile %82.47 olan T₁+S₁ ve T₁+S₂ uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir değişim olmamıştır. Daha şiddetli su stresinin yaşandığı T₂+S₁ ve T₂+S₂ uygulamaları arasında ise önemli düzeyde farklılık belirlenmiş, T₂+S₁ uygulamasında %66.23 olan membran stabilite endeksi T₂+S₂ uygulamasında artış göstererek %69.75 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının Deveci çeşidinde membran stabilite endeksine etkisi

Table 2. The effect of deficit water and glycine betaine treatments on membrane stability index in Deveci cultivar.

Membran Stabilite Endeksi			
Kısıtlı Sulama Uygulamaları	S ₁	S ₂	T Ort.
T ₁	%80.92a	%82.47a	%81.70A
T ₂	%66.23c	%69.75b	%67.99B
S Ort.	%73.58B	%76.11A	-
S *p<0.05			
T ***p<0.001			
S x T *p<0.05			

Su kısıtı ve glisin betain uygulamalarının ortalamaları değerlendirildiğinde, artan stres seviyesinin membran stabilitesini azalttığı, glisin betain uygulaması ile membran stabilitesinin arttığı saptanmıştır. Kalefetoğlu ve Ekmekçi (2005) hücreye ortaya çıkan aşırı su kayıpları neticesinde meydana gelen iyon birikiminin membran bütünlüğünü bozduğunu ifade etmişlerdir. Membran bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak

elektrolit sızıntısında meydana gelen artış, bitkilerin strese toleransını belirlemede kullanılabilir uygun bir fizyolojik parametre olarak düşünülmektedir (Li vd., 2010; Al Busaidi ve Farag, 2015). Bugüne kadar farklı türlerde yapılan çalışmalar, kısıtlı sulama veya kuraklık stresi altındaki bitkilerde membran bütünlüğünün bozulduğunu bildirmektedir (Reddy vd., 2004; Parisa vd., 2012; Chowdhury vd., 2017). Farklı abiyotik stres faktörlerine maruz kalan bitkilere dışarıdan yapılacak uygulamalar ile membran bütünlüğü korunabilmektedir. Nitekim Liu vd. (2017) tarafından kuraklık stresi altındaki bitkilerde glisin betain uygulamaları ile membran kararlılığının korunduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda su kısıtı uygulamalarının membran bütünlüğüne zarar verdiği anlaşılmıştır. İlaveten su kısıtı ile birlikte yapılan dışsal glisin betain uygulamalarının, stresin membranlar üzerindeki olumsuz etkisini hafifletmede rol oynadığı görülmüştür. Bu yönüyle çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyumlu bulunmuştur.

Sonuç

Su kısıtı ve/veya kuraklık tüm dünyada tarımsal üretimi tehdit eden en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Meyvecilikte stres yönetimine uygun anaç, çeşit seçimi alternatif olarak görülse de diğer bir yaklaşım dışsal uygulamalar ile bitkilerin tolerans kazandırmak veya mevcut tolerans kapasitesini artırmak olabilir. Yapılan bu çalışmada su kısıtı stresine maruz kalan Ankara ve Deveci armut çeşitlerine yapraktan uygulanan glisin betainin, bitkilere tolerans sağladığı belirlenmiştir. Kesinleşmiş kanılar elde edebilmek için ise çalışmanın arazi koşullarında, verim çağındaki bitkilerde, farklı dozlarda ve daha detaylı fizyolojik-biyokimyasal analizlere başvurularak yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Araştırmanın yürütülmesinde, sera ve laboratuvarlarının kullanılmasına olanak sağlayan Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Al Busaidi KTS, Farag KM, 2015. The Use of Electrolyte Leakage Procedure in Assessing Heat and Salt Tolerance of Ruzai Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) Cultivar Regenerated by Tissue Culture and Offshoots and Treatments to Alleviate the Stressful Injury. Journal of Horticulture and Forestry 7(4): 104-111.

Aldesuquy HS, Abbas MA, Abo-Hamed SA, Elhakem AH, 2013. Does Glycine Betaine and Salicylic Acid Ameliorate the Negative Effect of Drought on Wheat by Regulating Osmotic Adjustment through Solutes Accumulation? Journal of Stress Physiology and Biochemistry 9(3): 5-22.

- Ali Rezaei M, Jokar I, Ghorbanli M, Kaviani B, Kharabian-Masouleh A, 2012. Morpho-Physiological Improving Effects of Exogenous Glycine Betaine on Tomato (*Lycopersicon Esculentum* mill.) Cv. PS under Drought Stress Conditions. *Plant Omics* 5(2): 79-86.
- Anjum SA, Saleem MF, Wang LC, Bilal MF, Saeed A, 2012. Protective Role of Glycine betaine in Maize Against Drought-Induced Lipid Peroxidation by Enhancing Capacity of Antioxidative System. *Australian Journal of Crop Science* 6(4): 576-583.
- Ashraf M, Foolad MR, 2007. Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59(2): 206-216.
- Bakır AG, Bolat I, Korkmaz K, Hasan MM, Kaya O, 2022. Exogenous Nitric Oxide and Silicon Applications Alleviate Water Stress in Apricots. *Life* 12(9): 1454.
- Bohnert HJ, Jensen RG, 1996. Strategies for Engineering Water-Stress Tolerance in Plants. *Trends in Biotechnology* 14(3): 89-97.
- Bolat I, Bakır AG, Korkmaz K, Gutiérrez-Gamboa G, Kaya O, 2022. Silicon and Nitric Oxide Applications Allow Mitigation of Water Stress in Myrobalan 29C Rootstocks (*Prunus cerasifera* Ehrh.). *Agriculture* 12(8): 1273.
- Chowdhury JA, Karim MA, Khaliq QA, Ahmed AU, 2017. Effect of Drought Stress on Bio-Chemical Change and Cell Membrane Stability of Soybean Genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 42(3): 475-485.
- Demiral T, Türkan I, 2004. Does Exogenous Glycine Betaine Affect Antioxidative System of Rice Seedlings under NaCl Treatment? *Journal of Plant Physiology* 161(10): 1089-1100.
- FAO (2020): Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat>. Accessed 12 October, 2022.
- Gür İ, 2018. Su Stresi Uygulamalarının Bazı Armut Anaçlarında Morfolojik ve Biyokimyasal Değişimlere Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Isparta.
- He C, Zhang W, Gao Q, Yang A, Hu X, Zhang J, 2011. Enhancement of Drought Resistance and Biomass by Increasing The Amount of Glycine Betaine in Wheat Seedlings. *Euphytica* 177: 151-167.
- Hussain M, Malik MA, Farooq M, Ashraf MY, Cheema MA, 2008. Improving Drought Tolerance by Exogenous Application of Glycine Betaine and Salicylic Acid in Sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194(3): 193-199.
- Kalefetoğlu T, Ekmekçi Y, 2005. Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri ve Dayanıklılık Mekanizmaları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 18(4): 723-740.
- Kılınçoğlu N, Cevheri Cİ, Cevheri C, Nahya HY, 2021. Effects of Exogenous Glycine Betaine Application on Some Physiological and Biochemical Properties of Cotton (*G. hirsutum* L.) Plants Grown in Different Drought Levels. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences* 5(4): 689-700.
- Kıran S, Kuşvuran Ş, Özkay F, Ellialtıoğlu Ş, 2015. Domates, Patlıcan ve Kavun Genotiplerinin Kuraklığa Dayanım Durumlarını Belirlemeye Yönelik Olarak İncelenen Özellikler Arasındaki İlişkiler. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4(2): 9-25.
- Kuşvuran Ş, Abak K, 2012. Kavun Genotiplerinin Kuraklık Stresine Tepkileri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 28(5): 79-87.
- Larher FR, Lugan R, Gagneul D, Guyot S, Monnier C, Lespinasse Y, Bouchereau A, 2009. A Reassessment of the Prevalent Organic Solutes Constitutively Accumulated and Potentially Involved in Osmotic Adjustment in Pear Leaves. *Environmental and Experimental Botany* 66(2): 230-241.
- Li R, Shi F, Fukuda K, 2010. Interactive Effects of Various Salt and Alkali Stresses on Growth, Organic Solutes, and Cation Accumulation in A Halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). *Environmental and Experimental Botany* 68(1): 66-74.
- Liu N, Lin S, Huang B, 2017. Differential Effects of Glycine Betaine and Spermidine on Osmotic Adjustment and Antioxidant Defense Contributing to Improved Drought Tolerance in Creeping Bentgrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 142(1): 20-26.
- Lv S, Yang A, Zhang K, Wang L, Zhang J, 2007. Increase of glycine Betaine Synthesis Improves Drought Tolerance in Cotton. *Molecular Breeding* 20(3): 233-248.
- Mahouachi J, Argamasilla R, Gómez-Cadenas A, 2012. Influence of Exogenous Glycine Betaine and Abscisic Acid on Papaya in Responses to Water-Deficit Stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 31(1): 1-10.
- Mansour MMF, 2000. Nitrogen Containing Compounds and Adaptation of Plants to Salinity Stress. *Biologia Plantarum* 43(4): 491-500.
- Meltem Pıtır M, 2015. Biber Yetiştiriciliğinde Farklı Su Kısıtlarının Meydana Getirdiği Fizyolojik, Morfolojik Ve Kimyasal Değişikliklerin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, Tekirdağ.
- Nahar K, Hasanuzzaman M, Fujita M, 2016. Roles of Osmolytes in Plant Adaptation to Drought and Sali-

- nity. In *Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies*. pp. 37-68.
- Niu T, Zhang T, Qiao Y, Wen P, Zhai G, Liu E, Al-Bakre DA, Al-Harbi MS, Gao X, Yang X. 2021. Glycine Betaine Mitigates Drought Stress-Induced Oxidative Damage in Pears. *Plos one* 16(11):1-20.
- Oukarroum A, El Madidi S, Strasser RJ, 2012. Exogenous Glycine Betaine and Proline Play a Protective Role in Heat-Stressed Barley Leaves (*Hordeum Vulgare* L.): A Chlorophyll a Fluorescence Study. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 146(4): 1037-1043.
- Parisa S, Reza A, Eslam M, Hashem H, Mozafar R, Babak N, Alipoor MA, Foad M, 2012. Relationship Between Drought Stress and Some Antioxidant Enzymes with Cell Membrane and Chlorophyll Stability in Wheat Lines. *African Journal of Microbiology Research* 6(3): 617-623.
- Premchandra GS, Saneoka A, Ogato S, 1990. Cell Membrane Stability, an Indicator of Drought Tolerance, as Affected by Applied Nitrogen in Soybean. *Journal of Agricultural Science* 115(1): 63-66.
- Quan R, Shang, M, Zhang, H, Zhao Y, Zhang J, 2004. Engineering of Enhanced Glycine Betaine Synthesis Improves Drought Tolerance in Maize. *Plant Biotechnology Journal* 2: 477-486.
- Rahman AEMF, Ansary AL, Rizkalla AA, Badr-Elden AMB, 2007. Micropropagation and Biochemical Genetic Markers Detection for Drought and Salt Tolerance of Pear Rootstock. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 1(4): 625-636.
- Rahman MS, Miyake H, Takeoka Y, 2002. Effects of Exogenous Glycinebetaine on Growth and Ultrastructure of Salt-Stressed Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science* 5(1): 33-44.
- Reddy AR, Chaitanya KV, Jutur PP, Sumithra K, 2004. Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 52(1): 33-42.
- Sairam RK, 1994. Effect of Moisture Stress on Physiological Activities of Two Contrasting Wheat Genotypes. *Indian Journal and Experimental Biology* 32: 584-593.
- Serraj R, Sinclair TR, 2002. Osmolyte Accumulation: Can It Really Help Increase Crop Yield under Drought Conditions? *Plant, Cell and Environment* 25: 333-341.
- Shan T, Jin P, Zhang Y, Huang Y, Wang X, Zheng Y, 2016. Exogenous Glycine Betaine Treatment Enhances Chilling Tolerance of Peach Fruit During Cold Storage. *Postharvest Biology and Technology* 114: 104-110.
- Shemi R, Wang R, El-Sayed M, Gheith S, Hussain HA, Hussain S, Irfan M, Cholidah L, Zhang K, Zhang S, Wang L, 2021. Effects of Salicylic Acid, Zinc and Glycine Betaine on Morpho-Physiological Growth and Yield of Maize under Drought Stress. *Scientific Reports* 11(3195): 1-14.
- Sivritepe N, Sivritepe HO, Eriş A, 2003. The Effects of NaCl Priming on Salt Tolerance in Melon Seedlings Grown under Saline Conditions. *Scientia Horticulturae* 97(3-4): 229-237.
- Xing W, Rajashekar CB, 1999. Alleviation of Water Stress in Beans by Exogenous Glycine Betaine. *Plant Science* 148(2): 185-192.
- Yancey PH, Clark ME, Hand SC, Bowlus RD, Somer GN, 1982. Living with Water Stress: Evolution of Osmolyte System. *Science* 217: 1214-1222.
- Yang A, Zhang Wang L, Zhang J, 2007. K, Increase of Glycinebetaine Synthesis Improves Drought Tolerance in Cotton *Sulian Lv. Molecular Breeding* 20: 233-248.
- Yang WJ, Rich PJ, Axtell JD, Wood KV, Bonham CC, Ejeta G, Mickelbar MV, Rhodes D, 2003. Genotypic Variation for Glycine Betaine in Sorghum. *Crop Science* 43(1): 162-169.
- Zulfiqar F, Ashraf M, Siddique KH, 2022. Role of Glycine Betaine in the Thermotolerance of Plants. *Agronomy* 12(2): 276.