

Horoz ibiği (*Amaranthus albus* L.) Bitkisinde Riboflavin ve PEG 6000 uygulamalarının Bazı Büyüme Parametreleri ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Effect of Riboflavin and PEG 6000 Applications on Some Growth Parameters and Biochemical Properties in (*Amaranthus albus* L.)

Erol Oral¹ , Murat Tunçtürk² , Rüveyde Tunçtürk³ , Tülay Toprak⁴ 

Geliş Tarihi (Received): 22.03.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 27.05.2024

Yayın Tarihi (Published): 25.08.2024

Öz: Bu çalışmada horoz ibiği (*Amaranthus albus* L.) bitkisinde PEG 6000 ile oluşturulan farklı ozmotik basınçta (kontrol, -0.5 MPa, -1.0 MPa ve -1.5 MPa) kuraklık stresi ile Riboflavin (B2) (kontrol, 0.1, 0.5, 1.0 ve 2.0 mM) uygulamalarının büyüme parametreleri ile biyokimyasal değişiklikler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada horoz ibiği bitkisinin yaprak sayısı (12.33-21.04 adet bitki⁻¹), yaprak uzunluğu (5.44-8.22 cm), yaprak alan indeksi (4.23-25.04 cm²), yaprak taze ağırlığı (0.22-0.64 g), yaprak kuru ağırlığı (0.06-0.08 g), antosiyaninler (23.69-64.47 dx), fenolikler (94.46-177.79 mg g⁻¹), flavonoid (47.04-99.58 mg g⁻¹), klorofil A (16.35-24.14 mg g⁻¹), klorofil B (10.22-18.54 mg g⁻¹), toplam klorofil (27.20-42.37 mg g⁻¹) ve karetonoidler (3.90-5.36 mg g⁻¹) gibi özellikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda; PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda yaprak sayısı, yaprak uzunluğu, yaprak alan indeksi, yaprak taze ağırlığı, klorofil a ve b ile toplam klorofil miktarı kısmen ya da tamamen azaldığı görülmüştür. Araştırmada antosiyanin, flavonoid ve fenolik madde içeriklerinde ise artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin yaprak kuru ağırlığı ve karetonoid miktarları etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu çalışmada kuraklık stresine karşı riboflavin (B2) dozu uygulamalarının incelenen fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerden yaprak sayısı, yaprak tazeliği, yaprak alan indeksi, yaprak turgoru, fenolik ve flavonoid içerikleri üzerine olumlu, stresin etkilerini azaltıcı ve düzenleyici etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: B2 vitamini, Horoz ibiği, Abiyotik stres, Tolerans

&

Abstract: In this study, drought stress and Riboflavin (B2) (control, 0.1, 0.5, 1.0 and 2.0 mM) in amaranth (*Amaranthus albus* L.) plant at different osmotic pressures (control, -0.5 MPa, -1.0 MPa and -1.5 MPa) created with PEG 6 000. mM applications on growth parameters and biochemical changes. In the research, the number of leaves of the amaranth plant (12.33-21.04 number plant⁻¹), leaf length (5.44-8.22 cm), leaf area index (4.23-25.04 cm²), leaf fresh weight (0.22-0.64 g), leaf dry weight (0.06-0.08 g), anthocyanin (23.69-64.47 dx), phenolic (94.46-177.79 mg g⁻¹), flavonoid (47.04-99.58 mg g⁻¹), chlorophyll A (16.35-24.14 mg g⁻¹), chlorophyll B (10.22-18.54 mg g⁻¹), total chlorophyll (27.20-42.37 mg g⁻¹) and carotenoid (3.90-5.36 mg g⁻¹). As a result of drought stress caused by PEG 6000, it was observed that the number of leaves, leaf length, leaf area index, leaf freshness weight, chlorophyll a and b and total chlorophyll decreased partially or completely. In the research, it was determined that it caused increases in anthocyanin, flavonoid and phenolic substance contents. The effect of drought stress on leaf dry weight and carotenoid amounts was found to be statistically insignificant. In this study, it was determined that riboflavin (B2) dose applications against drought stress had a positive, reducing and regulating effect on the effects of stress on the number of leaves, leaf freshness, leaf area index, leaf turgor, phenolic and flavonoid contents, which are among the physiological and biochemical characteristics examined.

Keywords: Vitamin B2, Amaranth, Abiotic stress, Tolerance

Atıf/Cite as: Oral, E., Tunçtürk, M., Tunçtürk, R. & Toprak, T. (2024). Horoz ibiği (*Amaranthus albus* L.) Bitkisinde Riboflavin ve PEG 6000 uygulamalarının Bazı Büyüme Parametreleri ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 10(2), 282-292. doi: 10.24180/ijaws.1457261

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹Doç. Dr. Erol Oral, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, eroloral@yyu.edu.tr, eroloral65@gmail.com (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

¹Prof. Dr. Murat Tunçtürk, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, murattuncurk@yyu.edu.tr

¹Prof. Dr. Murat Tunçtürk, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, ruveydetuncurk@yyu.edu.tr

² Doktora Öğrencisi Tülay Toprak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri ABD, tulay1024@gmail.com

GİRİŞ

Amaranthaceae familyası içerisinde yer alan horoz ibiği bitkisi *Amaranthus* cinsine ait 60-70 kadar türden oluşan tek ve çok yıllık kozmopolit bir cinsidir (Anonim, 2015). Özellikle Amerika kıtasında geniş bir yayılım gösteren bitki Aztek ve Inka uygarlığında yaprak ve tohumları besin maddesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca günlük yaşamlarında dini ve sosyal ritüellerde kullanıldığı bilinmektedir. Bitki çok zengin bir biyo çeşitliliğe sahip olmasının yanında sebze, yalancı tahıl ve süs bitkisi olarak geniş bir kullanım alanı vardır. Bitki taneleri insan ve hayvan beslenmesinde, yapraklar sebze olarak tüketildiği gibi süs bitkisi olarak peyzaj çalışmalarında kullanılmaktadır (Yarnia vd., 2011; Ergun vd., 2014; Özasan ve Kendal, 2014; Keskin vd., 2021). Amerika kıtasının keşfi sonrasında Avrupa kıtasına 16. yüzyılda bir tahıl olarak getirilmiştir. Dünyada en fazla Hindistan, Çin, Güneydoğu Asya, Meksika, ABD ve Rusya. Avrupa'da, Çek Cumhuriyeti'nde tüketimi ve ticareti yapılmaktadır (Belton ve Taylor, 2002). Ülkemizde ise resmi kayıtlarda ekiliş ve üretimine dair herhangi bir kayıt bulunmamaktadır (Ülker vd., 2022). Bitkinin çiğ tohumları arpa, yulaf gibi tahıllar ile kıyaslandığında protein, yağ, lif ve mineral madde içeriklerinin daha yüksek karbonhidrat miktarının ise düşük olduğu görülmüştür. (Alegbejo, 2013; Arendt ve Zannini, 2013). Bitki tohumlarında ortalama olarak %12 su, %65'i karbonhidrat (%7'si diyet lifi dahil), %12.5 protein, %7 yağ ve %3.5 kül içermektedir. (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Tohumlardan elde edilen undan yapılan ekmek, bisküvi ve erişte gibi gıdalar gluten içermediğinden çölyak hastalarının tercih edilmektedir (Rastogi ve Shukla, 2013). Bitki su tüketimi üzerine yürütülen çalışmalarda suyu oldukça ekonomik kullandığı ve stres şartlarına dayanıklı olduğu görülmüştür. Kurak dönemlerde yavaşlayan büyüme ve gelişme yeterli suyun karşılandığı şartlarda yeniden aktif hale gelerek normal büyüme ve gelişme seyrine dönebilmektedir. Büyüme ve gelişmenin ilk dönemlerinde görülen kuraklık stresi bitkilerde generatif dönemin erken başlamasına neden olabilir. Bu nedenle bitki fizyolojisi açısından benzer mekanizmaların anlaşılması hayvancılık açısından kaba yem veya insan beslenmesinde tane üretiminde faydalı olacaktır (Ergun vd., 2014). Bitkisel üretim, gıda tedariki ve güvenliği küresel iklim değişikliğinin çok büyük tehdidi altındadır. Bu değişimler kuraklık sıklığı, kuraklık şiddeti, yağışların düzensizliği, sıcaklık değişimleri ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörleri olarak bilinmektedir. Bitkisel üretimde sürdürülebilir bir üretim modelinin sağlanmasında vejetatif ve generatif yolla çoğaltım çok önemlidir. Materyal üretiminde başarının önündeki faktörlerden bazıları; başlangıç materyali, besi yeri ve bitki büyüme düzenleyicileridir.

Günümüzde yürütülen bir çok çalışmada doku kültürü teknikleri arasında yer alan ve abiyotik streslere karşı bitkilerin dayanıklılık mekanizmalarının belirlenmesinde *in vitro* teknikleri önemli rol oynadığı görülmüştür. Tarımsal üretim üzerinde en ölümcül etkilere neden olan abiyotik stres faktörü hiç şüphesiz kuraklıktır (Sevindik, 2021). Bitkilerin kuraklık stresi karşısında gösterdikleri tepkiler cins ve türlere göre değişmekle birlikte genetik x çevresel faktörlerin etkisi altındadır. Bitkilerin kuraklık stresine karşı en hassas oldukları dönemler çimlenme ve fide oluşum dönemleridir. Bu dönemde fotosentez, solunum, besin maddelerinin alınımı, terleme gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda değişim meydana geldiği tespit edilmiştir (Farooq vd., 2008). Benzer çalışmalarda kuraklık stresinin etkilerinin daha iyi anlaşılması adına benzer etkiye sahip değişik kimyasal maddeler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu maddelerden biri olan polietilen glikol (PEG), ortamdaki su potansiyelinin düşmesine ve dolayısıyla kuraklık stresinin oluşumuna yardımcı olur. Bu madde kimyası gereği toksik olmayan ancak kuraklık stresinin meydana gelmesine yardımcı olan bir özelliğe sahiptir (Bressan, 1989). Kuraklık stresine bağlı olarak bitki tür ve çeşitlerinde değişen çevre ve genetik özelliklerin en başta çimlenme, büyüme ve gelişmeyi etkilemeden optimum düzeyde tutacak ön uygulamalar giderek önem kazanmaktadır. Bitkilerde stres şartlarında büyüme ve gelişmeyi düzenleyiciler (BGD) olarak etilen, giberellinler, sitokininler ve bunlara ilave olarak engelleyiciler olarak gruplandırılır. Günümüzde bu maddelere ilave olarak polifenolik bileşikler ve B2 vitamini olarak bilinen riboflavin eklenmiştir. Ancak bu maddeler ile yürütülen araştırma sayısı yetersiz düzeyde olduğu görülmüştür. Özellikle stres şartlarında B2 vitamini olarak bilinen riboflavinin kontrol gruplarına göre çimlenme oranlarını artırdığı görülmüştür (Ercişli vd., 1999). Bu çalışmada polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan kuraklık stresine karşı B2 (riboflavin) vitaminin amarant bitkisinde meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma 2020 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü' ne ait tam kontrollü iklim kabininde tesadüf parselleri deneme deseni 'ne göre faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Van YYU Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bahçesinden elde edilen horoz ibiği (*Amaranthus albus* L.) tohumları, turba + perlit + toprak karışımı (1: 1: 2) içerisine ekimler yapılmıştır. Bu toprak karışımın hafif alkali reaksiyona sahip organik maddesi orta seviyede ve tuzsuz olduğu tespit edilmiştir. Denemede PEG 6000 ile oluşturulan farklı ozmotik basınçta (kontrol, -0.5 MPa, -1.0 MPa ve -1.5 MPa) kuraklık stresine karşı 4 farklı riboflavin dozları (0, 0.1 mM, 0.5 mM, 1 mM ve 2 mM) uygulanan 64 saksılık bir çalışmadır. Van YYU Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bahçesinden elde edilen *Amaranthus albus* L. tohumları, turba + perlit + toprak karışımı (1: 1: 2) içerisinde 500 cc'lik saksılara ekilerek %65 nem; 8/16 saat aydınlık/karanlık periyot; 25 °C sıcaklık ortamında yetiştirilmiştir. Tohumlar 02.03.2022 tarihinde viyollere ekilmiştir. Gerçek yapraklar çıkış yaptıktan sonra (3-4 yapraklı dönem) saksılara 25.05.2022 tarihinde aktarılmıştır. Saksılardaki bitkilere 15.06.2022 tarihinde standart gübreleme (NPK) yapılmıştır. Bitkilerin 8-10 yapraklı olduğu dönemde yapraktan püskürtme şeklinde riboflavin uygulamasına başlanmıştır. Riboflavin dozları kontrol (0), 0.1 mM, 0.5 mM, 1 mM ve 2 mM olarak belirlenmiştir. İlk uygulama 31.05.2022 tarihinde yapılmış olup toplamda 4 uygulama yapılmıştır. Stres faktörü olarak kontrol, 0.5 MPa, 1 MPa ve 1.5 MPa PEG 6000 uygulanmıştır. İlk uygulama 19.06.2022 tarihinde yapılmış olup toplamda 4 uygulama yapılmış ve deneme 26.06.2022'de sonlandırılmıştır.

İncelenen Parametreler

Bitkinin morfolojik gelişim parametrelerinden yaprak sayısı ve yaprak uzunluğu gibi fenolojik özellikleri hasat ile birlikte belirlenmiştir. Yaprak kuru ve yaş ağırlığı hassas terazide g cinsinden tespit edilmiştir. Yaprak alanı Easy Leaf Area programı kullanılarak ölçülmüştür. Klorofil, Flavonoid, Antosiyanin içeriği, Cerovic vd. (2015)'ne göre Dualex bilimsel + (FORCE-A, Fransa) cihazını kullanarak ölçülmüştür. Örneklerdeki toplam fenolik madde miktarı Obanda vd. (1997) tarafından belirtilen Folin Ciocalteu spektrofotometrik yönteminin modifiye edilmesiyle geliştirilmiş yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam flavonoid madde tayini Quettier-Deleu vd. (2000)'nin geliştirmiş oldukları yöntem baz alınarak belirlenmiştir. 2 ml ekstrakt üzerine 2 ml %2'lik AlCl₃ eklenerek oda sıcaklığında ve karanlıkta 60 dakika bekletilmiştir. Hazırlanan örnekler 415 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmüş ve standart kuersetin (QE) kullanılarak hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak mg g⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Klorofil ve karotenoid pigmentlerinin belirlenmesi amacıyla yapraklar aseton içerisinde ekstrakte edilmiş ve ekstraktlar 470 nm, 645 nm ve 662 nm dalga boylarında spektrofotometre ile ölçülmüştür. Daha sonra klorofil a, klorofil b ve toplam karotenoidlerin konsantrasyonları (mg g⁻¹) taze yaprak kütlesi) Lichtenthaler ve Wellburn (1983)'nin denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin istatistiki analizleri tesadüf parselleri deneme desenine göre, Costat 6.303 istatistik Analiz Programı'nda yapılmıştır. Ortalama veriler ayrıca Duncan Çoklu Aralık Testi ile P<0.05 ve P<0.01 göre gruplandırılarak karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki Yaprak Sayısı

Bitkide yaprak sayısı üzerine Riboflavin (R) ve PEG uygulamalarının etkisi önemli, R x PEG 6000 uygulamalarının etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p<0.01). Bitkide kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek yaprak sayısı kontrol grubunda 18.90 adet iken en düşük 16.33 adet ile -1.5 MPa dozunda tespit edilmiştir. Fotosentez aktivitesinin meydana geldiği organelleri taşıyan yapraklar stres esnasında en belirgin semptomların izlendiği kısımdır. Bu çalışmada yaprak sayısı, yaprak alanında azalma, sararma ve kahverengi lezyonlar şeklinde belirtiler göstermiştir. Benzer araştırmacıların çalışmalarında kuraklık stresi sonucunda kavun çeşitlerinde yaprak sayısı, yaprak alanı gibi parametrelerde azalmanın olduğu bildirilmektedir (Kuşvuran, 2010). Diğer bir çalışmada 9 adet domates çeşidinde yaprak sayısının kontrol gruplarına göre % 13.33-30.26 arasında azalma tespit edilmiştir (Alp ve Kabay, 2017). Bu çalışmada riboflavin uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisinde pozitif yönde olmuştur. En düşük yaprak sayısı kontrol dozunda en yüksek ise 18.09 adet ile 2.0 mM dozunda tespit edilmiştir (Çizelge 1). Riboflavin bitki yapraklarında fotosentez ve solunum olaylarında rol oynayan

enzimleri aktive ederek stres kaynaklı zarar düzeyini azalttığı bildirilmiştir (Deng vd., 2014). Bu çalışmalar ile bulgularımız büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Yaprak Uzunluğu

Horoz ibiği bitkisinde yaprak uzunluğu üzerine Riboflavin (B2) ve R x PEG 6000 dozu uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz, PEG 6000 dozu ile oluşturulan kuraklık stresinin ise etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). En yüksek yaprak uzunluğu 7.56 cm ile kontrol dozu uygulamasından, en düşük değer ise 5.86 cm olarak -1.5 MPa dozunda ölçülmüştür (Çizelge 1). Bitkilerde kuraklık stresinin etkilerini belirlemede yapraklarda solma ve küçülme gibi morfolojik özellikler önemli bir göstergedir (Deng vd., 2014). Kuraklık stresine karşı bitkilerin yaprak ayasında küçülme, tüylenme veya mumsu bir tabaka ile kaplanarak su bilançosunu ayarlama eğiliminde oldukları bildirilmiştir (Grzesiak vd., 2003).

Yaprak Alan İndeksi

Yaprak alan indeksi üzerine R, PEG ve R x PEG dozu uygulamaları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). PEG 6000 dozu uygulaması sonucu elde edilen en düşük yaprak alan indeksi 8.14 cm² ile -1.5 MPa dozundan, en yüksek değer ise 23.32 cm² olarak kontrol doz uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 1). Benzer çalışmalarda değişen ekolojik koşullara karşı bitkilerin adaptasyon kabiliyetlerini ortaya koymada tuzluluk, kuraklık gibi stres şartlarına tepkiyi ölçmede yaprak alan indeksi önemli bir özellik olarak kabul edilmektedir (Hajibabae vd., 2012). Elde edilen bulgular kuraklık stresi sonrasında yaprak alan indeksinde önemli kayıplar olduğunu rapor etmişlerdir (Mohammadian vd., 2005). Araştırmada uygulanan Riboflavin dozlarına karşılık en düşük yaprak alan indeksi 11.98 cm² ile kontrol dozu uygulamasından, en yüksek değer ise 18.21 cm² ile 2.0 mM dozunda ölçülmüştür. R x PEG interaksyonu bakımından en yüksek yaprak alan indeksi 25.04 cm² ile P0 x R20 dozundan, en düşük değer ise 4.23 cm² olarak P15 x R0 uygulamasından elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada kuraklık stresine maruz bırakılan sorgum çeşitlerine püskürtme ile uygulanan riboflavin dozlarının (0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹) yaprak alan indeksini (2.37-3.11 cm²) kontrol dozuna göre artırdığı bildirilmiştir (Mohammadian vd., 2005). Sorgum üzerine yürütülen diğer bir çalışmada bulgularımız ile benzerlik göstermektedir (Abood ve Abdulhameed, 2017).

Yaprak Taze Ağırlığı

Yaprak taze ağırlığı üzerine Riboflavin ve PEG uygulamalarının etkisi önemli, R x PEG 6000 uygulamalarının etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bitkide kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek yaprak taze ağırlığı sayısı kontrol dozu uygulaması sonucunda 0.58 g iken, en düşük 0.31 g ile -1.5 MPa dozunda tespit edilmiştir. Kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak yaprak taze ağırlığında azalma görülmüştür. Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi üzerine etkisini inceleyen bir araştırmada yaprak taze ağırlığının % 60 sulama seviyesinden %100 sulama seviyesine göre %17 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Kılıçaslan vd., 2020). Bu çalışmada riboflavin uygulamalarının yaprak taze ağırlığı üzerine etkisine bakıldığında en düşük yaprak taze ağırlığı 0.36 g ile kontrol dozundan, en yüksek değer ise 0.46 g 2.0 mM uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 1). Riboflavin stresin şiddetini azaltarak bitkide fotosentez aktivitesinin meydana geldiği yaprak ağırlığına olumlu etki yaptığı görülmüştür. Benzer çalışmalarda kuraklık stresi karşısında bitkide kök, gövde ve yaprak gelişiminin gerilmesini yavaşlatarak antioksidatif bileşenlerin üretimini uyardığı görülmektedir (Mori ve Sakurai, 1995). Benzer bir çalışmada kuraklık stresi karşısında püskürtme yolu ile uygulanan riboflavinin yaprak ağırlığı ve gelişimine etki eden oksidatif strese karşı direnci artırdığı belirtilmiştir (Wang ve Tzeng, 1998). Elde ettiğimiz sonuçlar bir çok araştırmacının sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

Yaprak Kuru Ağırlığı

Yaprak kuru ağırlığı bakımından R, PEG, R x PEG 6000 interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yaprak kuru ağırlık değerleri 0.06-0.08 g arasında değişim göstermiştir (Çizelge 1). Benzer çalışmalarda stres şartlarında yapraklarda gözlenen oksidatif reaksiyonların şiddetinin çevre ve genotip etkisi altında olduğu ve riboflavinin iyileştirici etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Dong ve Beer, 2000).

Çizelge 1. Kuraklık stresi ve riboflavin uygulamalarının bitkide fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi.
Table 1. Effects of drought stress and riboflavin applications on physiological and biochemical properties of the plant.

PEG 6000 Dozları	Riboflavin (B2)	Yap. Sayısı (adet)	Yap. Uz (cm)	YAI (cm ²)	YTA (g)	YKA (g)	Antosiyanin (dx)
Kontrol (P0)	R0 (kontrol)	17.33	7.11	23.42 a	0.55	0.06	23.69
	R01	18.33	7.55	22.61 a	0.56	0.07	25.09
	R05	18.86	7.89	23.20 a	0.60	0.07	29.63
	R10	19.00	8.22	23.23 a	0.60	0.07	35.56
	R20	21.04	7.04	25.04 a	0.64	0.07	44.63
P0 Ort.		18.90 A	7.56 A	23.32 A	0.59 A	0.07	31.72 C
-0.5 MPa(P05)	R0 (kontrol)	14.58	5.16	12.21 d	0.32	0.06	24.31
	R01	14.67	5.77	13.14 cd	0.33	0.06	24.63
	R05	15.33	6.22	19.01 b	0.33	0.07	33.69
	R10	16.33	6.61	21.46 a	0.40	0.05	37.28
	R20	17.32	6.72	23.13 a	0.45	0.06	46.19
P05 Ort.		15.65 B	6.09 B	16.99 B	0.37 B	0.06	33.22 B
-1.0 MPa(P10)	R0 (kontrol)	14.00	5.39	8.08 f	0.26	0.05	29.47
	R01	14.33	5.59	9.08 e	0.27	0.08	30.41
	R05	14.65	5.77	9.24 ef	0.32	0.08	34.94
	R10	16.33	6.22	13.41 cd	0.33	0.08	46.97
	R20	17.33	6.27	14.46 c	0.42	0.06	64.47
P10 Ort.		16.33 B	5.85 B	10.85 C	0.32 C	0.07	41.25 AB
-1.5 MPa (P15)	R0 (kontrol)	12.33	5.44	4.23 g	0.24	0.06	31.66
	R01	12.67	5.55	7.32 f	0.26	0.06	34.78
	R05	15.00	5.77	8.98 ef	0.28	0.07	41.40
	R10	15.00	6.22	9.98 e	0.32	0.07	41.52
	R20	16.67	6.33	10.21 d	0.33	0.06	66.19
P15 Ort.		14.33 C	5.86 B	8.14 D	0.34 C	0.06	43.11 A
R Ortalama	R0 (kontrol)	14.56 BC	5.77	11.98 E	0.36 C	0.06	27.28 C
	R01	15.00 B	6.11	13.03 D	0.39 B	0.07	28.72 C
	R05	15.96 B	6.41	15.10 C	0.41 B	0.07	34.91 BC
	R10	17.08 A	6.81	16.40 B	0.41 B	0.07	40.33 B
	R20	18.09 A	6.59	18.21 A	0.46 A	0.06	55.37 A
VK (%)		11.31	13.52	15.05	18.52	21.06	21.08
Riboflavin		**	öd	**	**	öd	*
PEG 6000		**	**	**	**	öd	*
R x PEG 6000		öd	öd	**	öd	öd	öd

*:p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemli değil.

YAI: Yaprak alan indeksi; YTA: Yaprak taze ağırlık; YKA: Yaprak kuru ağırlığı.

Antosiyanin İçeriği

Bu çalışma sonunda antosiyanin içeriği üzerine Riboflavin ve PEG uygulamalarının etkisi istatistiki olarak önemli (p<0.01), R x PEG 6000 interaksyonunu ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. PEG 6000 uygulamaları sonucunda elde edilen en yüksek antosiyanin içeriği 43.11 dx ile -1.5 MPa dozu uygulamasından, en düşük değer ise 31.72 dx olarak kontrol dozunda tespit edilmiştir. Kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak antosiyanin içeriğinde strese reaksiyon olarak bir artış meydana gelmiştir. Mısır üzerine yürütülen bir çalışmada kuraklık ve sıcaklık artışına paralel olarak enzimatik olan veya olmayan antioksidant (SOD, APX) seviyesinin yükselerek antosiyanin ve karetonoid içeriğinin artmasına ancak klorofil içeriğinde azalmaya neden olmuştur (Yüzbaşıoğlu vd., 2017). Bu çalışmada riboflavin uygulamalarının antosiyanin içeriği üzerine etkisine bakıldığında en yüksek değer 55.37 dx ile R20 dozundan, en düşük değer ise 27.28 dx ile kontrol doz uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2).

Riboflavin oksidatif stres şartlarında flavin mononükleotid (FMN) ve flavin adenindinükleotid (FAD); her ikisi de redoks (indirgeyici) kofaktör özelliğe sahip olup, bitkide meydana gelebilecek zararı önlemede önemli bir role sahiptir (Sandoval vd., 2008). Ayrıca bir elektron alıcısı olarak bu yeteneği onu aynı zamanda faydalı bir antioksidan maddeye dönüştürdüğü bildirilmiştir (Ashoori ve Saedisomeolia, 2014). Elde ettiğimiz bulgular bu sonuçları destekleyici yönde olduğu görülmüştür.

Fenolik İçeriği

Bitkide fenolik madde içeriği üzerine Riboflavin ve PEG dozu uygulamalarının etkisi ve R x PEG interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda en yüksek fenolik içeriği 147.04 mg g^{-1} olarak -1.5 MPa dozundan, en düşük değer ise 122.27 mg g^{-1} ile kontrol doz uygulamasından tespit edilmiştir. Artan stres şartlarında fenolik madde içeriğindeki artışlar tolerans mekanizmasını güçlendiren antioksidantlar üzerinde pozitif yönde etkili olduğu görülmüştür (Dixon vd., 1992). Elde ettiğimiz bulgulara benzer diğer araştırmacıların çalışmalarına konu olan domates ve armut meyvelerinde fenolik madde, çözülebilen şeker ile antosiyanin içeriklerinin artışı görülmüştür (Rodriguez vd., 2010; Kıpçak vd., 2019). Araştırmada uygulanan Riboflavin dozlarına karşılık en düşük fenolik içeriği 99.93 mg g^{-1} ile kontrol dozundan, en yüksek fenolik içeriği ise 154.15 mg g^{-1} değeri ile 2.0 mM dozunda ölçülmüştür. R x PEG interaksyonu bakımından en yüksek fenolik içeriği P05 x R10 uygulamasından 177.79 mg g^{-1} olarak, en düşük değer ise 94.46 mg g^{-1} (P10 x R0) olarak elde edilmiştir. Riboflavin uygulamalarının stres şartlarında fenolik içeriğinde kısmen bir artışa neden olduğu görülmüştür. Bu değişimin ortaya çıkmasında bitkilerin genetik yapılarının yanı sıra çevresel faktörler ile farklı uygulamaların etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim bu konuda yürütülen bir çalışmada hücre kültüründe riboflavin uygulanan havuç bitkisi UV ışığına maruz kaldıktan sonra antosiyanin miktarının artarken fenilpropanoid ile flavanoid içeriklerinde geçici bir artışa neden olduğu ifade edilmiştir (Gläşgen vd., 1998). Benzer bir diğer çalışmada üzüm çeşitlerinde fenolikler başta olmak üzere diğer sekonder metabolitlerin üretiminin artışı görülmüştür (Çetin vd., 2011).

Flavonoid İçeriği

Araştırma sonunda Riboflavin ve PEG uygulamalarının flavonoid içeriği üzerine etkisi ve R x PEG interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Horoz ibiği bitkisinde kuraklık stresi karşısında flavonoid içeriklerinde bir artma meydana gelmiştir. En düşük değer 53.75 mg g^{-1} ile kontrol dozundan, en yüksek değer ise 70.51 mg g^{-1} 2.0 mM doz uygulamasından elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre artan strese bağlı olarak bitki dokularında flavonoid içeriğini artışı görülmüştür. Bulgularımızı destekleyen bir diğer çalışmada kuraklık stresinin artışına paralel olarak fasulyede fenolik ve flavonoid içeriklerinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Kuşvuran ve Daşgan, 2017). Bu uygulamayı takip eden P05 ve P10 doz uygulamalarında elde edilen sonuçlar (69.81 mg g^{-1} , 70.21 mg g^{-1}) itibari ile aynı grupta yer almışlardır. Kuraklık stresi altında yetiştirilen domateslerde kontrol grubuna göre flavonoid içeriğinin % 33 artışı bildirilmiştir (Temur vd., 2023). Çalışmada kademeli olarak artan riboflavin dozlarına karşılık en yüksek flavonoid içeriği 84.83 mg g^{-1} ile 2.0 mM dozundan, en düşük değer ise 53.52 mM kontrol uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 2). R x PEG interaksyonu bakımından en yüksek flavonoid içeriği P15 x R20 uygulamasından 99.58 mg g^{-1} olarak, en düşük değer ise 47.04 mg g^{-1} (P0 x R0) olarak elde edilmiştir. Çiçeklenme ve tozlanma üzerine etkili olan flavonoidlerin stresle birlikte miktarının artışı görülmüştür. Bu artışta önemli bir koenzim olan riboflavinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu konuda yürütülen çalışmalarda stress kaynaklı bir çok fizyolojik sürecin aktivasyonunda tiamin gibi riboflavininde önemli bir işlevinin olduğu bildirilmiştir (Jordan vd., 1999).

Klorofil a

Horoz ibiği bitkisinde Klorofil a içeriği üzerine Riboflavin (B2) dozu uygulamalarının etkisi ve R x PEG 6000 interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz, PEG 6000 dozu ile oluşturulan kuraklık stresinin ise etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Çalışma sonunda en yüksek klorofil a içeriği sırasıyla 22.86 , 23.61 ve 23.66 mg g^{-1} değerleri ile P0, P05 ile P10 doz uygulamalarında elde edilmiştir. Denemede farklı 3 doz uygulamasından elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. En düşük değer ise 18.71 mg g^{-1} olarak -1.5 MPa dozunda ölçülmüştür (Çizelge 2). Artan kuraklık dozlarına paralel

olarak bitkilerde yaprak ayalarında sararma ve kloroz sonucunda klorofil değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada kuraklık stresine maruz kalan biber bitkisinde klorofil oranı %18.79-37.17 arasında değişim göstererek kontrol grubuna göre azalma gösterdiği bildirilmiştir (Yaban ve Kabay, 2019). Bir diğer çalışmada klorofil miktarındaki azalmanın fotosentez aktivitesini düşürdüğü tespit edilmiştir (Haider vd., 2018).

Çizelge 2. Kuraklık stresi ve riboflavin uygulamaları bitkide fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi.

Table 2. Effects of drought stress and riboflavin applications on physiological and biochemical properties of the plant.

PEG 6000 Dozları	Riboflavin (B2)	Fenolik (mg g ⁻¹)	Flavonoid (mg g ⁻¹)	Klorofil a (mg g ⁻¹)	Klorofil b (mg g ⁻¹)	Top. klor. (mg g ⁻¹)	Karetenoid (mg g ⁻¹)
Kontrol (P0)	R0 (kontrol)	97.38 de	47.04 hı	18.40	10.83	29.23	4.99
	R01	109.67 de	50.74 gh	23.71	11.81	35.52	4.14
	R05	119.04 cd	51.20 gh	23.78	14.42	38.20	4.39
	R10	124.25 cd	55.60 ef	24.14	15.78	39.92	5.33
	R20	140.92 bc	64.17 de	24.28	16.24	40.52	5.36
P0 Ort.		122.27 C	53.75 B	22.86 A	13.82 A	36.67 AB	4.84
-0.5 MPa (P05)	R0 (kontrol)	95.92 e	49.81 h	23.83	14.54	35.96	5.21
	R01	98.42 de	52.59 g	23.79	14.34	36.74	5.10
	R05	117.17 cde	55.37 efg	23.71	14.97	38.68	4.77
	R10	177.79 a	92.64 ab	23.53	13.21	41.13	4.33
	R20	143.00 bc	98.66 ab	23.21	12.75	42.37	3.47
P05 Ort.		126.46 C	69.81 A	23.61 A	13.96 A	38.97 A	4.57
-1.0 MPa (P10)	R0 (kontrol)	94.46 e	64.40 de	23.93	16.42	34.46	4.47
	R01	135.92 c	68.33 d	23.92	15.15	35.44	4.45
	R05	140.50 c	69.72 cd	23.83	13.29	35.79	4.10
	R10	146.33 bc	71.11 bcd	23.73	13.14	37.00	4.89
	R20	168.42 ab	76.90 bc	22.91	10.22	37.06	4.19
P10 Ort.		137.13 AB	70.21 A	23.66 A	13.64 A	35.95 B	4.42
-1.5 MPa (P15)	R0 (kontrol)	111.96 de	52.82 g	22.10	13.33	27.20	4.59
	R01	146.13 bc	61.16 e	18.98	12.98	28.87	4.40
	R05	151.96 bc	65.32 d	18.94	12.91	30.85	4.96
	R10	160.92 ab	73.66 b	17.22	11.65	30.96	4.88
	R20	164.25 ab	99.58 a	16.35	10.85	38.43	3.90
P15 Ort.		147.04 A	70.51 A	18.71 B	12.34 B	31.26 C	4.54
R Ortalama	R0 (kontrol)	99.93 C	53.52 D	22.06	13.78	31.71D	4.81
	R01	122.53 BC	58.20 CD	22.60	13.57	34.14 C	4.52
	R05	132.16 B	60.40 C	22.56	13.91	35.88 C	4.41
	R10	152.33 AB	73.25 B	22.15	13.44	37.25 B	4.96
	R20	154.15 A	84.83 A	21.68	12.51	39.59 A	4.23
VK (%)		14.58	18.25	4.34	21.49	9.32	11.67
Riboflavin		**	**	öd	öd	**	öd
PEG 6000		**	**	*	**	**	öd
R x PEG 6000		**	**	öd	öd	öd	öd

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemli değil.

Klorofil b

Bitkide klorofil b üzerine PEG 6000 uygulamalarının etkisi önemli, Riboflavin (B2) dozu uygulamalarının etkisi ve R x PEG 6000 interaksyonu ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p<0.01, P<0.05). Bitkide kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek klorofil b kontrol doz uygulamasından 13.82 mg g⁻¹, en düşük ise 12.34 mg g⁻¹ değeri ile -1.5 MPa dozunda tespit edilmiştir. Kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak klorofil b içeriği azalmıştır (Çizelge 2). Bitkide yaprak sayısı, yaprak uzunluğu, yaprak alan indeksi, yaprak taze ağırlığı gibi yeşil aksamdaki azalmaya paralel olarak klorofil b değerlerinde düşme meydana

gelmiştir. Benzer bir çalışmada 9 adet domates çeşidinde kuraklık stresi sonucunda klorofil b değerleri % 3.97-63.18 oranında kontrole göre azalma göstermiştir (Alp ve Kabay, 2017). Kuraklık stresine karşı dayanıklık bitkilerin genetik yapılarının yanı sıra stresin süresi ve şiddetine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Tunçtürk vd., 2021).

Toplam Klorofil

Bu çalışma sonunda toplam klorofil içeriği üzerine Riboflavin ve PEG uygulamalarının etkisi önemli ($p<0.01$), R x PEG 6000 interaksyonu ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. PEG 6000 uygulamaları sonucunda elde edilen en yüksek klorofil içeriği 38.97 13.82 mg g⁻¹ ile -0.5 MPa dozundan, en düşük değer ise 31.26 13.82 mg g⁻¹ olarak -1.5 MPa dozu uygulamasında tespit edilmiştir. Kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak toplam klorofil miktarında azalma meydana gelmiştir. Bitkilerde yeşil rengi veren klorofil maddesidir. Bu madde stres şartlarında miktarı azalarak solar radyasyon miktarını ve tabiki fotosentetik aktiviteyi azalmasına neden olmaktadır (Gitelson vd., 2003). Bu çalışmada riboflavin uygulamalarının toplam klorofil içeriğini artırdığı görülmüştür. En yüksek değer 39.59 mg g⁻¹ ile R20 dozundan, en düşük değer ise 31.71 mg g⁻¹ ile kontrol doz uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Riboflavin bitki yapraklarında fotosentez ve solunum olaylarında rol oynayan enzimleri aktivite ederek stres kaynaklı zarar düzeyini azalttığı bildirilmiştir (Deng vd., 2014). Bu sonuçlar elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermiştir.

Karotenoid İçeriği

Karotenoid içeriği üzerine Riboflavin ve PEG uygulamalarının etkisi, ayrıca R x PEG 6000 interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P<0.05$, $P<0.01$). Karotenoid içeriği 3.47- 5.36 mg g⁻¹ arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2). Bitkisel pigment olmanın dışında abiyotik streslere karşı agresif bir antioksidant pigment olarak bilinmektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Özellikle fotosentez sırasında fotosenteze yardımcı pigmentlerden biri olarak bilinmektedir. Stres ve toksik şartlar altında absorbe edilen enerjinin %15-90 verimlilikle klorofile aktarılmasında önemli roller üstlendikleri belirtilmiştir. Ayrıca aşırı ışık ve sıcaklık şartlarında klorofili koruyucu etkiye sahiptirler. Stres karşısında bir çok bitkide karotenoid miktarının arttığı rapor edilmiştir (Keleş ve Öncel, 2002; Kaya ve İnan, 2017) Bu çalışmada strese bağlı olarak karotenoid içeriğinin değişmemesi bitkiler arası genetik farklılığa veya değişik uygulamalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada horoz ibiği (*Amaranthus albus* L.) bitkisinde PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresine karşı Riboflavin (B2) uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir.

Horoz ibiği bitkisinde kontrol uygulamasına göre -1.5 MPa dozla oluşturulan kuraklık stresi sonucunda yaprak sayısında, yaprak uzunluğunda, yaprak alan indeksinde, yaprak taze ağırlığı, klorofil a ve b ile toplam klorofil miktarlarında sırasıyla %13.50, %22.48, %65.06, %45.76, %18.15, %10.70 ve %19.78 oranında azalma olmuştur. Kuraklık stresi sonucunda antosiyanin, flavonoid ve fenolik değerlerinde sırasıyla %26.42, %23.76 ile %16.84 oranında artışlara neden olmuştur. Yaprak kuru ağırlığı ve karotenoid içeriğinde ise istatistiksel olarak önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bitkide kontrol uygulamasına göre 2 mM riboflavin uygulamalarının kuraklık stresi karşısında yaprak sayısı, yaprak alan indeksi, yaprak taze ağırlığı, antosiyanin, fenolik madde, flavonoid ve toplam klorofil değerlerinde (sırasıyla %19.51, %34.21, %21.73, %50.73, %35.17, %36.63 ve %19.90) artış ile meydana gelen zararı iyileştirici ve düzenleyici etkisi olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresine karşı riboflavin (B2) uygulamalarının hasar düzeyini azalttığı söylenebilir. Ancak daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için bu çalışmanın tarla şartlarında test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kuraklık stresine karşı benzer çalışmaların yürütülmesinin literatüre ve problemin çözümüne katkı sağlayacağı kanaati hasıl olmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

YAZAR KATKISI

Yazarların makaleye katkısı eşit düzeydedir.

ETİK KURUL

Bu çalışmada etik kuruluna gerek yoktur.

KAYNAKLAR

- Abood, N.M., & Abdulhameed, Z. A. J. (2017). Response of some sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) cultivars to foliar spraying of riboflavin growth, grain yield and proline content plant production, *Mansoura Unioiversty*, 8(11), 1093-1101. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.41117>.
- Alegbejo, J. O. (2013). Nutritional value and utilization of Amaranthus (*Amaranthus* spp.) – a review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 6 (1), 136-143. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v6i1.27>.
- Alp, Y., & Kabay, T. (2017). Kuraklık stresinin bazı yerli ve ticari domates çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3), 387-395. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.307257>
- Anonim. (2015). Amaranthaceae plant family. <https://www.britannica.com/plant/Amaranthaceae>. [Erişim tarihi: 13 Şubat 2024].
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). Cereal grains for the food and beverage industries. woodhead *Publishing Series in Food Sciences, Technology and Nutrition*. 248, Philadelphia, USA. <https://doi.org/10.1533/9780857098924>
- Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (vitamin B2) and oxidative stress: a review. *British Journal of Nutrition*, 111:1985–1991. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000178>
- Belton, P. S., & Taylor, J. R. (2002). Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. *Springer Science & Business Media*. 269 p. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00019_5.x.
- Berghofer, E., & Schoenlechner, R. (2002). Grain amaranth. In Belton P, Taylor J: Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. *Springer-Verlag*, 219-260. https://doi.org/10.1007/978-3-662-09544-7_7.
- Bressan, R. (1989). The proteins of grain amaranth. *Food Review International*, 5, 13-38.
- Çetin, E. S., Uzunlar, F., & Baydar, N.G. (2011). UV-C uygulamasının Gamay üzüm çeşidine ait kalluslarda sekonder metabolit üretimi üzerine etkileri. *Gıda*, 36(6), 319-326. <https://doi.org/10.5505/gida.2013.76486>
- Cerovic, Z. G., Ghazlen, N. B., Milhade, C., Obert, M., Debuissou, S., & Moigne, M. L. (2015). Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dualex leaf-clip measurements in the field. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 63(14), 3669-3680. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00304>.
- Deng, B., Jin, X., Yang, Y., Lin, Z., & Zhang, Y. (2014). The regulatory role of riboflavin in the drought tolerance of tobacco plants depends on ROS production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 72, 269–277. <https://doi.org/10.1007/s10725-0139858-8>
- Dixon, R. A., Choudhary, A. D., Dalkin, D., Edwards, R., Fahrendorf, T., Gowri, G., Harrison, M. J., Lamb, C. J., Loake, G. J., Maxwell, C. A., Orr, J., & Paiva, N. L. (1992). Molecular biology of stressinduced phenylpropanoid and isoflavonoid biosynthesis in alfalfa. In Phenolic Metabolism in Plants, H.A. Stafford and R.K. Ibrahim,eds (*New York: Plenum Press*), 91-138.
- Dong, H. S., & Beer, S. V. (2000). Riboflavin induces disease resistance in plants by activating a novel signal transduction pathway. *Phytopathology*, 90, 801–811. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.8.801>
- Ercişli, S., Eşitken, A. & Güleriyüz, M. (1999). The effect of vitamins on the seed germination of apricots. *Acta Horticultural Sciences*, 488: 437-440. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.488.69>.
- Ergun, M., Özbay, N., Osmanoğlu, A., & Çalkır, A. (2014). Sebze ve tahıl olarak amarant (*Amaranthus* spp.) bitkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(3), 21-28.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Cheema, Z. A., Cheema, M. A., & Khaliq, A. (2008). Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improve drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agronomy Crop Sciences*, 194, 325-333. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00323.x>

- Gitelson, A. A. Gritz, U., & Merzlyak, M. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, 160, 271-282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>
- Gläßgen, W. E., Rose, A., Madlung, J., Koch, W., Gleitz, J., & Seitz, H. U. (1998). Regulation of enzymes involved in anthocyanin biosynthesis in carrot cell cultures in response to treatment with ultraviolet light and fungal elicitors. *Planta*, 20:4, 490-498. <https://doi.org/10.1007/s004250050283>
- Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Filek, W., & Stabryla, J. (2003). Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale. *Acta Physiologiae Plantarum*, 25 (1), 29–37. <https://doi.org/10.1007/s11738-003-0033-0>
- Haider, M. S., Kurjogi, M. M., Khalil-ur-Rehman, M., Pervez, T., Songtao, J., Fiaz, M., & Fang, J. (2018). Drought stress revealed physiological, biochemical and gene-expressional variations in 'Yoshihime' peach (*Prunus persica* L.) cultivar. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 83-90. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1432772>
- Hajibabae, M., Azizi, F., & Zargari, K. (2012). Effect of drought stress on some morphological, physiological and agronomic traits in various foliage corn hybrids. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 12, 890-896. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2012.12.07.1751>
- Jordan, D. B., Bacot, K. O., Carlson, T. J., Kesseli, M., & Viitanen, P. V. (1999) Plant riboflavin biosynthesis. Cloning, chloroplast localization, expression, purification, and partial characterization of spinach lumazine synthase. *Journal of Biological Chemistry*, 274, 22114–22121. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.31.22114>
- Kalefetoğlu, T. T., & Ekmekçi, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 723-740.
- Kaya, A., & İnan, M. (2017). Tuz (NaCl) stresine maruz kalan reyhan (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinde bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine salisilik asidin etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3), 332- 342. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.339489>
- Keleş, Y., & Öncel, I. (2002). Buğday fidelerinde büyüme ve pigment içeriği üzerine sıcaklık ve su-tuz streslerinin birlikte etkileri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 143-152.
- Keskin, B., Temel, S., Çakmakçı, S., & Tosun, R. (2021). Bazı Horoz ibiği (*Amaranthus* spp.) çeşitlerinin kurak ve sulu şartlardaki tohum verimleri ve verim unsurları üzerine araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52 (1), 11-19. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.715545>
- Kılıçaslan, S. C., Yıldırım, E., Ekinci, M., & Kul, R. (2020). Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 36(2), 264-273.
- Kıpçak, S., Ekinci, A., Erdinç, Ç., Kabay, T., & Şensoy, S. (2019). Tuz stresinin farklı fasulye genotiplerinde bazı besin elementi içeriği ile toplam antioksidan ve toplam fenol içeriğine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29 (1), 136-144. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.504748>
- Kuşvuran, Ş., & Daşgan, H. Y. (2017). Effects of drought stress on physiological and biochemical changes in (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legume Research*, 40(1), 55-62. <https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.7025>
- Kuşvuran, Ş. (2010). *Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleranslı fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar* [Doktora Tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü s. 356, Adana/Türkiye.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transaction*, 11, 591– 592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., & Sadeghian, S.Y. (2005). Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turk Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 357-368.
- Mori, T., & Sakurai, M. (1995). Effects of riboflavin and increased sucrose on anthocyanin production in suspended strawberry cell cultures. *Plant Science*, 110, 147–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb12184.x>
- Obanda, M., & Owuor, P. O. (1997). Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicator of Kenyan black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 209-215.
- Özaslan, C., & Kendal, E. (2014). Lice domatesi üretim alanlarındaki yabancı otların belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (3), 29-34.

- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, J., Luyck, M., Cazin, M., Cazin, J. C., Bailleul, F., & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal Ethnopharmacol*, 72, 35-40. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00196-3)
- Rastogi, A., & Shukla, S. (2013). Amaranth: A new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 109-125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>
- Rodriguez, S., Wilhelmi, R., Cervilla, L., Blasco, B., Rios, J., Rosales, A., Romero, L., & Ruiz, J. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001>
- Sandoval, F. J., Zhang, Y., & Roje, S. (2008). Flavin nucleotide metabolism in plants: monofunctional enzymes synthesize fad in plastids. *Journal of Biological Chemistry*, 283, 30890-30900. <https://doi.org/10.1074/jbc.M803416200>
- Sevindik, B. (2021). Farklı dozlarda PEG 6000 uygulamalarının safranda in vitro rejenerasyona etkileri. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 408-417.
- Temur, B., Akhoundnejad, Y., H., Daşgan, Y., & Ersoy, L. (2023). Kuraklık stresi altında yetişen domatesin makro mikro element ve antioksidan içeriğine yapraklardan uygulanan potasyumlu gübrelerin etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(1), 15-29. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1214740>
- Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., & Oral, E., (2021). Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen soya fasulyesinin (*Glycine max* L.) bazı fizyolojik özellikleri üzerine rizobakterium (PGPR) uygulamalarının etkisi. *Çanakkale Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 359-368. <https://doi.org/10.33202/comuagri.881226>
- Ülker, M., Oral, E., Altuner, F., Özdemir, B., Salihi, S.J., & Demiratmaca, Ş. (2022). Non-cereal grain. advance studies in science. *ISPEC Yayın Evi*: 1-18.
- Wang, S., & Tzeng, D. D. (1998). Methionine-riboflavin mixtures with surfactants and metal ions reduce powdery mildew infection in strawberry plants. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, Life Sciences*, 123, 987-991.
- Yaban, İ., & Kabay, T. (2019). Kuraklık stresinin Şanlıurfa biberinde iyon klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 8 (1), (11-17).
- Yarnia, M., Khorshidi Benam, M. B., Farajzadeh Memari Tabrizi, E., Nobari, N., & Ahmadzadeh, V. (2011). Effect of planting dates and density in drought stress condition on yield and yield components of amaranth cv. Koniz. *Advances in Environmental Biology*, 5(6), 1139-1149.
- Yüzbaşıoğlu, E., Dalyan, E., & Akpınar, I. (2017). Changes in photosynthetic pigments, anthocyanin content and antioxidant enzyme activities of maize (*Zea mays* L.) seedlings under high temperature stress conditions. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 18(2), 97-104.