



Kuraklık Stresi Altında Horoz İbiği (*Amaranthus albus* L.) Bitkisinde Riboflavin Uygulamalarının Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Effect of Riboflavin Applications on Physiological and Biochemical Characteristics of Amaranth (*Amaranthus albus* L.) Plant Under Drought Stress

Rüveyde TUNÇTÜRK¹, Erol ORAL², Murat TUNÇTÜRK³, Tülay TOPRAK⁴

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye
· ruveydetuncurk@yyu.edu.tr · ORCID > 0000-0002-3759-8232

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye
· eroloral65@gmail.com · ORCID > 0000-0001-9413-1092

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye
· murattuncurk@yyu.edu.tr · ORCID > 0000-0002-7995-0599

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye
· tulay1024@gmail.com · ORCID > 0000-0002-5576-2526

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 12 Mart/March 2024

Kabul Tarihi/Accepted: 5 Temmuz/July 2024

Yıl/Year: 2024 | **Cilt-Volume:** 39 | **Sayı-Issue:** 3 | **Sayfa/Pages:** 495-514

Atıf/Cite as: Tunçtürk, R., Oral, E., Tunçtürk, M., Toprak, T. "Kuraklık Stresi Altında Horoz İbiği (*Amaranthus albus* L.) Bitkisinde Riboflavin Uygulamalarının Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi"
Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 39(3), Ekim 2024: 495-514.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Erol ORAL

KURAKLIK STRESİ ALTINDA HOROZ İBİĞİ (*AMARANTHUS ALBUS L.*) BİTKİSİNDE RİBOFLAVİN UYGULAMALARININ FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışma, 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 bitkide büyüme parametreleri ile biyokimyasal değişiklikler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada uygulanan faktörlerin etkisi doğrultusunda horoz ibiğinde bitki boyu (9.0-25.83 cm), kök uzunluğu (28.07-46.07 cm), gövde yaş ağırlığı (2.57-13.23 g), gövde kuru ağırlığı (0.39-1.23 g), kök yaş ağırlığı (4.79-15.90 g), kök kuru ağırlığı (0.64-2.27 g), bitki sıcaklığı (23.60-24.87°C), askorbik asit miktarı (13.55-20.96 ppm), malondialdehit (4.06-9.65 $\mu\text{mol g}^{-1}$), azot balans indeksi (27.60-86.40 mg g^{-1}), klorofil (28.87-41.30 SPAD), Flavonoid (0.41-1.14 dx), antosiyanin (0.02-0.08 dx) ve suda çözülen madde miktarı (% 3.90-10.53) incelenmiştir. Çalışma sonucunda; PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda bitki boyu, kök uzunluğu, gövde yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı, klorofil ve Flavonoid değerlerinin kısmen ya da tamamen azaldığı görülmüştür. Araştırmada sıcaklık, MDA, azot balans indeksi ile suda çözülen madde miktarında ise artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin askorbik asit ve antosiyanin üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu çalışmada PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stersine karşı riboflavin (B2) dozu uygulamalarının incelenen fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerinde olumsuz etkisini azaltıcı ve düzenleyici etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PEG 6000, Riboflavin, Horoz İbiği, Kuraklık Stresi, Tolerans.



EFFECT OF RIBOFLAVIN APPLICATIONS ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AMARANTH (*AMARANTHUS ALBUS L.*) PLANT UNDER DROUGHT STRESS

ABSTRACT

This study was carried out in amaranth (*Amaranthus albus L.*) plant with drought stress at different perturbation pressures (control, -0.5 MPa, -1.0 MPa and -1.5 MPa) created with PEG 6000 and Riboflavin (B2) (control, 0.1, 0.5, 1.0 and 2.0 mM) applications on growth parameters and biochemical changes. In the research, plant height (9.0-25.83 cm), root length (28.07-46.07 cm), stem fresh weight

(2.57-13.23 g), stem dry weight (0.39-1.23), root fresh weight (4.79-15.90 g) of the amaranth plant. , root dry weight (0.64-2.27 g), plant temperature (23.60-24.87 °C), ascorbic acid (13.55-20.96 ppm), malondialdehyde (4.06-9.65 $\mu\text{mol g}^{-1}$), nitrogen balance index (27.60-86.40 mg g^{-1}), chlorophyll (28.87-41.30 SPAD), flavonoid (0.41-1.14 Delux index), anthocyanin (0.02-0.08 dx) and the amount of water-soluble substance (3.90-10.53 %) were examined. In the results of working; As a result of drought stress caused by PEG 6000, plant height, root length, stem fresh and dry weight, root fresh and dry weight, and Flavonoid values were partially or completely reduced. In the research, it was determined that temperature, MDA, chlorophyll, nitrogen balance index and the amount of substance dissolved in water caused increases. The effect of drought stress on ascorbic acid and anthocyanin was found to be statistically insignificant.

In this study, it was determined that riboflavin (B2) dose applications against drought stress caused by PEG 6000 had a regulating and reducing effect on the physiological and biochemical properties examined.

Keywords: PEG 6000, Riboflavin, Amarant, Drought Stress, Tolerance.



1. GİRİŞ

Horoz ibiği bitkisi Amaranthaceae familyası içerisinde yer alan *Amaranthus* cinsine ait 60-70 kadar türden oluşan tek ve çok yıllık kozmopolit bir cinsidir (Anonim, 2015). Amerika kıtasında geniş bir yayılım gösteren bitki Aztek ve Inka uygarlığında besin maddesi olarak kullanımının yanında dini ve sosyal ritüellerde kullanıldığı bilinmektedir. Birçok çeşidi olan bitkinin sebze, yalancı tahıl ve süs bitkisi olarak geniş bir kullanım alanı vardır. Horoz ibiğinin daneleri ve yaprakları insan ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. (Yarnia ve ark., 2011; Ergun ve ark., 2014; Özaslan ve Kendal, 2014). Ayrıca bitkinin göz alıcı bir çiçek yapısına sahip olması peyzaj çalışmalarında çok tercih edilen bitkiler arasında yer almıştır (Keskin ve ark., 2021). Avrupa kıtasına 16. yüzyılda yeni kıtanın keşfinden sonra bir tahıl olarak getirilmiştir. Bitki Hindistan, Çin, Güneydoğu Asya, Meksika, ABD ve Rusya, Avrupa ve Çek Cumhuriyeti'nde ticari olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır (Belton ve Taylor, 2002). Ülkemizde ise resmi kayıtlarda ekiliş ve üretimine dair herhangi bir resmi kayıt bulunmamaktadır (Ülker ve ark., 2022). Pişmemiş horoz ibiği tanesi birçok tahıl ile kıyaslandığında protein, yağ, lif ve mineral madde içeriklerinin daha yüksek, karbonhidrat miktarının ise düşük olduğu görülmüştür. (Alegbejo, 2013; Arendt ve Zannini, 2013). Bitki tohumları ortalama olarak %12 su, %65 karbonhidrat (%7'si diyet lifi dahil), %17 protein, %8 yağ ve %3.5 kül içermektedir. (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Ayrıca bitki tohumlarından elde edilen undan yapılan ekmek, bisküvi ve erişte gibi gıdalar

gluten içermediğinden çölyak hastalarınca tercih edilmektedir (Rastogi ve Shukla, 2013). Bitkinin su tüketimi oldukça düşük olduğu gibi stres şartlarına oldukça dayanıklıdır. Kurak dönemlerde yavaşlayan büyüme ve gelişme yeterli suyun karşılandığı şartlarda yeniden aktif duruma gelebilmektedir. 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 ve ark., 2014). Tarım sektörü artan 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. Son yıllarda 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 stersine 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 ve ark., 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 ve ark., 1981). 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 ve ark., 1999).

Bu çalışmada polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan kuraklık stresine karşı B2(-riboflavin) vitamin'in horoz ibiği bitkisinde meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL METOT

Bu çalışma 2022 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (Van YYÜ) Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü' ne ait tam kontrollü iklim kabininde yürütülmüştür. İklim odasında bitkiler floresan lambalarla ışıklandırılmış (16 saat aydınlık, 8 saat karanlık) ortamda 22.5 °C sıcaklıkta, %65'lik neme sahip bir ortamda tutulmuştur. Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Van YYÜ Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bahçesinden elde edilen *Amaranthus albus* L. tohumları, turba + perlit + toprak karışımı (1: 1: 2) içerisine ekimler yapılmıştır. Bu karışım yapılan analizinde hafif alkali reaksiyona sahip, organik maddesi orta seviyede ve tuzsuz olduğu tespit edilmiştir. Tohumlar 500 ml'lik saksılara ekilerek % 65 nem; 8/16 saat karanlık/aydınlık periyotta; 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 hoagland besi çözeltisi (1000 ml Hoagland besin çözeltisi içeriğinde; 1.0 g KNO₃, 0.5 g Ca(NO₃)₂, 0.25 g NH₄H₂PO₄, 0.5 g MgSO₄, 0.003 g H₃BO₃, 0.0015 g MnCl₂, 0.0001 g CuSO₄, 0.0001 g H₂MoO₄, 0.0006 g C₄H₆O₆, 0.0003 g FeSO₄ ve 0.0003 g ZnSO₄) ile gübreleme yapılmıştır (Hoagland ve Arnon, 1950). 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 0 g, -0.5 MPa, -1 MPa ve -1.5 MPa PEG-6000 uygulanmıştır. İlk uygulama 19.06.2022 tarihinde yapılmış olup toplamda 5 uygulama yapılmıştır. Bitkilerde solma ve sonrasında kuruma gibi fizyolojik parametreleri etkileyecek belirtilerin ortaya çıkmasından sonra deneme 05.07.2022'de sonlandırılmıştır.

2.1. Araştırmada İncelenen Özellikler;

Bitkide yaprak sıcaklığı ölçümünde taşınabilir kızılötesi infrared termometre kullanılmıştır. Bitkinin morfolojik gelişim parametrelerinden kök ve gövde uzunluğu dijital kumpas yardımıyla cm cinsinden ölçülmüş, kök ve gövdenin yaş ve kuru ağırlıkları ise hassas terazi (0,0001 g) yardımıyla belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen bitki ve kökler daha sonra 40 °C'de 72 saat kurutulmuş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir (Bat ve ark., 2017). Klorofil, Flavonol, Antosiyanin içeriği ve nitrojen balans indeksi (NBI), Cerovic ve ark. (2015) göre Dualex bilimsel + (FORCE-A, Fransa) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Lipid Peroksidasyon seviyelerinin belirlenmesi için (MDA) 0.5 g yaprak örneği 10 ml % 0.1'lik trikloro asetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 15000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin süpernatant kısmından 1 ml alınıp, üzerine 4 ml % 20'lik TCA içerisinde çözülmüş % 0.5'lik tiobarbiturik asit (TBA) eklenmiştir. Karışım 95°C su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutu-

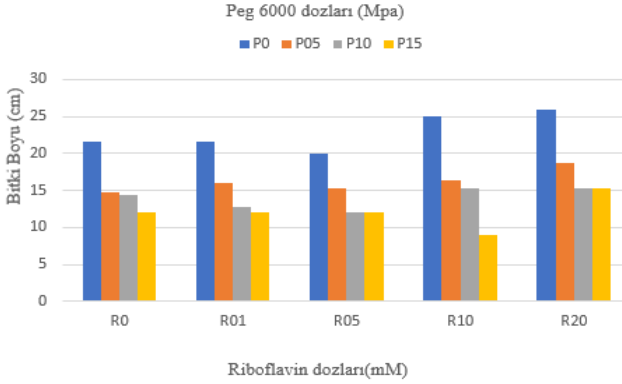
lup 10000 g'de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra süpernatant kısmının 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbansı belirlenmiş ve MDA içeriği $\text{nmol g}^{-1}\text{T.A}$ olarak tespit edilmiştir. MDA içeriği Güneri ve Bağcı (2010)'ya göre hesaplanmıştır. Toplam Antioksidan aktivite FRAP yöntemine (Benzie, Strain 1996) dayandırılmış ve ardından 593 nm'de absorbans değeri okunmuş ve antioksidan aktivite değerleri Trolox eşdeğeri (TE)/ olarak kaydedilmiştir. Toplam flavonoid madde tayini Quettier-Deleu ve ark. (2000)'nın geliştirmiş oldukları yöntem baz alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada 2 ml ekstrakt üzerine 2 ml %2'lik AlCl_3 eklenerek oda sıcaklığında ve karanlıkta 60 dakika bekletilmiştir. Hazırlanan örnekler 415 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmüş ve standart quersetin (QE) kullanılarak hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak mg QE/100 g cinsinden hesaplanmıştır. Antohosiyanın içeriklerinin tespitinde dualex cihazı kullanılmıştır. Askorbik asit tayini spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (AOAC, 1990). 100 μL süpernatant üzerine 400 μL %0,4 oksalik asit ve 4,5 ml 2,6-diklorofenolindofenol çözeltisi eklenerek 520 nm'de absorbans değerleri spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Saf askorbik asit ile çizilen kalibrasyon eğrisi yardımıyla numunelerdeki askorbik asit miktarı mg/100 g cinsinden hesaplanmıştır. Bu çalışmada suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM) ise dijital el reflaktometresi ile tespit edilmiştir.

Elde edilen verilerin istatistik analizleri tesadüf parsellerinde faktöriyel 4*5 deneme desenine göre, Costat 6.303 istatistik Analiz Programı'nda yapılmıştır. Ortalama veriler ayrıca Duncan Çoklu Aralık Testi ile $P<0.05$ 'te karşılaştırılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma sonunda elde edilen verilere göre Riboflavin, PEG ve R x PEG uygulamalarının horoz ibiği bitkisinde bitki boyu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 1; Şekil 1). En yüksek bitki boyu 18.79 cm ile R20 uygulamasından elde edilirken, en düşük bitki boyu 14.84 cm ile R05 uygulamasında ölçülmüştür. Elde ettiğimiz bu sonuçlara göre riboflavin dozlarının bitki boyu değerlerini önce azalttığı sonra ise artırdığı tespit edilmiştir. Sonuçlarımız ile kısmen benzerlik gösteren bir diğer çalışmada riboflavin dozlarının stres karşısında koruyucu özellikteki antioksidatif bileşenlerin üretimini uyardığı görülmektedir (Mori ve Sakurai 1995). Bu çalışmada PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek bitki boyu 22.80 cm ile kontrol uygulamasından, en düşük değer ise 12.07 cm ile -1.5 MPa doz uygulamasında tespit edilmiştir. Artan dozlardaki PEG uygulamalarının horoz ibiği bitkisinde bitki boyu uzunluğunu azalttığı görülmüştür. Benzer bir çalışmada ekinezya bitkisinde PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda bitki boyunun %10 azaldığı görülmüştür (Bat ve ark., 2021). R x PEG uygulamaları sonucunda elde edilen en yüksek bitki boyu değeri 25.83 cm olarak R20 ile stresin olmadığı kontrol grubundan elde edilmiştir. En düşük

değer ise stresin olmadığı kontrol grubunda R05 doz (20.00 cm) uygulamasında ölçülmüştür. Stres sonunda plazmolize uğrayan bitkilerde fotosentez ve solunum gibi hayati faaliyetler sekteye uğramaktadır. Bunun sonucunda büyüme ve gelişme aktiviteleri ya kısmen yada tamamen durma noktasına gelmektedir. Tütün bitkisinde riboflavin seviyelerinin kuraklık toleransını artırdığı görülmüştür (Deng ve ark. 2014). Riboflavinin stres karşısında savunma mekanizmalarını aktivite hızını artırdığı tespiti çalışmamız ile benzerlik göstermiştir (Taheri ve Tarighi 2010).

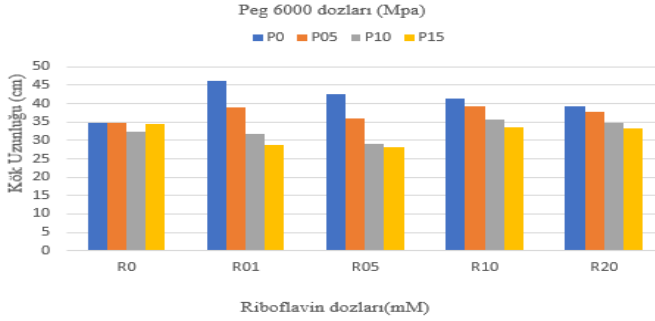


Şekil 1. Horoz ibiği bitkisinde R x PEG uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi

Figure 1. Effect of R x PEG applications on plant height in amaranth plant.

Horoz ibiği bitkisinde riboflavin uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür. En yüksek kök uzunluğu R05 ve R01 doz (37.44 ile 37.41 cm) uygulamaları sonucu aynı grupta yer alırken, en düşük değer ise riboflavinsiz kontrol uygulaması sonucunda 34.08 cm olarak ölçülmüştür. Kök uzunluk değerlerinin artan riboflavin uygulamalarına bağlı olarak önce arttığı sonra ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu düşüşte stresin süresinin ve şiddetinin etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda stres şartlarında riboflavinin bitkilerde solunum üzerine olumlu ve pozitif etkisinin olduğu ve kök ile gövde gelişimini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Ghur ve ark., 2017). Kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek kök uzunluğu ise 40.87 cm ile kontrol grubundan, en düşük değer ise 31.77 cm ile -1.5 MPa doz uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 1; Şekil 2). Bat ve ark. (2021)'nin ekinazyaya ile yürüttükleri çalışmada kuraklık stresi sonucunda kök uzunluğunda %11 oranında azalma görülmüştür. Horoz ibiği bitkisinde R x PEG uygulaması sonucunda en yüksek kök uzunluğu 46.07 cm (R01 x P0), en düşük değer ise 28.07 cm (R05 x P15) olarak ölçülmüştür. Stresin şiddetine ve süresine bağlı olarak sürgün ve kök meristem hücrelerinde büyüme ve çoğalmanın yavaşladığı görülmüştür (Tunçtürk ve ark., 2021). Kuraklığın ilk zamanlarında bitki suya erişmek için kökleri daha derine bü-

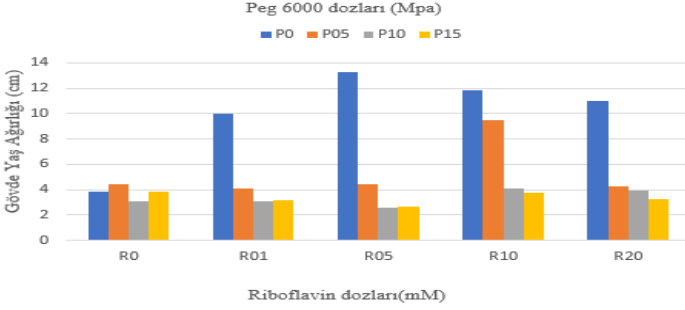
yütme eğiliminde olmasına rağmen sonraki dönemlerde streten kurtulamaz ise büyüme durma noktasına gelebilir. Stres karşısında bitki büyüme düzenleyicilerinin varlığı kök ve gövde oranlarındaki dramatik kayıpları azalttığı belirtilmiştir (Anjum ve ark., 2011). Stres karşısında riboflavin gibi vitaminlerin köklerin derinlere uzama ve emme potansiyelini artırdığı düşük seviyede bile olsa büyümeye devam ettiği görülmüştür (Blum 2005).



Şekil 2. Horoz ibiği bitkisinde R x PEG uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi

Figure 2. Effect of R x PEG applications on root lenght in amaranth plant.

Riboflavin uygulamaları sonucunda en yüksek gövde yaş ağırlığı 7.29 g ile R10 uygulamasından elde edilirken, en düşük değer 3.80 g ile kontrol uygulamasında ölçülmüştür. Riboflavin dozları arttıkça kuraklık stresine karşı gövde yaş ağırlığında çok sert düşüşler görülmemiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında strese karşı riboflavin uygulamalarının koruyucu ve iyileştirici bazı mekanizmalara etki ettiği düşünülmektedir. Ancak stresin şiddeti ve süresi uzadıkça bu etki zayıflayabilir. Bitkiler bu şartlarda riboflavin gibi enzimatik olmayan bazı etki mekanizmalarının düzenleyici katkılarında sahip olabilir (Ingram ve Bartles, 1996). Riboflavin (B2 vitamini) bitkilerde kuraklığa toleransı düzenleyen bir antioksidandır (Ghur ve ark., 2017). PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda en yüksek gövde yaş ağırlığı 11.12 g ile kontrol grubundan, en düşük değer ise 3.35 g ile -1.5 MPa doz uygulaması sonucunda ölçülmüştür. Buğday ve bezelyede PEG 6000 (%10) ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda bitkilerde yaş ve kuru ağırlığın azaldığı bildirilmiştir (Alexieva ve ark., 2001). Benzer bir diğer çalışmada kuru ağırlığın kontrol gruplarına göre %43-50 oranda azaldığı tespit edilmiştir (Tsuji ve ark., 2003). Bu çalışmada R x PEG uygulamasında en yüksek gövde yaş ağırlığı 13.23 g (R05 x P0), en düşük gövde yaş ağırlığı ise 2.57 g (R05 x P10) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 1; Şekil 3). Kuraklık stresi sonucunda oluşan reaktif oksidasyonda glutatyon ve riboflavin (B2 vitamini) gibi metabolitler de antioksidan görevi gördüğü belirtilmiştir (Mittler 2002).



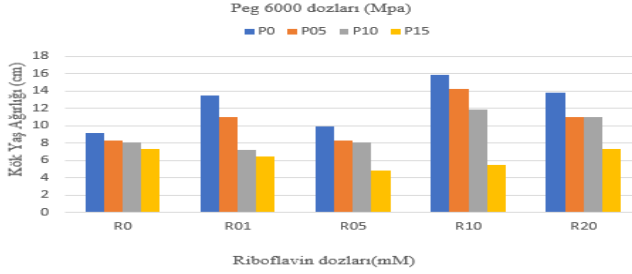
Şekil3. Horoz ibiği bitkisinde RxPEG uygulamalarının gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi

Figure 3. Effect of R x PEG applications on stem fresh weight in amaranth plant.

Bitkide gövde kuru ağırlığı üzerine Riboflavin ve PEG uygulamalarının etkisi önemli, R x PEG uygulamalarının etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 1). Bitkide en yüksek gövde kuru ağırlığı 0.87 g ile R20 uygulamasından elde edilirken, diğer dozlarla birlikte sırasıyla 0.56, 0.66, 0.69 ve 0.70 g ağırlık değerleri ile aynı grupta yer almıştır. Kuraklık stresi ile birlikte solunumun azalması bitkide gövde ve kök gelişimini etkilediği bildirilmiştir (Manzoni ve ark., 2012). Mantarda 20 MPa dozu uygulamasında kontrol uygulamasına göre yaklaşık % 200-300 oranında yaş ve kuru ağırlık kaybı meydana geldiği belirtilmiştir (Ghur ve ark., 2017). Bu çalışmada PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda elde edilen en yüksek gövde kuru ağırlık değeri 1.07 g ile kontrol uygulamasından, en düşük değer ise 0.46 ve 0.53 g (P15 ve P10) olarak aynı grupta yer aldıkları görülmüştür. Bat ve ark (2021)'de yürüttükleri çalışmada kuraklık stresinin ekinezya bitkisinde kuru kök ağırlığını kontrol grubuna göre %14.4 oranında azalttığını bildirmişlerdir. Kirazda Polietilen Glikol (PEG-8000) ile oluşturulan kuraklık stresi sonucunda kullanarak kuraklık stresinde çok ciddi kayıp olduğu görülmüştür (Sivritepe ve ark., 2008).

Horoz ibiği bitkisinde Riboflavin PEG ve R x PEG uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Şekil 4). En yüksek kök yaş ağırlığı 11.87 g ile R10 uygulamasından, en düşük değer ise kontrol uygulaması sonucunda 7.77 g olarak ölçülmüştür. Bitkilerin kök ve gövde gelişimleri üzerine riboflavin gibi vitaminlerin kuraklık stresinde dayanıklı genlerin aktivasyonlarını artırdığı bildirilmiştir (García-Martínez ve ark., 2015) Elde edilen en yüksek kök yaş ağırlığı 12.48 g ile kontrol grubundan, en düşük değer ise 6.29 g ile -1.5 MPa doz uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 1). Strese bağlı verim kayıpları kuraklığın şiddeti ve süresinin yanı sıra bitkinin tür ve çeşit özelliği ile yakından ilgili olduğu bildirilmiştir (Sani ve Farhani, 2010). Horoz ibiği bitkisinde R x PEG uygulaması sonucunda en yüksek kök yaş ağırlığı 15.90 g (R10 x

P0), en düşük değer ise 4.79 g (R05 x P15) olarak ölçülmüştür. Bitkilerde büyüme ve gelişme (bitki boyu, kök, gövde yaş ve kuru gb) üzerine stres faktörlerinin akut etkilerini silisyum, giberalik asit ve riboflavin gibi doğal ve sentetik maddelerin iyileştirici ve düzenleyici etkilere sahip olduğu belirtilmiştir (Tunçtürk ve ark., 2021).



Şekil 4. Horoz ibiği bitkisinde Rx PEG uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerine etkisi

Figure 4. Effect of R x PEG applications on root fresh weight in amaranth plant.

Çizelge 1. Kuraklık stresinin fizyolojik özellikler üzerine etkisi.

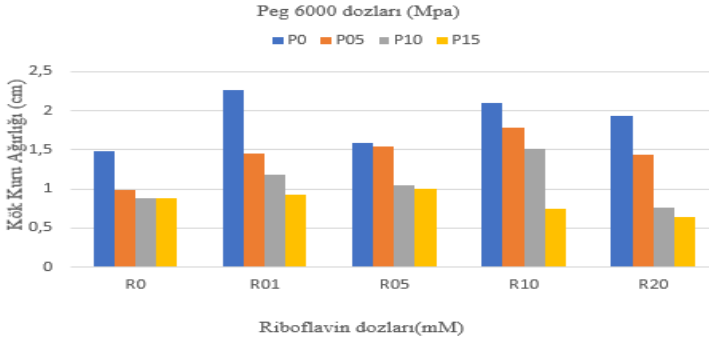
Table 1. Effect of drought stress on physiological characteristic

PEG 6000 Dozları	Riboflavin (B2)	BB (cm)	KU (cm)	GYA (g)	GKA(g)	KYA (g)
Kontrol (P0)	R0 (kontrol)	21.52±0.33 c	34.83±1.04 b-d	3.85±0.67 ef	0.83±0.04	9.21±0.18 ef
	R01	21.67±1.20 bc	46.07±3.30 a	10.01±1.03 cd	1.05±0.16	13.50±1.31 bc
	R05	20.00±1.00 c	42.67±1.43 ab	13.23±1.30 a	1.23±0.26	9.95±0.80 e
	R10	25.00±0.58 ab	41.43±0.83 b	11.80±0.94 c	1.20±0.11	15.90±2.29 a
	R20	25.83±0.44 a	39.37±2.55 b	11.02±0.43 d	1.06±0.05	13.83±1.51 b
P0 Ort.		22.80 A	40.87 A	11.12 A	1.07 A	12.48 A
-0.5 MPa (P05)	R0 (kontrol)	14.67±1.20 de	34.63±3.76 b-d	4.41±0.07 ef	0.60±0.04	8.25±0.45 e-g
	R01	16.00±1.73 d	39.00±3.30 b	4.12±0.19 ef	0.58±0.04	11.04±1.22 de
	R05	15.33±0.67 d	36.00±1.53 bc	4.43±0.44 e	0.63±0.10	8.29±0.59 ef
	R10	16.33±1.33 d	39.17±1.76 b	9.48±0.79 d	1.17±0.24	14.20±0.50 b
	R20	18.67±1.20 c	37.80±2.49 bc	4.29±0.04 ef	0.67±0.09	11.04±1.06 de
P05 Ort.		16.20 B	37.32 AB	5.34 B	0.73 B	10.56 AB
-1.0 MPa (P10)	R0 (kontrol)	14.33±0.67 de	32.37±1.62 c-e	3.09±0.07 fg	0.43±0.05	8.12±0.86 e-g
	R01	12.67±0.32 e	31.83±0.89 de	3.06±0.14 fg	0.53±0.03	7.25±0.84 f-h
	R05	12.00±1.53 e	29.07±3.20 de	2.57±0.21 f	0.56±0.06	8.07±0.79 e-g
	R10	15.33±1.32 d	35.67±1.51 bc	4.10±0.80 ef	0.52±0.09	11.93±0.25 cd
	R20	15.35±0.30 d	34.90±1.08 b-d	3.97±0.25 ef	0.63±0.09	11.01±1.43 de
P10 Ort.		13.94 C	32.76 B	3.56 C	0.53 C	9.27 B

	R0 (kontrol)	12.00±0.58 e	34.50±3.17 b-e	3.85±0.07 ef	0.41±0.03	7.33±0.20 e-g
	R01	12.00±1.15 e	28.73±1.24 e	3.15±0.34 fg	0.500.006	6.51±0.64 gh
-1.5 MPa (P15)	R05	12.05±1.00 e	28.07±1.53 ef	2.70±0.18 g	0.39±0.05	4.79±0.15 hı
	R10	9.00 ±1.53 f	33.50±3.46 c-e	3.79±0.18 ef	0.61±0.09	5.45±1.15 h
	R20	15.33±1.76 d	33.27±2.05 c-e	3.27±0.13 fg	0.40±0.07	7.37±1.00 e-g
P15 Ort.		12.07 D	31.77 C	3.35 CD	0.46 C	6.29 C
	R0 (kontrol)	15.63 B	34.08 B	3.80 C	0.56 B	8.22 CD
	R01	15.58 B	37.41 A	5.08 B	0.66 B	9.57 BC
R Doz Ort.	R05	14.84 B	37.44 A	5.73 AB	0.69 B	7.77 D
	R10	16.41 B	36.33 AB	7.29 A	0.70 B	11.87 A
	R20	18.79 A	36.85 AB	5.63 B	0.87 A	10.81 AB
VK (%)		11.65	10.84	16.48	20.02	18.08
R		**	*	**	**	**
PEG		**	**	**	**	**
R x PEG		*	**	**	öd	**

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemli değil.R: Riboflavin, P: PEG 6000, VK: Varyasyon katsayısı, BB: Bitki boyu, KU: Kök uzunluğu, GYA: Gövde yaş ağırlığı, GKA: Gövde kuru ağırlığı, KYA: Kök yaş ağırlığı.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi kök kuru ağırlığı üzerine R, PEG ve R x PEG uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek kök kuru ağırlığı 1.54 g ile R10 uygulamasında ölçülmüştür. En düşük değer ise 1.05 g olarak kontrol uygulamasında tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda elde edilen en yüksek kök kuru ağırlığı 1.87 g ile kontrol uygulamasından, en düşük değer ise sırasıyla P10 ve P15 uygulamaları sonucunda 1.07 ve 0.85 g olarak aynı grupta yer aldıkları görülmüştür. Kök kuru ağırlığı üzerine R x PEG uygulamaları sonucunda elde edilen en yüksek değer 2.27 g (R01XP0), en düşük değer ise 0.64 g (R20 x P15) olarak ölçülmüştür (Çizelge 2; Şekil 4). Stres esnasında bitki yeterince su alamadığı için turgor basıncında azalma kök ve gövde kuru ağırlığının azalmasına neden olabilmektedir (Delfine ve ark., 2002). Su kaybı ile plazmolize uğrayan bitkiler farklı fizyolojik ve morfolojik tepkiler verebilir. Bu sonuçlara bakıldığında riboflavin dozlarının kuraklık karşısında bitkiyi koruyucu bazı bileşiklerin sentezini teşvik ettiği düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda bazı organik veya inorganik bileşiklerin stres karşısında koruyucu etkileri olduğu ve çeşitli biyokimyasal aktiviteleri hızlandırdığı bildirilmiştir (Tunçtürk ve ark., 2021). Örneğin stres şartlarında prolin ve SOD (süperoksit dismutaz) içeriklerindeki artışlar strese karşı mukavemeti artırdığı tespiti riboflavin uygulamalarının bir sonucu olarak düşünülebilir(Sepanlo ve ark., 2014).



Şekil4. Horoz ibiği bitkisinde Rx PEG uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi

Figure 4. Effect of R x PEG applications on root dry weight in amaranth plant.

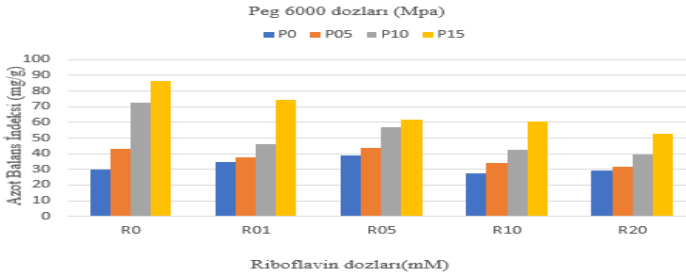
Bitkide sıcaklık üzerine PEG uygulamalarının etkisi önemli, R ve R x PEG uygulamalarının etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2). Kuraklık stresi sonucunda en yüksek sıcaklık 24.66 °C ve 24.51 °C (-1.5 MPa ve -1.0 MPa) dereceleri ile aynı grupta yer almıştır. En düşük değer ise 23.79 °C ile kontrol uygulaması sonucunda ölçülmüştür (Çizelge 1). Benzer çalışmalarda kuraklık stresi sonrasında bitkilerde sıcaklık değerlerindeki artışa paralel olarak fotosentez ve solunum dengesinin bozularak verim ve verim kayıplarına neden olduğu bildirilmiştir (Tunçtürk ve ark., 2021). Ekonomik değere sahip bitkilerde susuz veya yarı kurak yetiştiricilik bu kayıpların artışına neden olmaktadır. (Bat ve ark., 2017).

Askorbik asit miktarı üzerine R, PEG ve R x PEG uygulamalarının etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür. Bu çalışma sonunda elde edilen Askorbik asit değerleri 13.55-20.96 ppm ASA arasında değişim görülmüştür (Çizelge 2). Bitkilerde strese tolerans mekanizmalarından birisi de askorbik asit içeriğidir. Hidrojen peroksidin enzimatik olarak nötralizasyonunda birincil substrat olarak rol oynayan suda çözülebilir bir antioksidant olarak bilinmektedir (Belgati, 2008). Bitki hücresinde bölünme, hücre duvarının kalınlaşması gibi bazı fonksiyonlarının olduğu bilinmektedir (Aqıl, 2008). Bu çalışmada stres şartlarında riboflavin dozlarına rağmen bazı araştırmacıların aksine askorbik asit değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim görülmemiştir.

Çizelge 2'de görüldüğü malondialdehit (MDA) üzerine R ve R x PEG uygulamalarının etkisi önemsiz, PEG uygulamasının ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Kuraklık stresi altında horoz ibiği bitkisinde en yüksek malondialdehit (MDA) değeri 8.69 $\mu\text{mol g}^{-1}$ ile -1.5 MPa dozu uygulamasından elde edilmiştir. En düşük değer ise 5.67 $\mu\text{mol g}^{-1}$ olarak kontrol uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 2). Elde ettiğimiz bulgular ile benzer birçok çalışmada stresin şiddetine ve süresine bağlı olarak MDA değerlerinde artış tespit edilmiştir (Qing

ve ark., 2015; Kaya ve Doganlar, 2016). Çeşitli stres şartlarında oksidatif zararın bir belirtisi olarak lipid peroksidasyonun son ürünü olarak ortaya çıkan bir biyokimyasal maddedir. Van ekolojik koşullarında domates yerel ve hibrit çeşitler ile yürütülen bir çalışmada MDA içeriğinin kontrol grubuna göre % 3.22-103.35 oranında artışlar tespit edilmiştir (Alp ve Kabay, 2017). Bulgularımız benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile benzeştiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma sonucunda Riboflavin, PEG ve R x PEG uygulamalarının horoz ibği bitkisinde nitrojen balans indeksi (NBI) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Riboflavin uygulamaları sonucunda en yüksek NBI değeri 57.87 mg g^{-1} ile kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük sonuç 38.22 mg g^{-1} olarak ölçülmüştür. PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonunda elde edilen en yüksek NBI değeri 67.15 mg g^{-1} ile-1.5 MPa uygulama dozundan en düşük değer ise 31.99 mg g^{-1} olarak kontrol grubu uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2; Şekil 5). Çalışmada R x PEG uygulamaları sonucunda elde edilen en yüksek NBI değeri 86.40 mg g^{-1} olarak R0 x P15 doz uygulamasında ölçülmüştür. En düşük değer ise 27.60 mg g^{-1} R10 x P0 dozunda tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada aynı sefa bitkisinde endofit bakterileri ile oluşturulan stres sonucunda azot balans indeksinin $25.17-70.56 \text{ mg g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir (Şelem ve ark., 2023). Soya fasulyesinde yürütülen bir çalışmada kuraklık stresi karşısında azot balans indeks değerlerinin arttığı görülmüştür (Oral ve ark., 2021) soya fasulyesinde yaptığı çalışmada bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin bitkideki azot balans indeksi değerini kontrol grubuna kıyasla arttırdığını ve sonuçta erken olgunluğa neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında riboflavin uygulamalarının bu etkiyi azalttığı çoğu araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 5. Horoz ibği bitkisinde R x PEG uygulamalarının azot balans indeksi üzerine etkisi

Figure 5. Effect of R x PEG applications on nitrogen balance index in amaranth plant.

Çizelge 2. Kuraklık stresinin fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi.**Table 2.** Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristic

PEG 6000 Dozları	Riboflavin (B2)	KKA (g)	Sıcaklık (°C)	Askorbik asit (ppm ASA)	MDA (µmol g ⁻¹)	NBI (mg g ⁻¹)
Kontrol (P0)	R0 (kontrol)	1.48±0.02 c-f	23.77±0.09	14.37±0.05	7.68±1.68	29.85±5.86 j-l
	R01	2.27±0.26 a	23.73±0.63	19.42±0.04	5.68±0.15	34.73 ±2.15 h-j
	R05	1.59±0.22 c-e	23.97±0.55	13.83±0.04	5.35±0.41	38.63±4.95 g-i
	R10	2.10±0.27 ab	23.60±0.49	17.78±0.02	5.58±0.11	27.60±3.86 l
	R20	1.94±0.28 bc	23.87±0.29	16.96±0.02	4.06±1.15	29.13±2.85 kl
P0 Ort.		1.87 A	23.79 B	18.66	5.67 B	31.99 D
-0.5 MPa (P05)	R0 (kontrol)	0.99±0.28 e-h	23.83±0.18	17.65±0.03	8.65±0.26	42.87±5.21 e-g
	R01	1.46±0.03 d-f	23.80±0.30	15.46±0.04	6.52±1.08	37.87±5.55 f-i
	R05	1.54±0.20 c-e	24.63±0.12	18.10±0.06	6.39±2.20	43.60±2.13 ef
	R10	1.79±0.18 cd	24.73±0.10	17.96±0.03	7.94±3.32	33.80±2.14 ij
	R20	1.44±0.10 ef	24.77±0.54	18.42±0.01	8.65±1.15	31.90±2.51 jk
P05 Ort.		1.44 AB	24.35 AB	17.52	7.63 AB	38.18 C
-1.0 MPa (P10)	R0 (kontrol)	0.88±0.06 e-h	24.17±0.23	17.15±0.07	9.58±3.65	72.40±2.23 b
	R01	1.18±0.20 ef	24.67±0.09	15.10±0.05	7.29±0.63	45.83±1.76 e
	R05	1.05±0.19 e-g	24.63±0.12	16.69±0.04	7.06±7.86	56.97±3.79 cd
	R10	1.52±0.09 c-e	24.30±0.32	16.37±0.03	8.42±0.30	42.50±2.70 e-g
	R20	0.76±0.03 gh	24.83±0.42	20.96±0.09	9.35±5.25	39.40±1.36 f-h
P10 Ort.		1.07 B	24.51 A	17.25	8.34 A	51.42 B
-1.5 MPa (P15)	R0 (kontrol)	0.88±0.06 f-h	24.60±0.26	16.55±0.02	9.65±2.46	86.40±1.70 a
	R01	0.92±0.35 e-h	24.70±0.12	13.55±0.09	9.06±3.35	74.57±1.50 ab
	R05	1.00±0.21 e-g	24.73±0.09	15.55±0.08	8.84±0.15	61.53±2.48 c
	R10	0.75±0.21 gh	24.40±0.21	17.78±0.05	7.06±1.04	60.80±3.02 c
	R20	0.64±0.12 g-i	24.87±0.42	18.28±0.04	8.84±2.72	52.47±1.19 d
P15 Ort.		0.85 B	24.66 A	16.34	8.69 A	67.15 A
R Doz Ort.	R0 (kontrol)	1.05 C	24.46	16.43	8.89	57.87 A
	R01	1.45 AB	24.42	15.88	7.13	48.47 B
	R05	1.29 A-C	24.43	16.04	6.91	50.18 B
	R10	1.54 A	24.25	17.47	7.25	41.18 BC
	R20	1.22 BC	24.58	18.65	7.22	38.22 C
VK (%)		18.44	2.34	20.18	20.04	11.98
R		*	öd	öd	öd	**
PEG		**	**	öd	**	**
R x PEG		**	öd	öd	öd	**

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemli değil. KKA: Kök kuru ağırlığı, MDA: Malondialdehit, NBI: Azot balans indeksi.

Klorofil oranı üzerine R ve R x PEG uygulamalarının etkisi önemsiz, PEG uygulamasının ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). PEG uygulaması sonucu oluşturulan kuraklık stresi şartlarında en yüksek klorofil oranı 38.38 SPAD ile kontrol uygulama dozundan elde edilmiştir. En düşük değer ise sırasıyla 33.35, 33.72 ve 30.75 SPAD değerleri ile kontrol, -0.5 MPa, -1.0 MPa ile -1.5 MPa doz uygulamaları sonucu elde edilmiştir (Çizelge 3). Araştırma sonuçlarına bakıldığında artan stres dozlarına paralel olarak klorofil değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Klorofil fotosentez olaylarında rol oynayan bir organel olduğu belirtilmiştir (Bat ve ark., 2017). Bitkilerdeki su bilançosundaki önemli bir azalma klorofil değerlerinde düşüşe ve sonrasında pigment oluşumunun gerilemesine neden olmaktadır (Virgin, 1965). Bulgularımız ile birçok araştırmacının sonuçları benzerlik göstermektedir. Yapılan birçok çalışmada kuraklık stresi altında klorofil miktarında azalışlar olduğu saptanmıştır (Binici ve ark., 2022; Demir ve Başayığit, 2022).

Araştırma sonunda flavonoid miktarı üzerine R ve PEG uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). En yüksek Flavonoid miktarı 0.91 dx ve 0.90 dx olarak R10 ile R20 doz uygulamaları sonunda elde edilmiştir. En düşük değer ise 0.66 dx ile kontrol uygulamasında tespit edilmiştir. Riboflavin uygulamalarının horoz ibği bitkisinde Flavonoid içeriğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Bitkide PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonunda Flavonoid miktarının sırasıyla 0.83, 0.91 ve 0.95 dx değerleri (-0.5 MPa, -1.0 MPa ve -1.5 MPa) ile aynı grupta yer aldıkları görülmüştür. En düşük değer ise 0.56 dx olarak kontrol doz uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 3). Biyotik ve abiyotik stres faktörleri bitkilerde verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyen faktörlerdir. Kuraklığın şiddetine ve süresine bağlı olarak antioksidant savunma mekanizmasını bozarak oksidatif strese bağlı zarar ortaya çıkmaktadır. (Kalefetoğlu, 2006). Domates, buğday ve çilekte kuraklık stresine bağlı olarak flavonoid karotenoid ve fenolik madde miktarında artış tespit edilmiştir (Aydiner, 2011; İlhan, 2016; Adak ve ark., 2018). Bitkiler stres kaynaklı oksidatif hasarı tolere etmek adına antioksidant enzim ve aktiviteleri artırdığı bildirilmiştir (Bat ve ark., 2017). Benzer şekilde riboflavin dozu uygulamalarının da benzer bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

Anthosiyanın miktarı üzerine R, PEG ve R x PEG uygulamalarının etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür. Bu çalışma sonunda elde edilen Anthosiyanın değerleri 0.02-0.05 dx arasında değişim görülmüştür (Çizelge 3). Flavonoidler gibi suda çözülebilir bir pigment olmasının yanında pH durumuna göre değişik renkler alabilir. Bitkide epidermal veya mezofil hücrelerinde yer alan vaküller içerisinde farklı stres şartlarına karşı bitkide farklı metabolitler olarak bilinmektedirler. Miktarları ve çeşitlerine göre bitkilere stres şartlarında mukavemet sağladıkları bilinmektedir (Aztekin ve Kasım, 2017). Elde ettiğimiz sonuçlara göre antosiyanın içeriğinin istatistiksel olarak önemsiz çıkmasında farklı stres şartlarında farklı bitki tür ve çeşitlerinin göstereceği tepkilerin farklı olabileceği düşünülmektedir.

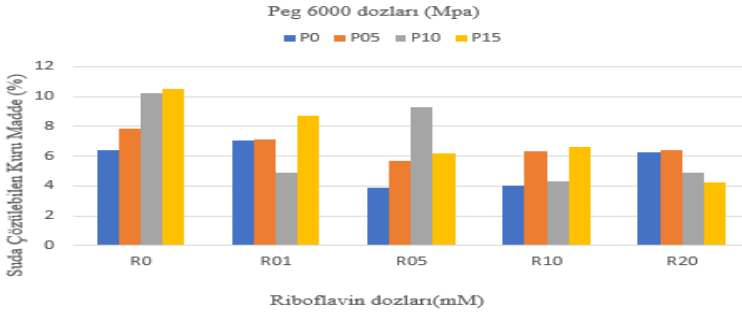
Çizelge 3. Kuraklık stresinin biyokimyasal özellikler üzerine etkisi.**Table 3.** Effect of drought stress on biochemical characteristic

PEG 6000 Dozları	Riboflavin (B2)	Klorofil SPAD	Flavonoid(dx)	Anth.(dx)	SÇKM (%)
Kontrol (P0)	R0 (kontrol)	37.13±2.02	0.41±1.60	0.04±0.03	6.40±0.03 fg
	R01	41.30±2.78	0.51±6.42	0.02±0.01	7.07±0.00 e
	R05	37.93±2.75	0.59±3.21	0.05±0.02	3.90±0.03 k1
	R10	37.70±1.84	0.64±2.54	0.02±0.00	4.00±0.21 k
	R20	37.83±2.22	0.66±8.42	0.04±0.03	6.23±0.00 g
P0 Ort.		38.38 A	0.56 B	0.03	5.52 C
-0.5 MPa (P05)	R0 (kontrol)	31.07±4.40	0.48±6.15	0.04±0.02	7.87±0.03 d
	R01	34.83±4.37	0.82±6.42	0.03±0.02	7.10±0.10 e
	R05	32.37±2.94	0.85±3.21	0.02±0.02	5.67±0.10 h
	R10	38.53±1.14	0.85±2.54	0.05±0.04	6.30±0.15 g
	R20	29.27±2.31	1.14±8.42	0.05±0.02	6.40±0.18 g
P05 Ort.		33.35 B	0.83 A	0.04	6.67 B
-1.0 MPa (P10)	R0 (kontrol)	34.77±2.34	0.87±0.53	0.04±0.01	10.20±0.06 ab
	R01	31.37±3.61	0.85±13.23	0.03±0.01	4.90±0.03 i
	R05	36.10±3.03	0.88±8.89	0.04±0.02	9.30±0.19 b
	R10	33.33±1.86	0.85±1.07	0.04±0.02	4.30±0.12 j
	R20	33.07±2.47	1.14±14.83	0.04±0.01	4.87±0.15 i
P10 Ort.		33.72 B	0.91 A	0.04	6.78 B
-1.5 MPa (P15)	R0 (kontrol)	30.80±2.35	0.89±3.61	0.05±0.02	10.5±0.06 a
	R01	31.00±1.68	1.08±1.20	0.03±0.03	8.73±0.18 c
	R05	31.17±3.13	0.83±4.94	0.09±0.04	6.17±0.10 g
	R10	28.87±1.82	0.97±12.22	0.08±0.02	6.63±0.21 f
	R20	31.93±1.19	1.00±5.45	0.02±0.03	4.27±0.24 j
P15 Ort.		30.75 B	0.95 A	0.05	7.20 A
R Doz Ort.	R0 (kontrol)	33.44	0.66 C	0.04	8.75 A
	R01	34.62	0.81 AB	0.03	6.95 B
	R05	34.39	0.78 B	0.05	6.25 C
	R10	34.60	0.90 A	0.05	5.30 D
	R20	33.20	0.91 A	0.04	5.44 D
VK (%)		13.80	21.92	18.21	3.52
R		öd	**	öd	**
PEG		**	**	öd	**
R x PEG		öd	öd	öd	**

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

SÇKM: Suda çözülen kuru madde miktarı.

Bu çalışma sonucunda Riboflavin, PEG ve R x PEG uygulamalarının horoz bitkisinde suda çözülür madde miktarı (SÇKM) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Riboflavin uygulamaları sonucunda en yüksek SÇKM oranı %8.75 ile kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük değerler %5.30 ve % 5.44 olarak R10-R20 dozlarında ölçülmüştür. PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonunda elde edilen en yüksek SÇKM %7.20 ile -1.5 MPa uygulama dozundan en düşük değer ise %5.52 olarak kontrol grubu uygulamasından elde edilmiştir. Çalışmada R x PEG uygulamalarında elde edilen en yüksek SÇKM oranı %10.53 ile R0 x P15 uygulamasında ölçülmüştür. En düşük değer ise %3.90 olarak R05 x P0 dozunda tespit edilmiştir (Çizelge 3; Şekil 6). Stresin dozuna bağlı olarak kontrol grubuna göre SÇKM oranları artarak dozlar arasında istatistiksel olarak önemli farklar ortaya çıkmıştır. Benzer çalışmalarda bitkiler stres şartlarına uyum gösterebilmek için ozmotik olarak aktif çözünen madde miktarını artırdığı belirtilmiştir (Munns ve Tester, 2008). Bazı tatlı sorgum çeşitlerinde yürütülen bir çalışmada suda çözünür kuru madde oranı (brix) % 13.36 ile % 20.40 arasında değiştiği bildirilmiştir (Öktem ve ark., 2021). Elde ettiğimiz bulgular ile diğer araştırmacıların sonuçları kıyaslandığında artan stresin şiddetine bağlı olarak SÇKM miktarlarındaki artışın olması neden-sonuç bağlamında benzerlik göstermektedir. Riboflavin doz uygulamalarının stres karşısında savunma mekanizmalarını aktivite hızını artırdığı bildirilmiştir (Taheri ve Tarighi 2010). Elde ettiğimiz sonuçlara göre kontrol grubuna göre SÇKM oranlarının azalmasında riboflavin dozları etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Horoz ibığı bitkisinde R x PEG uygulamalarının suda çözülebilir kuru madde üzerine etkisi

Figure 6. Effect of R x PEG applications on water soluble solids in amaranth plant.

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. Bu çalışma sonunda bitkilerde gerek gelişme ve gerekse büyüme üzerinde olumlu etkilere sahip olan riboflavin uygulamalarının horoz ibiği bitkisinde kuraklık stresine maruz kalma aşamasında nasıl bir etki ortaya koyacağı hususunda gerek fizyolojik olarak ve gerekse biyokimyasal olarak bitkide bazı parametrelere bakılmıştır. Kuraklık stresi karşında riboflavin uygulamalarının kontrol uygulamalarına göre bitki boyu, kök uzunluğu, gövde yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı, NBI, flavonoid ve SÇKM değerleri üzerine olumlu etkiye sahip 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 hâsıl olmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): RT(%50), EO(%10), MT(%30), TT(%10)

Veri Toplanması (Data acquisition): RT(%40), EO(%10), MT(%10), TT(%40)

Veri Analizi (Data analysis): RT(%40), EO(%30), MT(%20), TT(%10)

Makalenin Yazımı (Writing Up): RT(%30), EO(%40), MT(%15), TT(%15)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): RT(%10), EO(%70), MT(%10), TT(%10)

KAYNAKLAR

- Adak, N., Gubbuk, H., Tetik, N., 2018. Yield, quality and biochemical properties of various strawberry cultivars under water stress. *J. Sci Food Agric.*, 98 (1): 304-311.
- 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.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. 2001. The effect of drought ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment* 24 (12): 1337-1344.
- Alp, Y., & Kabay, T. (2017). Kuraklık stresinin yerli ve ticari domates çeşitlerinde bazı fizyolojik parametreler üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 86-96.
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C., Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.*, 6: 2026-2032.
- Anonim, 2015. Amaranthaceae | plant family. *Encyclopædia Britannica* (Erişim tarihi: 13.02.2024).
- Aqıl, F., Afrmad, I., Mehmood, Z., 2006. Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants" *Turkish Journal of Biology*, 30:177-183.
- 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.
- Aydiner, E. 2011. Topraksız tarımda yetiştirme ortamının farklı nem düzeyinde yapılan sulamaların sera domatesi verim ve kaliteye etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Aztekin, F., Kasım, R., 2017. Ultraviyole Işık ve Çevresel Stres Şatlarında Meyve ve Sebzelerde Antosiyanin Oluşumu Ve Değişimi. *Meyve Bilimi*, 1(Özel Sayı): 181-187.
- Bat, M., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., 2017. Kuraklık Stresi Altındaki Ekinzezya (*Echinacea purpurea* L.)' da Deniz Yosununun Büyüme Parametreleri, Toplam Fenolik ve Antioksidan Madde Üzerine Etkisi. *YYÜ Tar Bil Derg (Yyu J Agr Sci)* 29 (3): 496-505.
- Belgati, S.M., 2004. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants, *African Journal of Plant Science*, 2:118-123.
- Belton, P. S., & Taylor, J. R. (Eds.). 2002. Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. Springer Science & Business Media. 269.
- Benzie I.E.F., Strain J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem*, 239: 70-76.
- 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 s.
- Binici, S., Çelik, C., Yıldırım, F., Yıldırım, A., 2022. Determination of the effect of harpin protein on NaCl salt stress in pistachio (*Pistacia* KSÜ Tarım ve Doğa Derg 26 (4), 778-787, 2023 KSU J. Agric Nat 26 (4): 778-787, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 11(2), 141-150. <https://doi.org/10.46810/tdfd.1120976>.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Aust. J. Agric. Res.* 56(11): 1159–68.
- Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Handa, A. K. (1981). Resistance of cultured higher plant cells to polyethylene glycol-induced water stress. *Plant Science Letters*, 21(1), 23-30.
- Cerovic Z.G., Ghozlen N.B., Milhade C., Obert M., Debusson S. Moigne M.L., 2015. Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual leaf-clip measurements in the field. *J Agric Food Chem*, 63 (14): 3669-3680
- Delfine, S., Tognetti, R., Loreto, F., & Alvino, A. (2002). Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annum* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(6), 697-704.
- Demir, S., Başayığıt, L., 2022. Classification of some biochemical properties with J48 classification tree algorithms in hyperspectral data. *Veri Bilimi*, 5 (2): 20-28.
- 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.
- Düzgüneş, O., Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F., 1987. Research and experimental methods. *Statistical Method II*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 1:1021-1295.
- Ercişli, S., Eşitken, A., Gülyüz, M., 1999. The effect of vitamins on the seed germination of apricots. *Acta Hort*, 488: 437-440.
- Ergun, M., Özbay, N., Osmanoğlu, A., Çalkır, A., 2014. Sebze ve tahıl olarak amarant (*Amaranthus* spp.) bitkisi. *İğdir 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. Agron. Crop Sci*, 194, 325-333.
- García-Martínez, J., Delgado-Ramos, L., Ayala, G., Pelechano, V., Medina, D.A., Carrasco, F., González, R, Andrés-León, E., Steinmetz, L, Warringer J., Chávez, S., Pérez-Ortín, J.E., 2015. The cellular growth rate controls overall mRNA turnover and modulates either transcription or degradation rates of particular gene regulators. *Nucleic Acids Research* 44:3643-3658.
- Ghur, A., Marcus, A., Alfons, R.W., 2017. Vitamin B2(riboflavin) increases drought tolerance of *Agaricus bisporus*. *Mycologia*, 109(6):860-873.
- Güneri B.E., 2010. Nohut Çeşitlerinde Kuraklığa Bağlı Oksidatif Stresin Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerle Belirlenmesi. PhD Thesis. Ankara University (unpublished), Turkey.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The Water Culture Method for Growing Plants without Soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347-461.
- Ilhan, V., 2016. ve -pinen Monoterpenlerinin buğdayda (*Triticum aestivum* L.) kuraklık toleransı üzerine etkileri Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ingram J, Bartels D., 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 47:377-403.
- Kalefetoğlu, T., 2006. Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşit ve hatlarının kuraklık stresine karşı dayanıklılığının karakterizasyonu (yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara
- Kaya, A., Dogaňlar, Z.B., 2016. Exogenous jasmonic acid induces stress tolerance in tobacco (*Nicotiana tabacum*) exposed to imazapic. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 124:470-479.
- Keskin, B., Temel, S., Çakmakçı, S., Tosun R., 2021. Bazı Horoz İbiği (*Amaranthus spp.*) Çeşitlerinin Kurak ve Sululu Şartlardaki Tohum Verimleri ve Verim Unsurları Üzerine Araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 52 (1): 11-19.
- Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Ateş, Ç., Ellialtıoğlu, Ş.Ş., 2018. Tuzluluk ve su noksanlığı stresi altında yetiştirilen farklı patlıcan anaç/kalem kombinasyonlarında bazı meyve kalite özelliklerine ait değişimler. *Derim*, 5(2):111-120.
- Manzoni, S., Schimel, J. P., & Porporato, A. (2012). Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta analysis. *Ecology*, 93(4), 930-938.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7:405-410.
- Mori, T., Sakurai, M., 1995. Effects of riboflavin and increased sucrose on anthocyanin production in suspended straw-berry cell cultures. *Plant Science* 110:147-153
- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*, 59:651-681.
- OAC, 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th ed., Arlington VA, pp. 1058-1059.
- Oral, E., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., 2021. The effect of rhizobacteria in the reducing drought stress in soybean (*Glycine max* L.). *Legume Research An International Journal*, 44(10): 1172-1178.
- Öktem, A., Demir, D., Öktem, A.G., 2021. Geç olgunlaşma süresine sahip bazı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor var. saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotiplerinin tane verimi ve biyoyakıt öğelerinin belirlenmesi *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi*, 36:488-500.
- Özaslan, C., Kendal, E., 2014. Lice domatesi üretim alanlarındaki yabancı otların belirlenmesi. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (3): 29-34.
- Qing, X., Zhao, X., Hu, C., Wang, P., Zhang, Y., Zhang, X., Wang, P., Shi, H., Shi, H., Jia, F., Qu, C., 2015. Selenium alleviates chromium toxicity by preventing oxidative stress in cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. Pekinensis) leaves. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 114: 179-189.
- 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. *J Ethnopharmacol*, 72: 35-40.
- Rastogi, A., Shukla, S., 2013. Amaranth: A new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 109-125.
- Sani, B., Farahani, H. A., 2010. Effect of P205 on coriander induced by AMF under water deficit stress. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 2 (4): 52-58.
- Şelem, E., Uçar, C.P., Tunçtürk, R., Akköprü, A., Tunçtürk, M., 2023. Aynisefa (*Calendula officinalis* L.) bitkisinin Kimyasal, Fizyolojik ve Morfolojik Gelişim Parametreleri Üzerine Bazı Endofitik Bakterilerinin etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 10(3): 200-307.
- Sevindik, B., 2021. Farklı Dozlarda PEG 6000 Uygulamalarının Safranda İn Vitro Rejenerasyona Etkileri. *Turkish Journal of Forest Science* 5(2): 408-417.

- Shakiba, M.R., Dabbagh, A., Mohammadi, S.A., 2010. Effects of drought stress and nitrogen nutrition on seed yield and proline content in bread and durum wheat genotypes. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 8(3&4): 857-860.
- Sivritepe, N., Ertürk, U., Yertikaya, C., Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., 2008. Response of the cherry root stock to water stress induced in vitro. *Biologia Plantarum*, 52 (3): 573-576.
- Taheri, P., Tarighi, S., 2010. Riboflavin induces resistance in rice against *Rhizoctonia solani* via jasmonate-mediated priming of phenylpropanoid pathway. *Journal of Plant Physiology* 167:201-208.
- Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., Oral, E., 2021. Kuraklık Stresi Koşullarında Yetiştirilen Soya Fasulyesinin (*Glycine max* L.) Bazı Fizyolojik Özellikleri Üzerine *Rizobacterium* (PGPR) Uygulamalarının Etkisi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 9 (2): 359-368.
- 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.
- Virgin, H. I., 1965. Chlorophyll formation and water deficit. *Physiologia Plantarum*, 18(4): 994-1000.
- 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.