



The Morphological, Physiological and Biochemical Effects of Drought in Different Pepper Genotypes

Şebnem Kuşvuran^{1,a,*}, Sevinç Uslu Kıran^{2,b}, Özlem Altuntaş^{3,c}

¹Kızılırmak Vocational School, Çankırı Karatekin University, 18200 Çankırı, Turkey,

²Department of Agricultural Irrigation and Land Reclamation, Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry Soil, Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, 06172 Ankara, Turkey

³Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Malatya Turgut Özal University, 44210 Malatya, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 12/02/2020 Accepted : 29/03/2020</p> <p>Keywords: Capsicum annumm CAT Drought MDA SOD</p>	<p>Drought stress is one of the most serious abiotic stresses that cause a reduction in plant growth, development and yield in the world. The aim of this study is to reveal the morphological, physiological and biochemical responses of the Demre pepper variety and nine different pepper genotypes against drought stress. Pepper seeds were planted into trays containing peat: perlite (2: 1) mixture. Then, seedlings having two leaves were transferred to plastic pots containing mixture of peat:perlite (2:1) mixture. Drought stress application was started when the plants have four leaves. The control plants were irrigated with nutrition solution. Genotypes were classified according to the severity of leaf damage symptoms by using 0-5 scale. In addition, shoot fresh and dry weight, plant height, stem diameter, leaf number, leaf area, relative water content (RWC), membrane injury index (MI), potassium (K) and calcium (Ca) concentration of shoot, malondialdehyde content (MDA), total chlorophyll and carotenoid, total flavonoid and phenolic content, antioxidant enzyme activities (superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione reductase (GR), ascorbate peroxidase (APX)) were also determined. As a result of the study, it was determined that drought had negative effect in terms of morphological and physiological parameters, and this effect revealed differences among genotypes. While drought stress increased MDA and antioxidant enzyme activity, BIB-6 and BIB-8 genotypes were found to be the most tolerant genotypes among the genotypes examined.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(6): 1359-1368, 2020

Farklı Biber Genotiplerinde Kuraklığın Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 12/02/2020 Kabul : 29/03/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Capsicum annumm CAT Kuraklık MDA SOD</p>	<p>Kuraklık tüm dünyada bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi etkileyen, en önemli abiyotik stres faktörlerinin başında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı; dokuz farklı biber genotipi ile Demre biber çeşidinin kuraklık stresi karşısında morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinin ortaya konulmasıdır. Biber tohumları torf:perlit (2:1) karışımı içeren vıyollere ekilmiş, bitkiler iki gerçek yapraklı aşamada yine 2:1 oranında torf:perlit karışımı içeren plastik saksılara şaşırtılmış, dört gerçek yapraklı aşamada kuraklık stresine başlanılmıştır. Kontrol bitkileri ise besin çözeltisi ile sulanmıştır. Stres sonunda oluşan etkilerin ortaya konulabilmesi amacı ile bitkilerde 0-5 görsel skala değerlendirmesi, yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı, gövde boyu ve çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği (YOSİ), membran zararlanma indeksi (MZİ), yeşil aksam Potasyum (K⁺) ve kalsiyum (Ca²⁺) iyon içeriği, malondialdehit (MDA), toplam flavanoid ve fenolik madde içerikleri, toplam klorofil ve karotenoid içeriği ile antioksidatif enzim aktiviteleri ((süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX)) açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kuraklığın morfolojik ve fizyolojik parametreler açısından olumsuzluklara yol açtığı ve bu etkinin genotipler arasında farklılıklar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi ile birlikte MDA ile antioksidatif enzim aktivitesi açısından artış görülürken, BIB-6 ve BIB-8 genotiplerinin en tolerant genotipler olduğu belirlenmiştir.</p>

^a skusvuran@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0002-1270-6962>

^c sevinckiran@gmail.com

^d <https://orcid.org/0000-0002-6756-0235>

^e ozaltuntas01@gmail.com

^f <https://orcid.org/0000-0002-6508-7368>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

En önemli abiotik stres faktörlerinden biri olarak değerlendirilen kuraklık, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda ön plana çıkmaktadır. Bitkilerin kuraklık stresine göstermiş oldukları tepkiler bitki tür ve çeşidine bağlı olmakla birlikte, stresin yoğunluğu ve süresi, bitkinin gelişme dönemi ile yüksek sıcaklık ve ışınım gibi farklı stres faktörlerinin varlığına da bağlı olarak değişmektedir (Talbi ve ark., 2015; Veljović Jovanović ve ark., 2018). Su stresi bitkilerde; fotosentez, solunum, besin taşıma ve hormon dengesi gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkileyerek bitki büyüme ve gelişmesinin azalmasına yol açmaktadır (Talbi ve ark., 2015; Quiroga ve ark., 2017).

Bitkiler, kuraklık stresine maruz kaldığında, farklı mekanizmaları çalıştırarak hayatta kalmaya çalışır. Bu stratejilerden birisi, ozmotik uyum mekanizmasıdır (Qu ve ark., 2019). Kuraklık turgorite kaybı ile birlikte, ozmotik potansiyelde azalmaya neden olmaktadır. Ozmotik potansiyelde görülen azalma sonucu, çeşitli eriyebilir maddelerin birikimi ve vakuolden yapraklara su ile birlikte, taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlar kendini göstermektedir. Bu durum, kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde, ozmotik uyum veya ozmoregülasyon olarak tanımlanmaktadır. Ozmotik uyum, kuraklık gibi abiotik stres faktörlerine karşı bitkinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürülebilmesi açısından, oldukça önemli bir mekanizmadır. Bu yaşamsal faaliyetler arasında stomal ve fotosentetik uyum mekanizmaları, bitki gelişmesi ve ürün vermesi ile hücre gelişiminin devamlılığı sayılabilir (Kiegle ve ark., 2000; Kuşvuran ve ark., 2011). Kuraklık bitkide metabolik fonksiyonlar ile ilgili birçok değişime neden olmaktadır. Bu değişimlerden birisi de fotosentetik pigmentlerde ortaya çıkmakta, böylece fotosentetik düzende de zararlanmalar meydana gelmektedir.

Bitkilerde kuraklık stresinin birincil etkilerinden birisi, oksidatif strese neden olan reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesidir. ROS; indirgenmiş süperoksit (O_2), hidroksil radikal (OH) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) formlarını veya uyarılmış singlet oksijeni içermektedir. Aşırı ROS üretimi, normal hücre fonksiyonunu ciddi şekilde bozan hücresel membranlara, proteinlere, klorofillere ve nükleik asitlere zarar veren kontrolsüz oksidatif süreçlere neden olmaktadır. Bitki hücreleri ROS'un zararlı etkilerine karşı, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlardan oluşan kompleks bir antioksidan sistemi ile korunmaktadır. Askorbat (AsA) ve glutatyon (GSH), hücre içinde güçlü enzimatik olmayan antioksidanlar olarak değerlendirilmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), guaiacol peroksit (GPX), askorbat-glutatyon çevrimi enzimleri; askorbat peroksidad (APX), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) etkin antioksidatif enzimler arasındadır (Ramachandra Reddy ve ark., 2004; Kuşvuran ve Dasgan, 2017a).

Gerek miktar gerekse tür sayısı açısından, ülkemizde yetiştirilen sebzelerin büyük çoğunluğu *Solanaceae* familyasına aittir. Bu familya içerisinde ise biber, 792.617 da alanda toplam olarak 2.6 milyon ton üretim miktarı ile domatesten sonra 2. sırada yer almaktadır (Anonim, 2019).

Bu çalışma ile ülkemiz için önemli bir sebze türü olan biberde, farklı genotiplerin kuraklık stresine karşı göstermiş oldukları tepkilerin morfolojik, fizyolojik ve

biyokimyasal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte incelenen genotiplerin kuraklık koşullarında tolerans ve hassasiyet seviyelerinin net olarak ortaya konulması, ıslah çalışmalarının başlangıcı için de büyük önem taşımaktadır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada, farklı bölgelerden toplanmış olan 9 adet yerel biber genotipi ile Demre biber çeşidi olmak üzere toplamda 10 adet biber materyali kullanılmıştır. Genotiplere ait kodlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan materyallere ait kodlar ve orijinleri

Table 1. Codes and origin of materials used in the study

Genotip kodu	Orijini
BİB-1	Adana-Karaisalı
BİB-2	Şanlıurfa
BİB-3	Kahramanmaraş
BİB-4	Gaziantep
BİB-5	Malatya-Arapgir
BİB-6	Çankırı-1
BİB-7	Çankırı-2
BİB-8	Çankırı-3
BİB-9	Çankırı-4
BİB-10	Demre (Çeşit)

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kızıllırmak Meslek Yüksekokulu araştırma ve uygulama serasında yürütülen ($25/16 \pm 2^\circ C$ gündüz/gece, %50-55 nispi nem) çalışmada tohumlar, torf:perlit (2:1) ortamı içeren viyollere ekilmiş, bitkiler iki gerçek yapraklı aşamaya ulaştıklarında, aynı oranda substratın bulunduğu 11 litre kapasitedeki plastik saksılara, her saksıda dört bitki olacak şekilde transfer edilmişlerdir. Bitkiler dört gerçek yapraklı aşamaya ulaşıncaya dek standart besin çözeltisi ile sulanmışlardır (Dasgan ve Koc, 2009; Dasgan ve ark., 2018). Sulamada "drene olan çözelti/uygulanan çözelti" oranı esas alınarak, bu oran %30 düzeyinde tutulmuştur (Schubert ve Läuchli, 1990). Dört yapraklı aşamaya ulaşıncaya kadar (tohum ekiminden 51 gün sonra) kontrol koşullarında büyütülen bitkiler, bu aşamadan itibaren kuraklık stresine maruz bırakılmışlardır. Kuraklık stresi için ise su miktarı (%100 doygun olmuş saksıların-tarla kapasitesi) kademeli olarak azaltıldıktan (tarla kapasitesinin %75'i, %50'si ve %25'i olarak kademeli azaltma) sonra, sulama tamamen kesilmiştir (Kuşvuran ve ark., 2011). Kontrol bitkilerinde ise sulama devam etmiştir. Çalışmada bitkiler 13 gün kuraklık stresine maruz bırakılmış ve bu süre sonunda ölçüm ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Stres faktörüne karşı biber genotiplerinin tepki vermeye başladığı zaman görsel skala değerlendirmesi, ölçümler ve analizler için örnek alma işlemleri yapılmıştır. Biber genotiplerinde, kuraklıktan kaynaklanan zararlanmaların gözle görülen belirtilerini ifade edebilmek amacıyla, 0-5 skala değerlendirmesi yapılmıştır (Kuşvuran ve ark., 2011). Bunun yanı sıra, bitkiler morfolojik (bitki yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, bitki boyu, bitki çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanı), fizyolojik (oransal yaprak su içeriği, yaprak membran zararlanma indeksi, fotosentetik pigmentler

(toplam klorofil ve karotenoid) potasyum (K⁺) ve kalsiyum (Ca²⁺) iyon içeriği) ve biyokimyasal (MDA içeriği, toplam fenolik ve flavanoid içeriği, antioksidatif enzim aktiviteleri (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR)) açıdan değerlendirilmiştir.

Yaprak oransal su içeriği (%), Sánchez ve ark. (2004) ve Türkan ve ark. (2005); membran zararlanması (%) ise Dluogocecka ve Kacperska-Palacz (1978) ve Fan ve Blake (1994)'e göre belirlenmiştir. Klorofil ve karotenoid konsantrasyonu, Arnon (1949) ve Lichtenthaler ve Wellburn (1983)'e göre tespit edilmiştir.

Mineral element analizleri için 200 mg tartılan kurutulmuş ve öğütülmüş bitki dokuları, 550°C kül fırınında 8 saat yakılmıştır. Elde edilen kül %3,3'lük HCl'de çözülmüş ve filtre edildikten sonra K⁺ ve Ca²⁺ okumaları atomik absorpsiyon spektrometrede (Varian marka FS220 model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre) emisyon modunda gerçekleştirilmiştir (Dasgan ve Koc, 2009).

Lipid peroksidasyonunun ölçümü, Lutts ve ark. (1996) tarafından ifade edilen yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde, Folin Ciocalteu yöntemi (Singleton ve ark., 1999), toplam flavonoidlerin belirlenmesinde ise Molina-Quijada ve ark. (2010) tarafından belirtilen yöntem izlenmiştir.

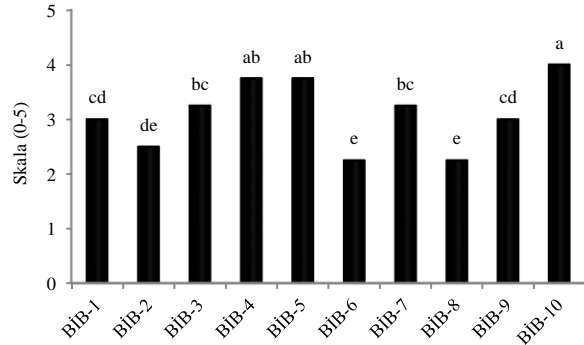
Kuraklık stresi altındaki bitkilerde meydana gelen enzim değişimlerini saptamak için yaklaşık 0,5 g bitki örneği sıvı azot içerisinde porselen havanlarda ezildikten sonra içinde 0,1 mM Na-EDTA bulunan 50 mM'lık 10 mL fosfat tampon çözeltisi (pH: 7,6) ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 15 dakika süresince 15000 rpm devir hızında santrifüj edildikten sonra, elde edilen santrifüjantlar enzim analizlerinde kullanılmıştır. Enzim analizlerinin yapılacağı örnekler buz içeren küvetlere yerleştirilerek, analiz yapıncaya kadar +4°C sıcaklıkta tutulmuştur. SOD enzim aktivitesi, Cakmak ve Marschner (1992) ve Cakmak ve ark. (1994) tarafından önerilen, NBT'nin (nitro blue tetrazolium klorid'in) ışık altında O₂ tarafından indirgenmesi yöntemine göre ölçülmüştür. CAT enzim aktivitesi; H₂O₂'nin 240 nm'de (E=3,4 mM cm⁻¹) parçalanma oranı esas alınarak, APX enzim aktivitesi Cakmak ve Marschner (1992) ve Cakmak ve ark. (1994)'a göre, 290 nm'de (E=2,8 mM cm⁻¹) askorbatın oksidasyonu ölçülerek yapılmıştır. GR enzim aktivitesi ise Cakmak ve Marschner (1992)'a göre, 340 nm'de (E=6,2 mM cm⁻¹) NADPH'nin oksidasyonu esas alınarak belirlenmiştir.

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre, dört tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal değerler, varyans analizine tabi tutularak, uygulamalar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan önemlilik derecesi ortaya konulmuştur. Bunun için Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmış ve farklılık dereceleri, %0,5 düzeyinde harflendirme yolu ile gösterilmiştir. Bu amaçla, SAS 9,0 (2002) paket programından yararlanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Stres koşullarının ortaya koymuş olduğu zararlanmanın görsel olarak nitelendirilebilmesi amacıyla oluşturulan skala değerlendirmesi sonucu, genotipler arasında geniş bir varyasyonun ortaya çıktığı görülmüştür. Buna göre, kuraklık stresinden en fazla etkilenen, dolayısıyla en

yüksek skala değerine sahip olan genotipler sırasıyla; BİB-10 (4,0), BİB-4 (3,75) ve BİB-5 (3,75) olmuştur. Buna karşın kuraklık stresinden en az etkilenen ve en düşük skala değerine sahip olan genotipler BİB-8 (2,25), BİB-6 (2,25) ve BİB-2 (2,5) şeklinde sıralanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı biber genotiplerinin kuraklık stresi karşısında göstermiş oldukları skala değerleri

Figure 1. Scale values of different pepper genotypes against drought stress

Kuraklık stresi koşullarında bitki yaş ve kuru ağırlıklarında, değişen oranlarda azalma kaydedilmiştir. Buna göre bitki yaş ağırlıkları açısından, kontrol bitkilerine en yakın gelişme gösteren biber genotipi BİB-6, %26 değişim oranı ile ilk sırada yer almıştır (Çizelge 2). Diğer genotiplerde %42 ile %71 oranlarında azalma meydana gelirken; BİB-4 %71 ve BİB-9 %68 azalma ile dikkati çekmiştir. Kurak koşullar, bitki kuru ağırlıklarında %34-72 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. Bu sıralama içerisinde kontrol bitkilerine oranla, en düşük düzeydeki değişim BİB-6 (%34) ve BİB-2 (%35) biber genotiplerinde belirlenmiştir. Stres koşulları, gövde boyunda kontrol bitkilerine oranla azalmalara neden olmuştur. Tuz stresinden farklı olarak kuraklık stresinin, gövde boyu üzerindeki olumsuz etkisi daha belirgin olmuş ve kontrol bitkilerine oranla %46 oranında azalma meydana gelmiştir (Çizelge 2). Gövde boyu açısından değişimin en düşük olarak görüldüğü genotipler, BİB-6 (%21 azalma) ve BİB-2 (%33 azalma) olarak tespit edilmiştir. Yüzde değişimin en belirgin olduğu genotipler ise sırasıyla BİB-10 (%58) ve BİB-5 (%57) no'lu biber genotipleridir. Gövde çapı da, gövde boyuna benzer biçimde azalma göstermiştir. Kontrol bitkileri ile karşılaştırıldıklarında, tuz stresi karşısında gövde çapı bakımından değişimin en az düzeyde kaldığı genotipler, BİB-2 (%12 azalma) ve BİB-6 (%14 azalma) olmuştur. Kuraklık stresi gövde çapında, %23 ila %41 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. Kontrol bitkilerine en yakın değer gösteren genotipler sırasıyla BİB-9 (%23), BİB-8 (%24) ve BİB-10 (%24) olurken, BİB-3 (%41) ve BİB-7 (%36) biber genotiplerinin gövde çapı bakımından, stres koşullarından çok daha fazla etkilendiği görülmüştür. Bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyen abiyotik stres faktörlerinden birisi kuraklıktır. Kalefetoğlu ve Ekmekçi (2005), kuraklık stresinin %26'lık payıyla, en büyük dilim içerisinde olduğunu ifade etmektedir. Kuraklık stresi büyümeyi ve verimi, olumsuz yönde etkileyerek bitkilerde birçok fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olmaktadır (Çirak ve Esendal, 2006). Kuraklık stresi karşısında bitkiler, farklı savunma

mekanizmaları geliştirmektedirler. Kuraktan sakınım mekanizmasına sahip bitkilerde, geniş bir kök sistemi meydana gelmekte, stomalar kapanmakta ve daha etkili bir su kullanımı gerçekleşmektedir. Kuraklığa tolerans mekanizmasına sahip bitkiler ise, özellikle düşük su potansiyelinin olduğu durumlarda, ozmotik düzenleme ve membran sisteminin korunarak hücre seviyede bir mekanizma geliştirmektedirler (Kuşvuran ve ark., 2011; Kıran ve ark., 2014). Genel olarak kuraklık stresinin en önemli etkilerinin başında, büyüme ve gelişmede meydana gelen azalma gelmektedir. Kuraklık stresi, meristematik aktiviteyi ve hücre uzamasını olumsuz etkilemekte, yaprakların ve köklerin morfolojik özelliklerinde bozulmaya yol açmakta, fotosentetik aktiviteyi azaltarak kuru madde birikiminin de azalmasına neden olmaktadır (Dhanda ve Sethi, 2002; Latif ve ark., 2016). Sadak (2018), su stresi durumunda turgor basıncının azalması ve transpirasyonun olumsuz etkilenmesi sonucu, mineral madde alımını da olumsuz yönde etkilediğini ifade etmiş, ortaya çıkan bu istenmeyen durumun bitki gelişimini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Dolayısıyla buna bağlı olarak bitkinin gövde, boy ve çapında da, kontrol bitkilerine oranla azalmalar görülebilmektedir. Biber genotiplerinde gerçekleştirilen bu çalışmada; gövde boyu %46 oranında azalma gösterirken, gövde çapı bakımından ise bu oran %30 olarak kaydedilmiştir. Voor ve ark. (2018) biberde kuraklık stresi altında, gövde boy ve çapında azalmalar meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Farklı biber genotiplerine ait bitkilerin yaprak sayısı bakımından kuraklık uygulaması karşısında kontrol bitkilerine oranla ortaya koydukları % değişimler dikkate alındığında, BİB-6 (%27) ve BİB-2 (%33) stres koşullarından en az etkilenen genotipler olmuş, BİB-10 ve BİB-5 no'lu genotipler ise %66 ve %56 değişim oranları ile zararlanmanın en belirgin ortaya çıktığı genotipler olarak tespit edilmiştir. Sulamanın tamamen kesilmesi ile oluşturulan kuraklık stresinde, yaprak alanında kontrol bitkilerine oranla değişen oranlarda azalma meydana gelmiştir. Stres koşullarında yaprak alanını en iyi koruyabilen genotipler, BİB-8 (%29,30) ve BİB-6 (%32,67) olarak sıralanmıştır. Yaprak alanı açısından, kuraklık stresinin en fazla etkilediği genotipler ise, BİB-5 (%63,61), BİB-3 (%58,99) ve BİB-9 (%58,52) no'lu biber genotipleri olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Kuraklık stresinin, hem yaprak alanını hem de birim yaprak alanı başına fotosentetik oranını azaltarak, fotosentezi azalttığı bilinmektedir. Stres koşullarında bitkiler, su içeriklerini koruyabilmek için farklı önlemler almakta, bu önlemler morfolojilerinde de değişime yol açmaktadır. Hücre içi su dengesinin korunmasına yönelik olarak oluşturulan savunma mekanizmalarının başında, yaprak alanının küçültülmesi gelmektedir (Lichtenthaler ve Welburn, 1983; Ashraf, 2009; Dasgan ve ark., 2018). Biberde gerçekleştirilen bu çalışmada, kuraklık stresi her iki parametrede de değişen oranlarda azalmaya neden olmuştur. Yaprak sayısı bakımından, kontrol bitkilerine oranla kuraklık stresinde %48 oranında azalma meydana gelirken, yaprak alanı açısından ise bu oran, %49 düzeyinde gerçekleşmiştir. İncelenen genotipler içerisinde, özellikle BİB-6 ve BİB-8'in kontrole daha yakın gelişme göstermeleri dikkate değerdir.

Kuraklık stresi koşullarında yaprak oransal su içeriği açısından da azalma meydana gelmiştir. Ancak, ortaya

çıkan bu azalma, genotipler arasında farklılıklar göstermiştir (Çizelge 3). Yaprak su içeriği bakımından kontrol bitkilerine en yakın olan ve bünyesindeki su oranını koruyabilen genotipler, BİB-8 (%27,43) ve BİB-2 (%33,83) şeklinde sıralanmıştır. Genel olarak genotiplerdeki su kayıpları, %27,43 ile %60,77 düzeyinde azalma şeklinde gerçekleşmiştir. Kuraklık stresinden en fazla etkilenen genotipler ise %60,77 azalma ile BİB-10 ve %60,67 azalma ile BİB-4 biber genotipleri olmuştur. Bununla birlikte, kuraklık stresi tüm genotiplerde değişen oranlarda hücrelerde zararlanmaya neden olmuştur. Ancak BİB-6 (%18,80) ve BİB-1 (%27,46) biber genotiplerinde, bu zararlanma en düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Buna karşılık, BİB-10 ve BİB-5 genotipleri, %73,29 ve %65,29 düzeyindeki MIDX değerleri ile zararlanmanın en fazla görüldüğü genotipler olmuştur. Bitkileri kuraklığa tolerans açısından taramak için kullanılabilir en etkin parametrelerden birisi olan YOSİ değeri, transpirasyon oranı ile yaprağa sağlanan su arasındaki dengenin sağlanabilmesini gösteren bir değer olarak da düşünülebilir. Bu etki nedeniyle, bitki ne kadar su sağlayabilirse kendisini de stresten o denli kurtarabilmektedir (Dixit ve ark., 2001). Okunlola ve ark. (2017) YOSİ'nin kuraklığa toleransın belirlenmesinde önemli bir gösterge olduğunu, kuraklık stresi ile birlikte YOSİ değerlerinde azalma meydana geldiğini ifade etmektedirler.

Stres koşullarına bağlı olarak toplam klorofil içeriğinde, değişen oranlarda azalma kaydedilmiştir (Çizelge 3). Buna göre toplam klorofil içeriği açısından kontrol bitkilerine en yakın gelişme gösteren biber genotiplerinde, %13 değişim oranı ile BİB-6 ilk sırada yer almıştır. Diğer genotiplerde %24-71 oranlarında azalma meydana gelirken; BİB-10 %71, BİB-5 %65 ve BİB-4 %62 azalma ile dikkati çekmiştir. Kurak koşullar karotenoid içeriğinde, %44 ile %76 düzeyleri arasında azalmaya neden olmuştur. Bu sıralama içerisinde, kontrol bitkilerine oranla en düşük düzeydeki değişim BİB-8 (%14) ve BİB-6 (%15) biber genotiplerinde belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, fotosentetik pigmentler açısından genel olarak azalma meydana geldiği ve bu azalmanın hassas genotiplerde daha yüksek oranda gerçekleştiği belirlenmiştir. Klorofil içeriğinde meydana gelen bu azalmanın nedeni Meher ve ark. (2018) tarafından, O₂ ve H₂O₂ gibi reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesi sonucu lipid peroksidasyonun meydana gelmesi sonucu olarak, klorofil pigmentlerinin bozulması şeklinde ifade edilmektedir.

Potasyum iyon içeriği tüm genotiplerde, kuraklık stresi ile birlikte azalma göstermiştir. On adet farklı biber genotipi içerisinde, BİB-6 (%3,88), BİB-7 (%3,93) ve BİB-2 (%3,03) no'lu genotipler en fazla K⁺ iyon içeriğine sahip olan genotipler olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, % değişimler göz önüne alındığında, en az kayıp oluşturan genotipler sırasıyla BİB-2 (%11,66), BİB-8 (%21,41) ve BİB-6 (%23,92) no'lu genotiplerdir. Buna karşılık % değişimin en fazla gerçekleştiği ve K⁺ iyonu bakımından en fazla kaybın meydana geldiği genotipler ise BİB-9 (%54,08), BİB-5 (%53,38) ve BİB-4 (%43,20) şeklinde sıralanmışlardır. Kalsiyum iyon değişimi açısından ise stres koşullarında, bünyesinde en yüksek Ca⁺² içeriğine sahip olan biber genotipleri BİB-6 (%4,72), BİB-8 (%4,57) ve BİB-1 (%4,15) şeklinde sıralanmıştır.

Genotiplerin kontrol bitkilerine oranla ortaya koydukları % değişimler göz önünde bulundurulduğunda, değişimin en az olduğu ve kontrol bitkilerine en yakın Ca^{+2} içeriğine sahip genotipler; BİB-6 (%18,20), BİB-8 (%20,93) ve BİB-2 (%21,18) olurken, BİB- 5, BİB-10 ve BİB-3 biber genotiplerinde bu değişim %47 ile %58 arasında gerçekleşmiştir (Çizelge 3). Farklı biber genotiplerinin yer aldığı bu çalışmada, kuraklık stresi yeşil aksam potasyum iyon içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Genotip ortalamasına bakıldığında, kuraklık stresinde K^{+} iyon konsantrasyonunda, kontrol bitkilerine oranla %35 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Ozmotik uyum mekanizmalarından birisi de K^{+} 'nin aktif absorpsiyon ile alınarak birikimi ile hücre içerisindeki ozmotik potansiyelin artması ve hücre içi su dengesinin sağlanması şeklindedir (Jaleel ve ark., 2007; Dasgan ve ark., 2018). Bunun yanı sıra, bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyen en önemli unsurlardan birisi de iyon dengesinde oluşan aksaklıklardır. Kuşvuran ve ark. (2015) mısır bitkisinde ve Dasgan ve ark. (2018) ise domateste gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, tuz ve kuraklık stresine bağlı olarak K^{+} iyon alımının sınırlandığını ifade etmişlerdir. Kuraklık stresi, biber bitkilerinin yeşil aksam Ca^{+2} konsantrasyonunda, azalmaya neden olmuştur. Su eksikliği, kök hücrelerinden başlayarak diğer doku ve organlara besin maddesi akışının azalmasına, böylece farklı dokularda besin elementi eksikliklerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Kalsiyum iyonun ksilemde taşınması ve floemdeki hareketliliğinin sınırlı olması, suyun kısıtlı olduğu durumlarda taşınımının da sınırlandırılmasına neden olmaktadır (Kuşvuran ve ark., 2011). Bu azalma respirasyon ve fotosentez gibi metabolik olaylar

dışında, enzim aktivitelerinde meydana gelen aksaklıklar nedeniyle membran geçirgenliğinin azalmasına, ozmotik dengenin bozulmasına ve sonuçta bitki büyüme ve gelişmesinde olumsuzluklara neden olmaktadır (Kuşvuran ve ark., 2015).

Genel olarak strese maruz kalan bitkilerde, kontrol bitkilerine oranla, ortalama olarak %267 oranında MDA içeriğinde artış meydana gelmiştir. Kurak koşullarda en yüksek MDA miktarı $26,2 \mu\text{mol g}^{-1}$ T.A ile BİB-10 genotipinde, en düşük MDA miktarı ise $9,48 \mu\text{mol g}^{-1}$ T.A ile BİB-8 genotipinde ortaya çıkmıştır. Kontrol bitkileri ile karşılaştırıldıklarında, % değişimler açısından en yüksek düzey BİB-3 (%485,48), BİB-10 (%353,29) ve BİB-9 (%342,48) genotiplerinde görülürken, kontrol bitkilerine oranla en düşük yüzde değişim BİB-6, BİB-7 ve BİB-8 genotiplerinde saptanmıştır (%64-181 artış) (Çizelge 4). Oksidatif stres sonucu bitkilerde ortaya çıkan serbest radikaller, lipid ve proteinlerin geri dönüşümsüz olarak zararlanmasına yol açmaktadır. Lipid peroksidasyon sonucunda, hücre membran bütünlüğü kaybolmakta ve sonuçta hücre bütünlüğü bozularak ölümü gerçekleşmektedir. Çalışmada yer alan biber genotiplerinde, kuraklık stresi karşısında MDA içeriklerinde artış meydana gelmiştir. Bu artış ortalama olarak, %267 oranında gerçekleşmiştir. Genotipler düzeyinde incelendiğinde, skala değeri düşük olan genotiplerin daha düşük MDA içeriğine sahip olduğu, buna karşılık görsel skala değerlendirmesi yüksek olan, dolayısıyla stres koşullarında daha fazla zarar gören biber genotiplerinde, MDA içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Kontrol ve kuraklık stresi karşısında biber genotiplerinde morfolojik parametreler bakımından meydana gelen değişimler

Table 2. The changes of morphological parameters of pepper genotypes in control and under drought stress condition

Genotipler	Yeşil aksam yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)		Yeşil aksam kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)		Gövde boyu (cm bitki ⁻¹)	
	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	53,50 ^{b-c}	18,78 ^f	5,37 ^{cd}	2,62 ^{cd}	47,00 ^{b-d}	20,25 ^c
BİB-2	65,88 ^{a-c}	37,74 ^a	6,39 ^c	4,16 ^b	51,25 ^{a-c}	34,25 ^a
BİB-3	46,24 ^{dc}	22,43 ^{ef}	4,62 ^d	2,18 ^d	38,50 ^{de}	20,00 ^c
BİB-4	87,37 ^a	25,03 ^{de}	8,94 ^{ab}	2,50 ^{cd}	60,00 ^a	28,00 ^b
BİB-5	71,83 ^{ab}	27,94 ^{cd}	7,69 ^b	2,79 ^{cd}	42,00 ^{c-e}	18,00 ^c
BİB-6	37,28 ^d	27,65 ^{cd}	4,62 ^d	3,03 ^c	43,50 ^{c-e}	34,05 ^a
BİB-7	82,82 ^a	35,25 ^{ab}	8,62 ^{ab}	3,71 ^b	36,50 ^e	17,50 ^c
BİB-8	86,61 ^a	31,85 ^{bc}	9,02 ^a	5,37 ^a	55,75 ^{ab}	34,50 ^a
BİB-9	79,55 ^a	24,96 ^{de}	8,47 ^{ab}	3,76 ^b	57,25 ^a	31,00 ^{ab}
BİB-10	73,45 ^{ab}	25,87 ^{de}	7,84 ^{ab}	2,74 ^{cd}	41,75 ^{c-e}	17,25 ^c
Genotipler	Gövde çapı (mm bitki ⁻¹)		Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹)		Yaprak alanı (cm ² bitki ⁻¹)	
	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	8,52 ^{ab}	5,87	28,25 ^e	14,50 ^{de}	1116,4 ^{a-c}	601,7 ^{ab}
BİB-2	8,17 ^{a-c}	5,49	27,75 ^e	18,50 ^b	1009,4 ^{bc}	641,3 ^a
BİB-3	9,20 ^a	5,43	30,75 ^d	17,00 ^{bc}	1003,7 ^{bc}	411,5 ^c
BİB-4	8,51 ^{ab}	5,56	32,00 ^d	15,75 ^{cd}	1221,6 ^{ab}	561,1 ^{ab}
BİB-5	8,46 ^{ab}	5,68	35,50 ^c	15,50 ^{cd}	978,9 ^{bc}	355,8 ^c
BİB-6	7,42 ^{bc}	5,50	39,50 ^b	25,75 ^a	937,4 ^{dc}	631,1 ^{ab}
BİB-7	7,96 ^{a-c}	5,31	38,50 ^b	17,50 ^b	716,4 ^{de}	397,6 ^c
BİB-8	7,04 ^c	5,34	39,75 ^b	24,50 ^a	740,4 ^{de}	523,9 ^b
BİB-9	7,57 ^{bc}	5,86	56,50 ^a	25,50 ^a	1304,1 ^a	540,8 ^{ab}
BİB-10	7,49 ^{bc}	5,67	35,25 ^c	13,50 ^e	551,4 ^e	229,3 ^d

*Sütunlardaki ortalamalar arasındaki farklılıkların önem dereceleri Duncan testi (P<0,05) esas alınarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Kontrol ve kuraklık stresi karşısında biber genotiplerinde fizyolojik parametreler bakımından meydana gelen değişimler

Table 3. The changes of physiological parameters of pepper genotypes in control and under drought stress condition

Genotipler	Yaprak oransal su içeriği (%)		MIDX (%)		Toplam klorofil (mg g ⁻¹ TA)	
	Kontrol	Kurak	Kurak	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	85,88	40,38 ^b	27,46 ^{ef}	27,46 ^{ef}	0,235 ^a	0,134 ^b
BİB-2	84,08	55,63 ^a	32,36 ^e	32,36 ^e	0,203 ^b	0,130 ^b
BİB-3	82,40	38,02 ^b	45,68 ^d	45,68 ^d	0,130 ^d	0,054 ^{de}
BİB-4	81,84	32,17 ^b	59,50 ^{bc}	59,50 ^{bc}	0,198 ^b	0,074 ^{cd}
BİB-5	82,87	42,70 ^b	64,75 ^{ab}	64,75 ^{ab}	0,158 ^c	0,056 ^{de}
BİB-6	85,32	56,19 ^a	18,50 ^f	18,50 ^f	0,198 ^b	0,172 ^a
BİB-7	82,09	36,35 ^b	53,25 ^{cd}	53,25 ^{cd}	0,119 ^d	0,069 ^{cd}
BİB-8	86,03	62,43 ^a	34,80 ^e	34,80 ^e	0,114 ^d	0,086 ^c
BİB-9	84,04	41,46 ^b	36,60 ^e	36,60 ^e	0,211 ^{ab}	0,127 ^b
BİB-10	87,65	34,37 ^b	73,29 ^a	73,29 ^a	0,162 ^c	0,046 ^e
Genotipler	Toplam karotenoid (mg g ⁻¹ TA)		K ⁺ (%)		Ca ⁺² (%)	
	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	1,185 ^a	0,735 ^b	4,37 ^{a-c}	2,89 ^{bc}	6,72 ^a	4,14 ^{bc}
BİB-2	0,961 ^c	0,636 ^c	3,43 ^c	3,02 ^b	4,91 ^d	3,86 ^{cd}
BİB-3	0,903 ^{cd}	0,365 ^e	4,81 ^{a-c}	2,88 ^{bc}	4,97 ^{cd}	2,64 ^{gh}
BİB-4	0,954 ^c	0,330 ^e	4,05 ^{a-c}	2,30 ^{cd}	6,13 ^{ab}	3,47 ^{de}
BİB-5	0,949 ^c	0,387 ^e	4,28 ^{a-c}	2,00 ^d	5,11 ^{cd}	2,14 ⁱ
BİB-6	1,218 ^a	1,037 ^a	5,10 ^{ab}	3,87 ^a	5,77 ^{bc}	4,72 ^a
BİB-7	0,657 ^e	0,357 ^e	5,39 ^a	3,92 ^a	5,03 ^{cd}	3,16 ^{ef}
BİB-8	0,646 ^e	0,557 ^d	3,83 ^{bc}	3,01 ^b	5,78 ^{bc}	4,57 ^{ab}
BİB-9	1,059 ^b	0,366 ^e	4,15 ^{a-c}	1,91 ^d	5,37 ^{b-d}	2,95 ^{fg}
BİB-10	0,856 ^d	0,203 ^f	4,70 ^{a-c}	2,76 ^{bc}	4,95 ^{cd}	2,39 ^{hi}

*Sütunlardaki ortalamalar arasındaki farklılıkların önem dereceleri Duncan testi (P<0,05) esas alınarak değerlendirilmiştir.

Pagariya ve ark. (2012) ise membran lipidlerinin peroksidasyonun, membran hasarı için bir belirteç olduğunu, MDA konsantrasyonunun ölçülmesi ile oksidatif hasarın belirlenebileceğini, stres altındaki bitkilerde MDA içeriğinin önemli derecede arttığını bildirilmiştir. Çerçi (2012) farklı turuncuğil anaçlarında, Kusvuran ve Dasgan (2017a, b) fasulye ve domateste, Alzahrani ve ark. (2018) buğdayda kuraklık stresi karşısında MDA miktarında artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Toplam fenolik madde miktarı açısından, stres uygulanan bitkilerde, kontrol bitkilerine oranla %29 oranında artış meydana gelmiştir. Toplam fenolik madde miktarı bakımından değişimin en fazla olduğu, dolayısıyla fenolik madde içeriğinin en yüksek oranda artış gösterdiği genotipler; BİB-2 (%55 artış) ve BİB-8 (%52 artış) olarak tespit edilmiştir. Yüzde değişimin en az olduğu genotipler ise sırasıyla BİB-4 (%2), BİB-9 (%3) ve BİB-10 (%6) no'lu biber genotipleridir. Kuraklık stresi ise toplam flavanoid miktarında, %24 oranında artışa neden olmuş ve ortalama olarak 18,09 mg QE 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen biber genotiplerinin, kontrol bitkilerine oranla ortaya koydukları % değişimler dikkate alındığında; BİB-8 (%62), BİB-2 (%41) ve BİB-6 (%40), stres koşullarında en fazla artış meydana gelen genotipler olmuştur (Çizelge 4). Bitkilerde yaygın bir şekilde bulunan fenolik bileşikler, sekonder metabolizma ürünlerinden olup, ekolojik ve fizyolojik olaylarda görev alırlar (Nizamlioğlu ve Nas, 2010; Okunlola ve ark., 2017). Bitkide fenolik bileşiklerin en önemli özelliklerinden birisi, antioksidan aktivite göstermeleridir. Hücrelerde metabolizma olayları sonucu,

reaktif oksijen türleri oluşur. Fenolik bileşiklerin antioksidan aktiviteleri, oksidasyon sonucu oluşan serbest radikallere hidrojen vererek onları söndürmesinden ileri gelmektedir (Es-Safi ve ark., 2007). Fenolik bileşikler, lipid alkoksil radikallerini yakalayarak, lipid peroksidasyonunu inhibe eder (Michalak, 2006). Flavonoidlerin içerdikleri yapısal ve elektrokimyasal özelliklerin lipid peroksidasyonunu baskıladığı, lipid oksidasyonunu indirgeyerek membran yapısını koruyan antioksidan etkinliklerinde rol oynadığı ileri sürülmektedir (Eren ve ark., 2018). Lipid peroksidasyonunun indirgenmesi, flavonoidler tarafından reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinden ve lipid peroksidasyonu süresince üretilen lipid radikallerinin azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Antioksidan aktivite, fenolik çeşitlerinde bulunan hidroksil grupların sayısı, konumu ve molekülün yapısına bağlı olarak gerçekleşmektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Fenolik bileşikler içerisinde yer alan flavonoidler, reaktif oksijen türlerini temizleyebilirler. Bitkiler kuraklık stresinden kaynaklanan oksidatif hasarı azaltmak için farklı adaptasyon mekanizmalarına sahiptirler. Gerçekleştirilen bu çalışmada, kuraklık stresi toplam fenolik bileşikler ve flavanoid miktarında artışa neden olmuştur. Ancak bu artış, tolerat genotiplerde daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.

Stres koşulları SOD enzim aktivitesinde, kontrol bitkilerine göre değişen oranlarda artışa neden olmuştur. En düşük değerler kontrol bitkilerinde belirlenirken (29,44-54,35 U dak⁻¹ mg T.A⁻¹), en yüksek SOD aktivitesi BİB-6 (187,38 U dak⁻¹ mg T.A⁻¹) ve BİB-8 (197,50 U dak⁻¹ mg T.A⁻¹) genotiplerinin kuraklık uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 4. Kontrol ve kuraklık stresi karşısında biber genotiplerinde toplam fenolik madde, toplam flavanoid ve MDA içeriği bakımından meydana gelen değişimler

Table 4. The changes of total fenolic content, total flavanoid and MDA content of pepper genotypes in control and under drought stress condition

Genotipler	Toplam fenolik madde ($\mu\text{g GAE mL}^{-1}$)		Toplam flavanoid ($\text{mg QE } 100 \text{ g}^{-1}$)		MDA ($\mu\text{mol g T.A}^{-1}$)	
	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	17,61 ^a	23,55 ^{bc}	12,45 ^{ef}	14,88	4,16 ^{b-d}	15,77 ^{bc}
BİB-2	14,76 ^{a-c}	22,95 ^c	13,75 ^{de}	19,40	3,97 ^{b-d}	14,37 ^{bc}
BİB-3	14,30 ^{bc}	18,33 ^{de}	11,33 ^{fg}	11,92	3,10 ^d	18,15 ^b
BİB-4	16,15 ^{a-c}	16,56 ^e	15,76 ^{bc}	19,58	6,25 ^{ab}	22,96 ^a
BİB-5	13,40 ^c	16,90 ^e	16,59 ^{ab}	19,66	5,69 ^{a-c}	22,38 ^a
BİB-6	16,68 ^{ab}	25,31 ^{ab}	16,39 ^{ab}	22,95	4,43 ^{b-d}	12,46 ^{cd}
BİB-7	14,71 ^{a-c}	20,05 ^d	15,50 ^{bc}	20,56	7,31 ^a	17,61 ^b
BİB-8	17,40 ^{ab}	26,46 ^a	14,25 ^{dc}	23,14	5,76 ^{a-c}	9,48 ^d
BİB-9	13,48 ^c	13,98 ^f	10,41 ^g	10,82	3,79 ^{cd}	16,77 ^b
BİB-10	17,35 ^{ab}	18,42 ^{de}	17,84 ^a	18,04	5,78 ^{a-c}	26,20 ^a

*Sütunlardaki ortalamalar arasındaki farklılıkların önem dereceleri Duncan testi ($P < 0,05$) esas alınarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5. Kontrol ve kuraklık stresi karşısında biber genotiplerinde SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitesi bakımından meydana gelen değişimler (SOD: $\text{U dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$; CAT, APX, GR: $\mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$)

Table 5. The changes of SOD, CAT, APX and GR enzyme activities of pepper genotypes in control and under drought stress condition (SOD: $\text{U min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$; CAT, APX, GR: $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$)

Genotipler	SOD		CAT		APX		GR	
	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak	Kontrol	Kurak
BİB-1	32.28 ^{cd}	72.62 ^{ef}	299.83 ^a	712.33 ^c	2.84 ^{a-c}	9.07 ^c	3.56 ^{a-d}	9.16 ^c
BİB-2	36.12 ^{b-d}	145.74 ^b	223.91 ^{b-d}	829.51 ^b	2.43 ^d	10.87 ^b	3.92 ^{a-c}	11.58 ^b
BİB-3	42.14 ^b	95.23 ^c	215.96 ^{de}	641.69 ^{de}	2.87 ^{a-c}	8.79 ^c	3.78 ^{a-c}	9.03 ^c
BİB-4	43.28 ^b	82.11 ^{de}	242.24 ^{bc}	614.84 ^e	2.97 ^{ab}	7.58 ^{de}	3.67 ^{a-d}	7.86 ^e
BİB-5	54.35 ^a	91.58 ^{cd}	245.58 ^b	635.65 ^{de}	3.10 ^a	8.10 ^{cd}	3.61 ^{a-d}	8.20 ^{de}
BİB-6	39.62 ^{bc}	187.38 ^a	277.71 ^a	1100.29 ^a	2.78 ^{a-d}	12.75 ^a	3.43 ^{cd}	13.04 ^a
BİB-7	32.66 ^{cd}	98.44 ^c	195.48 ^e	716.00 ^c	2.55 ^{cd}	8.63 ^c	3.98 ^{ab}	8.84 ^{cd}
BİB-8	29.44 ^d	197.50 ^a	221.00 ^{cd}	1126.01 ^a	2.60 ^{b-d}	13.64 ^a	3.17 ^d	12.36 ^{ab}
BİB-9	42.02 ^b	101.98 ^c	241.30 ^{bc}	727.77 ^c	2.70 ^{a-d}	8.78 ^c	3.48 ^{b-d}	8.79 ^{cd}
BİB-10	40.60 ^{bc}	68.85 ^f	301.96 ^a	695.38 ^{cd}	3.04 ^a	6.65 ^e	4.02 ^a	6.72 ^f

*Sütunlardaki ortalamalar arasındaki farklılıkların önem dereceleri Duncan testi ($P < 0,05$) esas alınarak değerlendirilmiştir.

Stres koşulları altında toleransın etkili olmasında ve zararlı ROS bileşiklerinin etkisiz hale getirilmesinde görevli olan bir diğer enzim türü de CAT olarak belirtilmektedir. CAT enzim aktivitesi, stres koşullarına bağlı olarak artış göstermiştir. Ancak bu artış, tolerant olan genotiplerde, daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. En yüksek CAT enzim aktivitesi BİB-6 ($1100,29 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A}$) ve BİB-8 ($1126,01 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A}$) genotiplerinin kuraklık stresi uygulamasında saptanmıştır. Bitkiler kontrol bitkileri ile karşılaştırıldıklarında, CAT enzim aktivitesi bakımından tolerant genotiplerde %224-490 oranında artış meydana gelmiş; bu oran hassas genotiplerde %130-153 düzeyinde kalmıştır (Çizelge 5). Kuraklık uygulamaları genel olarak kontrol grubuna oranla, APX aktivitesinde artışa yol açmıştır. Tolerant genotiplerde enzim aktivitesindeki artış, hassas olan genotiplere oranla, daha yüksek olarak belirlenmiş (%356 ve %425), hassas genotiplerde ise ortaya çıkan değişim, %119-155 seviyesinde kalmıştır (Çizelge 5). GR enzim aktivitesindeki değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu çalışmada, en yüksek değer BİB-6 genotipinin kuraklık uygulamasında ($13,04 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A}$) saptanmış, bunu BİB-8 kuraklık uygulaması ($12,36 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A}$) izlemiştir. Hassas genotiplerde de tolerant genotiplerde olduğu gibi değişen oranlarda artış meydana

gelmiş, ancak bu artış %43 ila %113 oranında kalmıştır. Reaktif oksijen türevleri (ROS), normal hücre metabolizması esnasında oluşan oksijenin kısmen indirgenmiş veya aktive edilmiş türevleri olarak bilinmekte olup, hücrenin farklı kısımlarında oluşabilmektedir. Çevresel stres faktörleri, ROS üretiminin artmasına yol açarak, oksidatif strese neden olmaktadır (Groß ve ark., 2013; Kusvuran ve ark., 2016). Hücrenin tolere edemeyeceği kadar yüksek konsantrasyonlarda oluşturulan ROS; DNA, proteinler ve lipidler dahil olmak üzere farklı hücresel bileşenlerle reaksiyona girerek oksidatif yaralanmalara neden olmakta ve hücre için toksik hale gelmektedir. ROS'lardan kaynaklanan bu hücresel hasarı önlemek için, ROS üretimi ve süpürme arasında önemli bir dengenin olması gerekmektedir (Mir ve ark., 2019). Peroksizomlar, kloroplastlar ve mitokondri yüksek oranda oksitleyici metabolik aktiviteye sahip veya fazla miktarda elektron içeren organellerdir. Bu nedenle, bitki hücrelerinde ROS üretiminin ana kaynaklarıdır. ROS üretiminin yoğunluğu, süresi ve hücre içi lokalizasyonu, ROS sinyallerinin hücre içi iletiminde çok önemlidir (Levitt, 1980; Leshem ve ark., 2007; Martinière ve ark. 2019). Bitkilerdeki abiyotik ve biyotik stres, kloroplast ve mitokondride elektron taşıma zincirlerinin (ETC) fazla aktifleşmesine, serbestleşmesine ve bozulmasına neden

olmaktadır. Bu koşullar altında moleküler oksijen (O_2), ROS birikmesine yol açan bir elektron alıcısı görevi görür. Singlet oksijen (1O_2), hidroksil radikali (OH^\cdot), süperoksit radikali (O_2^\cdot) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) tamamen oksitleyici bileşiklerdir ve bu nedenle hücre bütünlüğü için potansiyel zararlı madde olarak nitelendirilmektedirler (Mir ve ark., 2019). Stresin neden olduğu hücrel ROS miktarlarındaki artış, bitki büyümesi ve gelişimini olumsuz etkileyerek, bitkiyi ölüme kadar götürebilmektedir. Yüksek oranda reaktif olan ROS'lar; lipid, protein, DNA ve diğer bazı metabolitlerde önemli hasara neden olmaktadır (Moreno-Galván ve ark., 2020; Tsai ve ark., 2020). Oksidatif hasarın giderilmesi, antioksidan enzim (CAT, SOD, APX, GR) sentezinin teşvik edilmesi ile gerçekleşmektedir. SOD enzim aktivitesi kuraklık stresine maruz bırakılmış bitkilerde, kontrol bitkilerine oranla artış göstermiştir. Sánchez-Rodríguez ve ark. (2010) domateste, Lakshmi Sahitya ve ark. (2018) ise biberde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, kuraklık stresi koşullarında antioksidatif enzim aktivitelerinde artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Kuvuran ve Dasgan (2017a, b) domates ve fasulyede gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, kuraklık stresi koşullarında bitkilerde antioksidatif savunma mekanizmasının aktif hale geçtiğini ve bu savunma mekanizmalarını etkin kullanabilen genotiplerin stres koşullarına tolerans düzeylerinin de arttığını ifade etmişlerdir. Nitekim bu çalışmada da tolerant olduğu görülen BİB-6 ve BİB-8 genotiplerinde; süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz enzim aktivitelerinde %224-570 oranında artış meydana gelmiş, hassas olan BİB-4 ve BİB-10 genotiplerinde ise bu oran %54-187 oranında gerçekleşmiştir.

Sonuç

Toplam dokuz adet biber genotipi ile bir adet biber çeşidinin kuraklık streslerine tepkilerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal açıdan değerlendirildiği bu çalışmada; genotiplerin stres faktörüne farklı tepkiler gösterdiği belirlenmiştir. Yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, gövde boyu ve çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanı ile yaprak oransal su içeriği gibi morfolojik ve fizyolojik parametreler açısından, hassas genotiplerin stres koşullarından daha fazla etkilendiği görülmüştür. Sekonder metabolitler, bitkilerin stres koşullarında önemli bir savunma mekanizması olarak değerlendirilmektedir. Nitekim bu çalışmada genel olarak, toplam fenolik bileşik ve flavanoid miktarında artış saptanmış, bu artışın tolerant genotiplerde hassas genotiplere oranla çok daha yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Antioksidatif enzim aktiviteleri, biber türünde etkili bir mekanizma olarak değerlendirilmiştir. Enzim aktiviteleri genel olarak tolerant olan genotiplerde, hassas olanlara göre daha yüksek oranlarda artış göstermiştir. İncelenen antioksidatif enzim aktiviteleri SOD, CAT, GR ve APX dayanıklı ve hassas genotiplerin belirlenmesinde etkili bir parametre olarak görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde, BİB-6 ve BİB-8 genotiplerinin toleranslık düzeyleri açısından, diğerlerine kıyasla daha fazla ön plana çıktıkları saptanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi BAP Birimi (KY0060416B29) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alzahrani Y, Kuşvuran A, Alharby HF, Kuşvuran S, Rady MM. 2018. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154: 187-196. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.02.057
- Anonim, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim istatistikleri. <http://tuik.gov.tr/>.
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15. doi: 10.1104/pp.24.1.1
- Ashraf M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27(1): 84-93. doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.09.003
- Cakmak I, Marschner H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98: 1222-1227. doi: 10.1104/pp.98.4.1222
- Cakmak I, Atli M, Kaya R, Evliya H, Marschner H. 1994. Association of high light and zinc deficiency in cold-induced leaf chlorosis in grapefruit and mandarin trees. *Journal of Plant Physiology*, 146(3): 355-360. Doi: 10.1016/S0176-1617(11)82068-7
- Çerçi S. 2012. Kuraklık stresinin değişik turuncgil anaçlarında bazı fotosentetik parametreler ve bitki besin maddeleri konsantrasyonları üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 83s.
- Çırak C, Esendal E. 2006. Soyada Kuraklık Stresi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21(2): 231-237.
- Dasgan HY, Koc S. 2009. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2): 363-372.
- Dasgan HY, Bayram M, Kuvuran S, Coban GA, Akhoundnejad Y. 2018. Screening of tomatoes for their resistance to salinity and drought stress. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8(24): 31-37.
- Dhanda SS, Sethi GS. 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 139: 319-326. doi: 10.1017/S0021859602002526
- Dixit V, Pandey V, Shyam R. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52(358): 1101-1109. doi: 10.1093/jexbot/52.358.1101
- Dlugokecka E, Kacperska-Palacz A. 1978. Re-examination of electrical conductivity method for estimation of drought injuries. *Biologia Plantarum*, 20: 262-267. doi: 10.1007/BF02922681
- Eren Guzelgun B, Ince E, Gurer-Orhan H. 2018. In vitro antioxidant/prooxidant effects of combined use of flavonoids. *Natural Product Research*, 32(12): 1446-1450. doi: 10.1080/14786419.2017.1346637
- Es-Safi NE, Ghidouche S, Ducrot PH. 2007. Flavonoids: hemisynthesis, reactivity, characterization and free radical scavenging activity. *Molecules*, 12(9): 2228-2258. doi: 10.3390/12092228
- Fan S, Blake TJ. 1994. Abscisic acid induced electrolyte leakage in woody species with contrasting ecological requirements. *Physiologia Plantarum*, 90(2): 414-419. doi: 10.1111/j.1399-3054.1994.tb00407.x

- Groß F, Durner J, Gaupels F. 2013. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-15. doi: 10.3389/fpls.2013.00419
- Jaleel CA, Manivannan P, Sankar B, Kishorekumar A, Gopi R, Somasundaram R, Panneerselvam R. 2007. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60(1): 110-116. doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.06.006
- Kalefetoğlu T, Ekmekeçi Y. 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *G. U. Journal of Science*, 18(4): 723-740.
- Kıran S, Özkay F, Kuşvuran Ş, Ellialtıoğlu ŞŞ. 2014. Tuz stresine tolerans seviyesi farklı domates genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında bazı özelliklerinde meydana gelen değişimler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(3): 41-48.
- Kiegle E, Moore CA, Haseloff J, Tester MA, Knight MR. 2000. Cell-type-specific calcium responses to drought, salt and cold in the *Arabidopsis* root. *The Plant Journal*, 23(2): 267-278. doi: 10.1046/j.1365-313x.2000.00786.x
- Kuşvuran Ş, Daşgan HY, Abak K. 2011. Farklı kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(3): 209-219.
- Kusvuran A, Kıran SU, Nazlı RI, Kusvuran S. 2015. Morphological response and ion regulation in maize (*Zea mays* L.) varieties under salt stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(1): 124-131.
- Kusvuran S, Kıran S, Ellialtıoğlu SS. 2016. Antioxidant Enzyme Activities and Abiotic Stress Tolerance Relationship in Vegetable Crops. In: Shanker AK, Shanker C (editors). *Abiotic and Biotic Stress in Plants- Recent Advances and Future Perspectives*, Intech, pp.481-506.
- Kusvuran S, Daşgan HY. 2017a. Effects of drought stress on physiological and biochemical changes in *Phaseolus vulgaris* L. *Legume Research*, 40(1): 55-62. doi: 10.18805/lr.v0i0.7025
- Kusvuran S, Daşgan HY. 2017b. Drought induced physiological and biochemical responses in *Solanum lycopersicum* genotypes differing to tolerance. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 16(6): 19-27. doi: 10.24326/asphc.2017.6.2
- Lakshmi Sahitya U, Krishna MSR, Sri Deepthi R, Shiva Prasad G, Peda Kasim D. 2018. Seed antioxidants interplay with drought stress tolerance indices in chilli (*Capsicum annum* L.) seedlings. *BioMed Research International*, 2018. doi: 10.1155/2018/1605096
- Latif F, Ullah F, Mehmood S, Khattak A, Khan AU, Khan S, Husain I. 2016. Effects of salicylic acid on growth and accumulation of phenolics in *Zea mays* L. under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 66(4): 325-332. doi: 10.1080/09064710.2015.1117133
- Leshem Y, Seri L, Levine A. 2007. Induction of phosphatidylinositol 3-kinase-mediated endocytosis by salt stress leads to intracellular production of reactive oxygen species and salt tolerance. *The Plant Journal*, 51: 185-197. doi: 10.1111/j.1365-313X.2007.03134.x
- Levitt J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses*. 2nd ed. New York: Academic Press, 698 p.
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.*, 11 (5): 591-592. doi: 10.1042/bst0110591
- Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3): 389-398. doi: 10.1006/anbo.1996.0134
- Martinière A, Fiche JB, Smokvarska M, Mari S, Alcon C, Dumont X, Hematy K, Jaillais Y, Nollmann M, Maurel C. 2019. Osmotic stress activates two reactive oxygen species pathways with distinct effects on protein nanodomains and diffusion. *Plant Physiology*, 179(4): 1581-1593. doi: 10.1104/pp.18.01065
- Meher, Shivakrishna P, Reddy KA, Rao DM. 2018. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi Journal of Biological Science*, 25(2): 285-289. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.04.008
- Michalak A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Pol. J. Environ. Stud.*, 15(4): 523-530.
- Mir RA, Somasundaram R, Panneerselvam R. 2019. Changes in Antioxidant Enzymes Activities Mitigates Deleterious Effects of ROS in *Panicum miliaceum* (L.) under Drought Stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 15(3): 81-91.
- Molina-Quijada DMA, Medina-Juárez LA, González-Aguilar GA, Robles-Sánchez RM, Gámez-Meza N. 2010. Phenolic compounds and antioxidant activity of table grape (*Vitis vinifera* L.) skin from northwest Mexico. *CyTA-Journal of Food*, 8: 57-63.
- Moreno-Galván AE, Cortés-Patiño S, Romero-Perdomo F, Uribe-Vélez D, Bashan Y, Bonilla RR. 2020. Proline accumulation and glutathione reductase activity induced by drought-tolerant rhizobacteria as potential mechanisms to alleviate drought stress in *Guinea grass*. *Applied Soil Ecology*, 147. doi: 10.1016/j.apsoil.2019.103367
- Nizamhoğlu NM, Nas S. 2010. The phenolic compounds in vegetables and fruit; structures and their importance. *Electronic Journal of Food Technology*, 5(1): 20-35.
- Okunlola GO, Olatunji OA, Akinwale RO, Tariq A, Adelusi AA. 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224: 198-205. doi: 10.1016/j.scienta.2017.06.020
- Qu X, Wang H, Chen M, Liao J, Yuan J, Niu G. 2019. Drought stress-induced physiological and metabolic changes in leaves of two oil tea cultivars. *Journal of the American Society Horticultural Science*, 144(6): 439-447. doi: 10.21273/JASHS04775-19
- Quiroga G, Erice G, Aroca R, Chaumont F, Ruiz-Lozano JM. 2017. Enhanced drought stress tolerance by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in a drought-sensitive maize cultivar is related to a broader and differential regulation of host plant aquaporins than in a drought-tolerant cultivar. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1056. doi: 10.3389/fpls.2017.01056
- Pagariya MC, Devarumatha RM, Kawar PG. 2012. Biochemical characterization and identification of differentially expressed candidate genes in salt stressed sugarcane. *Plant Science*, 184: 1-13. doi: 10.1016/j.plantsci.2011.12.002
- Ramachandra Reddy A, Chaitanya KV, Jutur PP, Sumithra K. 2004. Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 52(1): 33-42. doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.01.002
- Sadak A. 2018. Kuraklık stresi altındaki biber fidelerinde PGPR uygulamaların etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van*, s: 61.
- Sánchez FJ, De Andrés EF, Tenorio JL, Ayerbe L. 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*, 86(1): 81-90. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00121-7

- Sánchez-Rodríguez E, Rubio-Wilhelmi MM, Cervilla LM, Blasco B, Rios JJ, Rosales MA, Romero L, Ruiz JM. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1): 30-40. Doi: 10.1016/j.plantsci.2009.10.001
- Schubert S, Läuchli A. 1990. Sodium exclusion mechanisms at the root surface of two maize cultivars. *Plant Soil*, 123: 205-209. doi: 10.1007/BF00011269
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Talbi S, Romero-Puertas MC, Hernández A, Terrón L, Ferchichi A, Sandalio LM. 2015. Drought tolerance in a Saharian plant *Oudneya africana*: role of antioxidant defences. *Environmental and Experimental Botany*, 111: 114-126. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.11.004
- Tsai HJ, Shao KH, Chan MT, Cheng CP, Yeh KW, Oelmüller R, Wang SJ. 2020. *Piriformospora indica* symbiosis improves water stress tolerance of rice through regulating stomata behavior and ROS scavenging systems. *Plant Signaling & Behavior*, 15(2):172244. doi: 10.1080/15592324.2020.1722447
- Türkan İ, Bor M, Özdemir F, Koca H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168(1): 223-231. doi: 10.1016/j.plantsci.2004.07.032
- Veljović Jovanović S, Kukavica B, Vidović M, Morina F, Menckhoff L. 2018. Class III Peroxidases: Functions, Localization and Redox Regulation of Isoenzymes. In: Gupta D, Palma J, Corpas F. (editors). *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-75088-0_13
- Voor VM, Nkansah GO, Smith MS, Page ZC, Luther Z. 2018. Effects of different water regimes and poultry manure on growth, development and yield of hot pepper (*Capsicum annum* L.). *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 44(1): 32-57.