

Atf İçin: Dıraz Yıldırım E, Güneş H, 2021. Tuz ve Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Buğday Bitkisine (*Triticum aestivum* L.) Silikon Uygulamalarının Bazı Stres Parametreleri Üzerine Etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(4): 2559-2572.

To Cite: Dıraz Yıldırım E, Güneş H, 2021. The Effect of Silicon Applications on Some Stress Parameters of Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.) Grown Under Salt and Drought Stres. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(4): 2559-2572.

Tuz ve Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Buğday Bitkisine (*Triticum aestivum* L.) Silikon Uygulamalarının Bazı Stres Parametreleri Üzerine Etkisi

Emel DIRAZ YILDIRIM¹, Hakan GÜNEŞ^{1*}

ÖZET: Tuz ve kuraklık stresi gibi iki önemli abiyotik stres, bitkilerin gelişimini etkileyerek morfolojik, fizyolojik ve moleküler seviyede pek çok aksaklıklara neden olmaktadır. Silikonun biyotik ve abiyotik strese karşı etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, tuz ve kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen bir ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi olan Ceyhan-99'a 100 ppm ve 200 ppm silikon sulama suyuna katılarak bitkiler üzerindeki morfolojik karakterlere ve fotosentetik pigmentler üzerine etkisi araştırılmış ve optimal silikon konsantrasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Ceyhan-99 tuza toleransı düşük ve kuraklığa toleransı da orta seviyede bir ekmeklik buğday çeşididir. Silikon bitkilere toplamda 2 defa uygulanmıştır. Tuz stresi için bitkiler birinci hafta 100 mM, ikinci hafta 200 mM tuz sulama suyuna katılarak strese maruz bırakılmışlardır. Kuraklık stresi için bitkiler birer hafta arayla sulanarak kuraklığa maruz bırakıldı. Araştırmada bitki boyu, bitki ağırlığı, kök boyu, kök ağırlığı, bağıl su miktarı, klorofil a, klorofil b, karotenoid ve toplam klorofil miktarı tespit edilmiştir. Stres uygulanan gruplarda incelenen parametrelerin olumsuz yönde etkilendiği görülmüş fakat silikon uygulamaları ile büyüme parametreleri ve bağıl su miktarından kontrole yakın değerler elde edilmiştir. Kontrol gruplarına 100 ppm silikon uygulamasında kök ağırlığında değişim görülmezken, bitki boyu, bitki ağırlığı, kök ağırlığı gibi diğer parametrelerde istatistiksel olarak artış tespit edilmiştir. Fotosentetik pigmentler incelendiğinde stres altında klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarlarında kontrole göre azalış görülürken, karotenoid miktarında artış görülmüştür. Kontrol gruplarına silikon uygulamasında ise klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarında artış gözlenirken, karotenoid miktarında azalış saptanmıştır. Araştırma sonucunda çalışılan parametrelerde silikon uygulamalarının, kuraklık ve tuz stresinin zararlı etkilerinin azaltılmasına yardımcı olduğu, kurak ve tuzluluğun neden olduğu yarı kurak bölgelerde su kıtlığının şiddetini azaltarak buğday bitkisinin gelişmesini arttırabileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buğday, Ceyhan-99, Silikon, Abiyotik Stres, Fotosentetik Pigment

The Effect of Silicon Applications on Some Stress Parameters of Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.) Grown Under Salt and Drought Stres

ABSTRACT: Two important abiotic stresses, such as salt and drought stress, affect the growth of plants and cause many malfunctions at the morphological, physiological and molecular level. Silicone is known to be effective against biotic and abiotic stress. In this study, a bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Ceyhan-99 variety grown under salt and drought stress conditions, 100 ppm and 200 ppm silicon was added to irrigation water, and its effect was investigated on morphological characters and photosynthetic pigments on plants and the optimal silicon concentration was tried to be determined. Ceyhan-99 is a bread wheat variety with low salt tolerance and moderate drought tolerance. Silicon was applied to the plants 2 times in total. For salt stress, plants were exposed to stress by adding 100 mM salt in the first week and 200 mM salt in the second week. For drought stress, plants were exposed to drought by watering at one week intervals. In the study, plant height, plant weight, root height, root weight, relative water content, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid and total chlorophyll amount were determined. While no change was observed in root weight in 100 ppm silicon application to the control groups, a statistical increase was found in other parameters such as plant height, plant weight, and root weight. When photosynthetic pigments were examined, the amount of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll decreased under stress condition compared to the control but the amount of carotenoid increased. As a result of the research, silicon applications in the studied parameters helped to reduce the harmful effects of drought and salt stress, it is seen that it can increase the development of wheat plant by reducing the severity of water scarcity in semi-arid regions caused by drought and salinity.

Keywords: Wheat, Ceyhan-99, Silicon, Abiotic Stress, Photosynthetic Pigment

¹ Emel DIRAZ YILDIRIM ([Orcid ID: 0000-0001-5299-8122](https://orcid.org/0000-0001-5299-8122)), Hakan GÜNEŞ ([Orcid ID: 0000-0002-4097-4729](https://orcid.org/0000-0002-4097-4729)), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hakan GÜNEŞ, e-mail: guneshkn@hotmail.com

Bu çalışma Hakan Güneş'in Doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve buna karşılık ekilebilir tarım alanlarının sınıra dayanmış olması, tarımda birim alandan daha az girdi ile yüksek kaliteli daha fazla verim alabilme zorunluluğunu getirmiştir (Doğan ve ark., 2015).

Tarımsal verimlilik, çeşitli abiyotik faktörlerden dolayı olumsuz yönde etkilenmektedir. Sürdürülebilir üretim, küresel iklim değişikliklerine bağlı olarak meydana gelen düzensiz yağışlar, ekilebilir alan ve suyun daha az bulunması gibi nedenlerden dolayı verimini yitirmektedir (Takeda ve Matsuoka, 2008). Dünyanın gün geçtikçe daha sıcak ve daha kurak hale gelmesi nedeniyle, çevresel strese tolerans gösteren mahsullerin yüksek talep göreceği kaçınılmazdır (Battisti ve Naylor, 2009; Pradhan ve ark., 2015).

Olumsuz çevresel koşullar özellikle tarım ürünlerinin verimliliğinde önemli kayıplara neden olmaktadır. Çeşitli abiyotik faktörler arasında, tuzluluk ve kuraklık stresi diğer abiyotik streslerden daha fazla verim kaybına yol açmaktadır (Singh ve ark., 2008). Tuz ve kuraklık stresi daha geniş anlamıyla bitkilerde su stresi meydana getirmektedir. Hücre sinyalizasyonu bitki tepkilerini ve adaptasyonu kontrol ettiğinden, muhtemelen su stresi sinyallerinin yeryüzündeki florayı büyük ölçüde şekillendirdiğini söylemek abartı değildir (Rana ve ark., 2015; İnan ve ark. 2018).

Kuraklığa bağlı su stresine maruz kalan bitki, stomalarını kapatarak transpirasyon seviyesini en aza indirir. Bu yüzden de karbondioksit alınımının azalması ile fotosentez miktarında düşüşler gerçekleşmektedir. Bitki gelişiminde yararlanan karbonhidrat molekülleri ve enerji, fotosentez ile üretildiğinden bu düşüşler bitki gelişimi ve büyümesini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, bitki stomalarının kapanması, yaprak yüzey sıcaklığının artmasına neden olmakta ve dolayısıyla membran sisteminin hasarlanması sonucu hücre ölümleri ortaya çıkmaktadır (Farooq ve ark. 2009; Dolferus, 2014; Bat ve ark., 2020). Kuraklığa bağlı su stresi, bitkilerin canlılık faaliyetlerinin sürdürülmesinde rol oynayan genlerin ifadesindeki değişimler, bitkilere zarar verebilen veya strese karşı tolerans sağlayacak bir mekanizmanın parçası olan proteinlerin üretimi ve degradasyonundaki değişimler ve kuraklık stresine tolerans sağlayabilen yeni metabolitlerin sentezi için metabolizmanın değiştirilmesi gibi etkileşimli modifikasyonlara neden olabilmektedir (Babita ve ark., 2010; Mohammadi ve ark., 2012; Batlang ve ark., 2013; Kumari ve ark., 2013; Yıldız ve ark., 2020).

Tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerde verim kaybı görülmesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlar arasında, toprakta yüksek düzeyde bulunan Sodyum (Na^+) ve Klor (Cl^-) gibi iyonların toksik etki göstermesi, bitkilerin bünyesinde bulunan iyon dengesindeki bozulmalar, bitkilerin bir bölgesinden diğer bölgesine besin taşınmasındaki aksaklıklar, özellikle fotosentez ve solunum gibi fizyolojik işlevlerin zarar görmesi gösterilmektedir (Kara ve ark. 2011; İnan ve ark. 2018). Ayrıca, toprakta aşırı miktarda çözünebilir tuz bulunması, topraktaki çözünen maddelerin ozmotik potansiyelini azaltarak su açığına neden olarak kökleri çevreleyen ortamdaki su alınımını zorlaştırmaktadır (Rengasamy, 2010; Şen ve Sarsu, 2018). Toprakta bulunan tuzun miktarı, bitkilerin büyüme ve gelişimini farklı seviyede etkileyebildiği gibi değişik bitki türlerinin tepkileri de farklı olmaktadır (Ghoulam ve Fares 2001; İnan ve ark. 2018).

Kültür bitkilerinin kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına karşı farklı seviyelerde dayanıklılık gösteren genotiplere sahip oldukları bilinmektedir. Bitkisel üretim aşamasında tercih edilen genotiplerin de abiyotik stres koşullarına karşı tolerans seviyelerinin yetersiz olması bitkilerde birçok metabolik olayı olumsuz yönde etkilemekte ve ürün kalitesi ile verim kayıplarına sebep olmaktadır. Artan nüfus ve buna bağlı olarak her geçen gün artan gıda ihtiyacı her türlü çevre şartlarında yüksek verimli tahıl bitkilerinin üretim ihtiyacını doğurmuştur (Korkmaz ve Durmaz, 2017)

Buğday tarımı, insan beslenmesindeki temel besinlerin ham maddesi olması açısından, Dünya'da ve ülkemizde diğer tarımsal ürünlere oranla daha fazla önem arz etmektedir (Doğan ve ark., 2015). Buğday için tuzluluk ve kuraklığa bağlı su stresi faktörlerine direnç geliştirilmesi zaruri hale gelmiştir. Geçici çözümler tuzluluğun ve kuraklığın bitki üzerindeki olumsuz etkisini azaltmasına rağmen, bu çözümleri uygulamak her zaman kolay değildir (Rana ve ark., 2015; İnan ve ark. 2018). Bu nedenle, en etkili çözümlerden biri, tuz ve kuraklığa bağlı su stresine toleransı arttıran yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesidir (Mostafa, 2011).

Bitkilerde tuzluluğun ve kuraklığın olumsuz etkilerine karşı dışsal olarak hormonlar, büyüme düzenleyici bileşikler ve bazı elementler uygulanmaktadır. Silikon uygulamaları, stresin olumsuz etkilerini hafiflettiği ve strese toleransı arttırdığı için bitkilere uygulanması etkili bir yöntem olarak benimsenmiştir (Zhu ve Gong 2014; Zhang ve ark., 2020). Tuz stresi, metal toksisitesi, kuraklık stresi, radyasyon hasarı, besin dengesizliği, yüksek sıcak ve donma gibi birçok abiyotik stres üzerinde, stresin meydana getirdiği olumsuz durumların giderilmesinde etkili olduğu bilinmektedir (Feng Ma, 2004). Ayrıca abiyotik stres koşullarında silikon; daha iyi su alımı ve taşınmasında etkili olan fizyolojik değişikliklerde rol oynar, fonksiyonel moleküllerin zararlı oksidatif hasarını hafifletir, geliştirilmiş anti-oksidatif savunma yeteneği ile böceklerle ve patojenlere karşı daha iyi bitki bağışıklığı kazandırır (Ahmed ve ark, 2015). Bitki biyolojisinde yeri henüz tam olarak anlaşılmasa da silikonun bitkiler için yarı gerekli bir element olduğu görüşü yaygınlaşmaya başlamıştır (Pilon-Smits ve ark, 2009; Zhang ve ark., 2020).

Bu çalışmada, tuz ve kuraklık gibi iki önemli abiyotik stres koşullarında yetiştirilen buğday bitkisine iki farklı konsantrasyonda silikon uygulanarak bitkiler üzerindeki etkisini araştırmak ve optimal silikon konsantrasyonunu belirlemek amaçlanmıştır. Araştırmada eksojen uygulama yapılan bitkilerle kontrol gruplarının büyüme parametreleri, bağıl su içeriği ve fotosentetik pigment miktarları tespit edilmiş, tuz ve kuraklık stresinin etkileri değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Bitki Materyali

Çalışmamızda bitki materyali olarak bir ekmeklik buğday çeşidi olan *Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99 kullanılmıştır. Ceyhan 99 türünün seçmemizin nedeni, yüksek verimli ve ekmeklik kalitesi oldukça yüksek olmasıdır. Ayrıca tuza toleransı düşük, kuraklığa toleransı ise orta seviyede bir buğday çeşididir. Buğday tohumları 200 ml hacimli, içerisinde toprak, torf ve perlit (2:1:1) karışımı bulunan saksılara ekilmiştir. Bitkiler iklimlendirme odasında 24 ± 2 °C sıcaklıkta, % 55 nem oranı ve 16:8 sa gündüz/gece ortamında yetiştirilmiştir. Tuz ve kuraklık stresinde iki farklı silikon konsantrasyonu (100 ppm ve 200 ppm yapılan literatür araştırmalarına göre belirlenmiştir) uygulanarak toplam 9 grup oluşturulmuştur; 1- Kontrol Grubu ((K) Bitkiler normal koşullarda yetiştirilmiştir), 2- 100 ppm Silikon Kontrol Grubu ((100 ppm Si) Bitkilere sadece 100 ppm silikon uygulanmıştır), 3- 200 ppm Silikon Kontrol Grubu ((200 ppm Si) Bitkilere sadece 200 ppm silikon uygulanmıştır), 4-Kuraklık Stresi Kontrol Grubu ((KRS) Bitkiler kuraklık stresine maruz bırakılarak yetiştirilmiştir), 5- Kuraklık Stresi + 100 ppm Silikon Grubu ((KRS + 100 ppm Si) Kuraklık stresinde yetiştirilen bitkilere 100 ppm silikon uygulanmıştır), 6- Kuraklık Stresi + 200 ppm Silikon Grubu ((KRS + 200 ppm Si) Kuraklık stresinde yetiştirilen bitkilere 200 ppm silikon uygulanmıştır), 7. Tuz Stresi Kontrol Grubu ((K) Bitkiler tuz stresine maruz bırakılarak yetiştirilmiştir), 8. Tuz Stresi + 100 ppm Silikon Grubu ((TS-100ppm Si) Tuz stresinde yetiştirilen bitkilere 100 ppm silikon uygulanmıştır), 9. Tuz Stresi + 200 ppm Silikon Grubu ((TS-200ppm Si) Tuz stresinde yetiştirilen bitkilere 200 ppm silikon uygulanmıştır). Her bir grup için

10'ar saksıya 3'er tane tohum ekilmiş ve tohumlar 10. günden sonra her bir saksıda 1 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Buğday fideleri olgun iki yapraklı hale gelene kadar (14 gün) % 80 tarla kapasitesi ile sulanarak yetiştirilmiş, 14.gün sonunda stres uygulamalarına başlanmıştır.

Kontrol grubunda bitkiler, 14., 17., 21. ve 24. günlerde %80 tarla kapasitesi ile sulanmıştır. Tuz stresi uygulamasında, ilk hafta 100 mM ve ikinci hafta da 200 mM tuz (NaCl), sulama suyuna katılarak uygulanmıştır. Kuraklık stresinde, bitkiler sadece 14. ve 21. günlerde sulanarak birer hafta kuraklığa maruz bırakılmıştır. Silikon ise, bitkilere sadece 14. ve 21. günlerde toplam iki defa olmak üzere sulama suyuna katılarak uygulanmıştır. 28. günün sonunda bitkiler hasat edilmiştir.

Büyüme Parametreleri

Çalışmada farklı silikon dozlarının, stres koşulları altında buğday bitkisi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bitki boyu, bitki ağırlığı, kök boyu ve kök ağırlığı gibi büyüme parametreleri incelenmiştir. Bunu belirlerken de yapılan literatür araştırmalarında, buğdayda büyüme göstergeleri olarak belirtilen bitki kısımları alınmıştır. Her gruptan 12'şer adet bitki kullanılmıştır.

Bağlı Su İçeriği

Kontrol ve stres uygulanmış gruplardan 6 adet yaprak örneği alınarak (rastgele seçilen 6 ayrı bitki örneğinden), bu yapraklardan 5'er cm kesit alınıp yaş ağırlıkları ölçülmüştür. 6 sa boyunca Double-distillat-H₂O içinde petri kaplarında bekletilerek turgorlu hale gelmeleri sağlanmış, 70°C'de 72 sa etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıklar kaydedilmiştir. Her bir gruba ait yaprak örneklerinin bağlı su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Bağlı Su İçeriği (\%)} = [(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100 \quad (1)$$

YA=Yaş Ağırlık, KA=Kuru Ağırlık, TA=Turgorlu Ağırlık (Smart & Bingham, 1974).

Pigment İçeriği

Klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarı tayini için bitkilerinin üst yapraklarından 0.04 g alınarak 4 ml %80 aseton içerisinde homojenize edildikten sonra 12.000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Yönteme uygun olarak hazırlanan ekstraktların sırasıyla 663 nm, 645 nm ve 480 nm dalga boylarındaki maksimum absorpsiyon değerleri spektrofotometre cihazı (Agilent Rochester, NY, USA) ile ölçülmüştür. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Arnon, 1949; Fuleki ve Francis, 1968).

$$\text{Klorofil-a} = A_{663} \times 12.70 - A_{645} \times 2.69 \quad (2)$$

$$\text{Klorofil-b} = A_{645} \times 22.90 - A_{663} \times 4.68 \quad (3)$$

$$\text{Toplam Klorofil} = 20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663} \quad (4)$$

$$\text{Karotenoid} = A_{480} + A_{663} \times 0.114 - A_{645} \times 0.638/112.50 \quad (5)$$

İstatistiksel Analiz

Çalışmada denemeler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Hesaplamada kullanılan verilerin ortalaması; üç tekrarın ortalaması \pm standart sapma şeklinde verilmiştir. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde SPSS 17.0 paket programı ile Tukey testi uygulanmıştır. Çizelgelerde farklı harflerle ifade edilen değerler arasındaki farklılık, istatistiksel olarak $P < 0.05$ ve $P < 0.01$ düzeyinde önem seviyesini ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Buğdayda Kuraklık ve Tuz Stresi Altında Silikon Uygulamalarının Büyüme Parametreleri ve Bağlı Su İçeriğine Etkisi

Bu çalışmada *Triticum aestivum* L. Bitkisine silikon uygulamasının tuz ve kuraklık stresi altında bağlı su, büyüme parametreleri ve fotosentetik pigment miktarları üzerine etkisi araştırılmıştır. Kuraklık ve tuz stresine maruz bırakılan bitkilere farklı konsantrasyonlarda silikon uygulamasının büyüme parametrelerine etkisi Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Buğdayda kuraklık stresi altında silikon uygulamalarının büyüme parametreleri ve bağlı su içeriğine etkisi

Uygulama	Bitki Boyu	% Değişim	Bitki Ağırlığı	% Değişim	Kök Boyu	% Değişim	Kök Ağırlığı	% Değişim	Bağlı Su	% Değişim
K	36.94±2.70 ^b	0	1.38±0.10 ^{ab}	0	39.24±0.15 ^{ab}	0	0.82±0.05 ^a	0	81.41±2.98 ^b	0
100 ppm Si	38.73±2.50 ^{ab}	4.84	1.49±0.08 ^a	7.97	41.95±1.38 ^a	6.90	0.76±0.03 ^a	-7.31	85.35±0.95 ^{ab}	4.84
200 ppm Si	40.40±2.50 ^a	9.36	1.27±0.06 ^{ab}	-7.97	37.85±2.05 ^{ab}	-3.54	0.72±0.22 ^a	-12.19	89.07±2.32 ^a	9.40
KRS	31.68±2.50 ^c	-14.23	0.85±0.25 ^c	-38.4	26.01±4.66 ^c	-33.71	0.47±0.04 ^b	-42.68	74.60±1.56 ^c	-8.36
KRS + 100 ppm Si	33.62±1.10 ^c	-8.98	1.25±0.14 ^{ab}	-9.42	33.36±2.00 ^{ab}	-14.98	0.67±0.13 ^a	-18.29	49.22±1.05 ^d	-39.54
KRS + 200 ppm Si	36.84±2.30 ^b	-0.27	1.19±0.10 ^b	-13.76	35.73±1.21 ^b	-8.94	0.67±0.04 ^a	-18.29	83.08±1.97 ^b	2.05

*p<0.05; **p<0.01

(K) Kontrol Grubu, (100 ppm Si)100 ppm Silikon Kontrol Grubu, (200 ppm Si) 200 ppm Silikon Kontrol Grubu, (KRS) Kuraklık Stresi Kontrol Grubu, (KRS + 100 ppm Si) Kuraklık Stresi + 100 ppm Silikon Grubu, (KRS + 200 ppm Si) Kuraklık Stresi + 200 ppm Silikon Grubu.

Çizelge 1’e göre kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde, bitki boyu kontrol grubuna göre %14.23 azalış gösterirken, 100 ppm silikon (%8.98) ve 200 ppm silikon (%0.27) uygulamaları ile bu azalma düşüş göstermiştir. Kontrol grubuna uygulanan 100 ppm (% 4.84) ve 200 ppm (% 9.36) silikon ise bitki boyunda artışa sebep olmuştur. Bitki ağırlığı kontrol grubuna göre stres altında %38.4 azalırken, 100 ppm silikon uygulamasında %9.42 ve 200 ppm silikon uygulamasında %13.76 oranında azalmıştır. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilere 100 ppm silikon uygulandığında bitki ağırlığının kontrol grubu ile 200 ppm silikon uygulandığında ise bitki boyunun kontrol grubu ile istatistiksel olarak aynı sınıfta yer aldığı görülmektedir. Silikon uygulamaları stres grupları ile kıyaslandığında, stresin geriletici etkisini gidermede etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Maghsoudi ve ark., (2015) kuraklığa maruz bırakılarak yetiştirilen buğdaya uygulanan silikonun, bitki boyu, ağırlığı ve kuru ağırlık gibi parametrelerde stresin neden olduğu olumsuz koşulları iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Horuz (2018) silikonun bitkilerin yaprak ve saplarında pektin ve kalsiyum iyonlarıyla birleşerek silika-selüloz membran tabaka oluşturduğunu, bu sayede de yapraklarda transpirasyonu azaltarak kuraklığa direnç sağladığını bildirmiştir. Kızılgöçü ve ark., (2017) buğdayda çimlenme ve erken fide döneminde stres düzeyindeki artışın çimlenme hızı, fide uzunluğu ve sürgün boyu gibi özellikleri olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Qadir ve ark., (2016) farklı buğday türlerinde sap uzatma aşamasında %30 ve %70 tarla kapasitesi uygulandığında bitki boyunda sırasıyla %2–24 ve %1–16 oranında azalma olduğunu bildirmiştir. Literatürlerde kuraklığın buğdayda yaş ağırlık kaybına neden olduğu yer almaktadır (Nikolaeva ve ark., 2008, Özdemir ve ark., 2012, Dolferus, 2014, Maghsoudi ve ark., 2015, Kızılgöçü ve ark., 2017, Bat ve ark., 2020).

Kuraklık stresinin kök gelişimi üzerine etkisi incelendiğinde kök boyu stres altında %33.71 azalış gösterirken, silikon uygulamaları ile bu farklı azalış 100 ppm için %14.98, 200 ppm için %8.94’e kadar gerilemiştir. Bitkinin kök ağırlığı ise kuraklık stresinden oldukça etkilenmiş ve %42.68 oranında kayıp yaşanmıştır. Bu kayıp her iki silikon uygulaması ile %18.29’a indirgenmiştir. Kuraklık stresi uygulanan gruplar ile kontrol grupları karşılaştırıldığında stres altındaki bitkilerde kök boyu ve kök ağırlığının

azaldığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında kök boyu ve kök ağırlığı bakımından bütün gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1, $p<0.05$, $p<0.01$). Maghsoudi ve ark., (2015) kuraklık koşullarında silikon uygulanan buğday türlerinde kök boyu ve ağırlığının stresin neden olduğu olumsuz etkileri azalttığını ve kontrol grubuna yakın sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar çalışmamızı desteklemektedir.

Çizelge 2. Buğdayda tuz stresi altında silikon uygulamalarının büyüme parametreleri ve bağıl su içeriğine etkisi

Uygulama	Bitki Boyu	% Değişim	Bitki Ağırlığı	% Değişim	Kök Boyu	% Değişim	Kök Ağırlığı	% Değişim	Bağıl Su	% Değişim
K	36.94±2.70 ^b	0	1.38±0.10 ^{ab}	0	39.24±0.15 ^{ab}	0	0.82±0.05 ^a	0	81.41±2.98 ^b	0
100 ppm Si	38.73±2.50 ^{ab}	4.84	1.49±0.08 ^a	7.97	41.95±1.38 ^a	6.90	0.76±0.03 ^a	-7.31	85.35±0.95 ^{ab}	4.84
200 ppm Si	40.40±2.50 ^a	9.36	1.27±0.06 ^{ab}	-7.97	37.85±2.05 ^{ab}	-3.54	0.72±0.22 ^a	-12.19	89.07±2.32 ^a	9.40
TS	34.25±1.50 ^c	-7.28	0.83±0.11 ^c	-39.85	26.30±4.52 ^c	-32.97	0.43±0.05 ^c	-47.56	65.96±3.29 ^d	-18.97
TS + 100 ppm Si	35.91±2.70 ^{bc}	-2.78	1.18±0.01 ^b	-14.49	34.38±5.68 ^b	-12.38	0.65±0.08 ^{ab}	-20.73	76.16±1.40 ^c	-6.45
TS + 200 ppm Si	38.08±2.30 ^{ab}	3.08	1.25±0.16 ^b	-9.42	32.26±3.80 ^{bc}	-17.78	0.56±0.08 ^{bc}	-31.70	82.67±1.01 ^b	1.54
* $p<0,05$; ** $p<0,01$										

(K) Kontrol Grubu, (100 ppm Si) 100 ppm Silikon Kontrol Grubu, (200 ppm Si) 200 ppm Silikon Kontrol Grubu, (TS) Tuz Stresi Kontrol Grubu, (TS + 100 ppm Si) Tuz Stresi + 100 ppm Silikon Grubu, (TS + 200 ppm Si) Tuz Stresi + 200 ppm Silikon Grubu.

Çalışmamızda tuz stresi koşullarında yetiştirilen buğday bitkilerinin büyüme parametrelerinin değişimleri Çizelge 2’de verilmiştir. Stres koşulları altında bitki boyu kontrol grubuna göre azalış (%7.28) göstermiş, 100 ppm silikon uygulamasında bu azalış daha düşük (%2.78) iken, 200 ppm silikon uygulamasında kontrol grubuna göre artış (%3.08) olduğu tespit edilmiştir. Bitki ağırlığı kontrol grubuna göre tuz stresi altında %39.85, 100 ppm silikon uygulamasında %14.49 ve 200 ppm silikon uygulamasında % 9.42 azalmıştır. Normal koşullarda bitki boyu 200 ppm silikon uygulanan bitkilerde en yüksek tespit edilirken, bitki ağırlığı 100 ppm silikon uygulanan gruplarda en yüksek tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde bitki ağırlığı ve bitki boyu açısından anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$, $p<0.01$). Sonuçlarımıza göre tuz stresi altında silikon uygulamalarının bitki boyu ve ağırlığında strese toleransı arttırdığı görülmektedir. Ghonaim ve ark., (2020) buğdayda tuz stresinin bitki boyu ve ağırlığına olumsuz etkisi olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde Şenay ve ark., (2005), Özdemir ve ark., (2012) tuzluluğun fide boyu, kök uzunluğu ve bitki ağırlığının kontrol gruplarına göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızla uyumlu olarak Azeem ve ark., (2015) buğday tohumuna silikon uygulanarak yetiştirilen bitkilerin bitki boyu ve ağırlığının Saqib ve ark. (2008) ise kök ve sürgün ağırlığının kontrol gruplarına göre daha yüksek olduğunu, tuz stresinde silikon uygulanan bitkilerde de stresin olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığını, Ahmad ve ark. (1992) tuz stresi altında silikon uygulamaları yapılan grupların sürgün ve köklerinin kontrole yakın değerlere sahip olduğunu bildirmiştir. Horuz ve Korkmaz (2013) çeltiklerde silikon gübrelemesinin toprakta Na-silikat oluşturarak Na miktarını azalttığını böylece tuzların zararlı etkilerini indirgediğini bildirmişlerdir.

Tuz stresi altında kök boyu kuraklık stresi koşullarına benzer şekilde etkilenmiş, kontrole göre %32.97 azalış kaydedilmiştir. Bitkinin kök ağırlığı ise daha fazla etkilenmiş, kontrole göre %47.56 azalış tespit edilmiştir. Si uygulamaları kök gelişimindeki kayıpları azaltmada etkili olmuş, 100 ppm Si uygulaması, 200 ppm Si uygulamasına göre daha etkili bulunmuştur. Sonuçlarımıza benzer şekilde Tuna ve ark., (2008) tuzlu ortamda düşük konsantrasyon silikon uygulamasının kök ağırlığını arttırmada, iki katı konsantrasyonda ise sürgün ağırlığını arttırmada daha etkili olduğunu bildirmiştir. Tuzluluk stresinde kuraklık stresine benzer şekilde stresli bitkiler kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, kök boyu ve kök ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir. Tuz stresi altında kök boyu ve kök ağırlığı bakımından bütün

gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Azeem ve ark., (2015) tuz stresi altında yetiştirdikleri buğdayda kök gelişiminin düşük seviyede olduğunu, silikon uygulanan gruplarda ise kontrol gruplarına daha yakın kök gelişiminin tespit edildiğini bildirmişlerdir. Bu sonuç bulgularımızı desteklemektedir.

Literatürler incelendiğinde tuz ve kuraklık stresinin buğdayda kök gelişimini olumsuz etkilediği görülmektedir (Şenay ve ark., 2005; Özdemir ve ark., 2012; Kızılgöçü ve ark., 2017; Ghonaim ve ark., 2020). Çalışmamızda stres koşullarında bitkilere uygulanan silikonun, stresin kök gelişimi üzerindeki geriletici rolünü durdurmaya yönelik etkileri olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 1 ve Çizelge 2'ye göre bağıl su içeriğinin kontrol gruplarındaki değişimleri incelendiğinde, 200 ppm silikon uygulanan gruplarda bağıl su içeriğinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık ve tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde, bağıl su içeriğinin önemli miktarda düştüğü görülmektedir. Özellikle kuraklığa maruz bırakılan bitkiler daha fazla etkilenmiştir. Uygulanan silikon miktarı arttıkça bitkilerin bağıl su içeriğinin de arttığı gözlenmiştir. Bağıl su bakımından bütün gruplar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1, Çizelge 2, $p < 0.01$). Çalışmamıza benzer şekilde literatürlerde su ve kuraklık stresine maruz bırakılan buğday fidelerinde bağıl su içeriğinin, kontrol gruplarına göre daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Das ve ark., 2017; Ahmed ve ark., 2020a; Ahmed ve ark., 2020b). Buğdayda silikon uygulaması ile yapılan çalışmalar incelendiğinde ise bor stresi altında Erkan (2019) ve kuraklık stresi koşullarında (Gong ve ark. 2005; Özdemir ve ark., 2012; Maghsoudi ve ark., 2015) yetiştirilen buğday bitkilerine silikon uygulanmasının bağıl su içeriğini arttırdığı bildirilmiştir. Ahmed ve ark., (2015) kuraklık stresi koşullarında buğday tohumuna üç farklı formda silikon (silisik asit, sodyum silikat ve silika jel) uygulamış ve bağıl su içeriği yüzdesi en yüksek bizim de çalışmamızda kullandığımız sodyum silikatta tespit edilmiştir. Öncel ve Keleş (2002), tuz stresinde yetiştirilen buğdaylarda yüksek oranda turgor kaybı olduğunu ve buna bağlı olarak da bağıl su içeriğinin stres koşullarında önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilere uygulanan silikon, bağıl su içeriğine etki ederek, stresin neden olduğu inhibisyonu giderdiği görülmektedir. Sonuçlarımız bu konuda ki literatürlerle uyumludur.

Buğdayda Kuraklık ve Tuz Stresi Altında Silikon Uygulamalarının Fotosentetik Pigmentler Üzerine Etkisi

Buğdayda kuraklık stresi ve tuz stresi altında silikon uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi incelendiğinde, fotosentetik pigment miktarlarının, kontrol gruplarına göre önemli derecede artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3, Çizelge 4, $p < 0.01$). Çalışmamız sonucunda elde edilen verilere göre, stres uygulanmayan kontrol gruplarında klorofil a, karotenoid ve toplam klorofil miktarları 100 ppm silikon uygulanan bitkilerde, 200 ppm silikon uygulanan bitkilere göre daha fazla miktarda tespit edilmiştir.

Klorofil a, klorofil b ve bunlara bağlı olarak toplam klorofil miktarları kuraklık stresi uygulanan bitkilerde kontrol grubuna göre düşük miktarda tespit edilmiştir. Yüzde değişimleri incelendiğinde kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde toplam klorofil miktarı kontrol grubuna göre %10.42 azalırken, 100 ppm silikon uygulanan gruplarda %1.61, 200 ppm silikon uygulanan gruplarda ise %16.77 oranında artmıştır. Klorofil a ve klorofil b de benzer şekilde yüzde değişimler tespit edilmiştir. Sonuçlarımıza benzer şekilde, Arslan (2018) kuraklık stresine maruz bırakılan buğday ve mısırdaki klorofil a ve klorofil b miktarının düştüğünü, Ahmed ve ark., (2020) su stresine maruz bırakılan buğdayda stresin şiddeti arttıkça klorofil miktarlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 3. Buğdayda kuraklık stresi altında silikon uygulamalarının pigment içeriği üzerine etkisi

Uygulama	Klorofil a	% Değişim	Klorofil b	% Değişim	Karotenoid	% Değişim	Toplam Klorofil	% Değişim
K	20.28 ± 1.57 ^{bc}	0	8.87 ± 1.13 ^{bc}	0	1.71 ± 0.17 ^{ab}	0	29.15 ± 2.59 ^{cd}	0
100 ppm Si	23.55 ± 0.67 ^a	16.12	9.99 ± 0.33 ^{ab}	12.62	1.60 ± 0.08 ^{bc}	-6.43	33.55 ± 0.95 ^{ab}	15.09
200 ppm Si	21.94 ± 1.40 ^{ab}	8.19	10.84 ± 1.88 ^a	22.20	1.49 ± 0.12 ^c	-12.86	32.78 ± 3.20 ^{abc}	12.45
KRS	18.01 ± 1.37 ^c	-16.96	8.10 ± 0.71 ^c	-8.68	1.90 ± 0.10 ^a	11.11	26.11 ± 2.04 ^d	-10.42
KS + 100 ppm Si	20.52 ± 1.35 ^b	1.18	9.10 ± 0.74 ^{abc}	2.59	1.84 ± 0.11 ^a	7.60	29.62 ± 2.09 ^{bcd}	1.61
KS + 200 ppm Si	23.59 ± 1.23 ^a	16.32	10.45 ± 0.50 ^{ab}	17.81	1.53 ± 0.12 ^{bc}	-10.52	34.04 ± 1.73 ^a	16.77
** p<0.01	**		**		**		**	

(K) Kontrol Grubu, (100 ppm Si)100 ppm Silikon Kontrol Grubu, (200 ppm Si) 200 ppm Silikon Kontrol Grubu, (KRS) Kuraklık Stresi Kontrol Grubu, (KS + 100 ppm Si) Kuraklık Stresi + 100 ppm Silikon Grubu, (KS + 200 ppm Si) Kuraklık Stresi + 200 ppm Silikon Grubu.

Kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde, tilakoid membranlar hücrelerin dehidrasyonu sonucu parçalanmakta buna bağlı olarak klorofil miktarları azalmaktadır (Kalaji ve ark., 2016). Kuraklığa bağlı olarak bitkilerde su azlığından dolayı gerçekleşen klorofil kaybı oksidatif stresin tipik bir belirtisi olarak düşünülmekte stres altındaki bitkilerde klorofil içeriğindeki azalma, azalan RuBisCo miktar ve aktivitesi, fotosentetik elektron transportu ile fotofosforilasyondaki bu işlevlerle ilişkili metabolitlerin düzeylerindeki azalmadan kaynaklanabilmektedir (Fu ve Huang, 2001; Flexas ve Medrano, 2002; Parry ve ark., 2002; Anjum ve ark., 2011; Marcinska ve ark., 2013; Arslan, 2018; Yavaş ve ark., 2019).

Khadka ve ark., (2020)'e göre, daha yüksek klorofil içeriğine ve yavaş klorofil bozunmasına sahip buğday çeşitlerinin potansiyel olarak kuraklığa daha toleranslı olduğunu, bu nedenle, klorofil içeriğinin, kuraklık toleransı ve daha yüksek tane verimi için bir tespit aracı olarak kullanılabilir önemli bir özellik olduğunu bildirmişlerdir. Khayatnezhad ve ark., (2011) kuraklığa duyarlı buğday çeşitlerinin klorofil içeriğinde kayıplar olduğunu, toleranslı çeşitlerin ise stres altında daha yüksek klorofil içeriğine sahip olduklarını bildirmişlerdir. Silikon uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen buğday bitkisi üzerine etkilerine yönelik literatürler incelendiğinde klorofil pigment miktarının silikon uygulanan bitkilerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Gong ve ark., 2005; Pei ve ark., 2010; Maghsoudi ve ark., 2015; Ma ve ark., 2016; Bukhari ve ark., 2020).

Sonuçlar karotenoid miktarı bakımından incelendiğinde, yalnızca silikon uygulanan bitkilerde, kontrol grubuna göre konsantrasyon arttıkça miktarda azalma olmuştur. Kontrol grupları ile kuraklık stresi uygulanan bitkiler karşılaştırıldığında, stres uygulanan gruplarda karotenoid miktarının arttığı görülmüştür. Kuraklık stresinde 100 ppm silikon uygulanan bitkilerde karotenoid miktarı %7.60 daha yüksek bulunurken, 200 ppm silikon uygulanan bitkilerde %10.52 azalış tespit edilmiştir. Kontrol grupları ile kuraklık stresinde silikon uygulanan gruplarda karotenoid miktarlarının değişimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge3, p<0.01). Bukhari ve ark., (2020) kuraklık stresinde yetiştirilen iki farklı buğdayda karotenoid miktarının stres durumunda arttığını tespit etmişlerdir. Literatürlerde karotenoidlerin sadece bitkisel pigmentlerden biri olmadığı aynı zamanda oksidatif stres toleransında rol oynayan önemli antioksidanlar olarak bilindiği yer almaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Kaya ve İnan (2018) kuraklık stresine maruz kalan tütün bitkisinde karotenoid içeriğinin kontrole kıyasla tüm stres gruplarında arttığını bildirmiştir. Farklı stres koşullarında karotenoid içeriğinin arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Keleş ve Öncel, 2002; Kaya ve İnan, 2017; Kaya ve İnan, 2018).

Tuz stresi uygulanan bitkilerde, karotenoid dışındaki fotosentetik pigment miktarlarının kontrol gruplarına göre azaldığı tespit edilmiştir. Yüzde değişimleri incelendiğinde, tuz stresine maruz bırakılan gruplarda toplam klorofil miktarı %13.86 azalırken, tuz stresi ile birlikte 100 ppm silikon uygulanan gruplarda %18.32, 200 ppm silikon uygulanan gruplarda %33.72 oranında arttığı tespit edilmiştir. Tuz

stresi uygulanan gruplar ile kontrol grupları karşılaştırıldığında, en yüksek klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarları, tuz ile 200 ppm silikon uygulanan bitkilerde saptanmıştır. Kontrol grupları ile tuz stresinde Si uygulanan bitkilerde fotosentetik pigment miktarlarının değişimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir (Çizelge4, $p < 0.05$, $p < 0.01$). Çalışmamızda tuz stresi ve kuraklık stresinin fotosentetik pigmentler üzerine etkilerinin benzer olduğu görülmektedir. Tuz stresi uygulanan gruplar, karotenoid miktarı bakımından kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, stres uygulanan gruplarda artış tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde, kontrol grupları ile tuz stresi uygulanan gruplar arasında karotenoid miktarı bakımından anlamlı farklar görülmektedir (Çizelge 4, $p < 0.01$). Bütün fotosentetik organizmalarda, fotosentez reaksiyonlarının kusursuz bir şekilde devam edebilmesi için karotenoidler ya aşırı eksitasyon enerjisini ısı olarak dağıtarak ya da reaktif oksijen türlerini uzaklaştırıp lipid peroksidasyonunu azaltarak fotokoruyucu görev üstlenirler (Gill ve Tuteja, 2010; Arslan, 2018). Bundan dolayı stres uygulanan bitkilerde karotenoid miktarının arttığını söyleyebiliriz.

Çizelge 4. Buğdayda tuz stresi altında silikon uygulamalarının pigment içeriği üzerine etkisi

Uygulama	Klorofil a	% Değişim	Klorofil b	% Değişim	Karotenoid	% Değişim	Toplam Klorofil	% Değişim
K	20.28 ± 1.57 ^d	0	8.87 ± 1.13 ^{cd}	0	1.71 ± 0.17 ^{bc}	0	29.15 ± 2.59 ^c	0
100 ppm Si	23.55 ± 0.67 ^{bc}	16.12	9.99 ± 0.33 ^{bc}	12.62	1.60 ± 0.08 ^{cd}	-6.43	33.55 ± 0.95 ^b	15.09
200 ppm Si	21.94 ± 1.40 ^{cd}	8.19	10.84 ± 1.88 ^{ab}	22.20	1.49 ± 0.12 ^d	-12.86	32.78 ± 3.20 ^b	12.45
TS	16.86 ± 0.50 ^e	-16.86	8.25 ± 0.41 ^d	-6.98	1.82 ± 0.08 ^b	6.43	25.11 ± 0.68 ^d	-13.86
TS + 100 ppm Si	24.07 ± 1.09 ^b	18.68	10.42 ± 0.33 ^{abc}	17.47	2.23 ± 0.12 ^a	30.41	34.49 ± 1.47 ^b	18.32
TS + 200 ppm Si	26.96 ± 1.43 ^a	32.93	12.02 ± 0.88 ^a	35.51	1.71 ± 0.10 ^{bc}	0	38.98 ± 2.28 ^a	33.72
** $p < 0.01$	**		**		**		**	

(K) Kontrol Grubu, (100 ppm Si) 100 ppm Silikon Kontrol Grubu, (200 ppm Si) 200 ppm Silikon Kontrol Grubu, (TS) Tuz Stresi Kontrol Grubu, (TS + 100 ppm Si) Tuz Stresi + 100 ppm Silikon Grubu, (TS + 200 ppm Si) Tuz Stresi + 200 ppm Silikon Grubu.

Öncel ve Keleş (2002) tuz stresinde yetiştirilen buğdayların klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarlarının kontrol gruplarına göre önemli derecede azaldığını bildirmişlerdir. Liu ve ark., (2018) klorofil içeriğindeki kaybın, klorofil biyosentezi için enzimleri kodlayan genlerin ekspresyonunun azalmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ali ve ark., (2019) tuz stresinde yetiştirilen buğday genotiplerinde silikon uygulamasının klorofil miktarlarını arttırdığını bildirmiştir. Kaya ve ark. (2008), tuz stresi altında yetiştirilen buğday bitkilerinde silikon uygulamasının bitki kuru maddesi ve klorofil kapsamı üzerine negatif etkileri düzelttiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmalar sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Balakhnina ve Nosalewicz (2012), silikonun bitkilerde koruyucu rollerinden biri olarak, epidermisin kalınlaşmasıyla birlikte klorofil miktarının artması olarak bildirmişlerdir.

Frew ve ark., (2018) tuz, kuraklık, ağır metal ve mekanik stres gibi streslere maruz kalarak yetiştirilen bitkilere silikon uygulanmasının, stresin neden olduğu inhibisyonun ortadan kaldırılmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca literatürlerde bitki çeşitlerine göre tuzluluktan etkilenme sınırının, gelişme dönemlerine göre de değiştiği (Shannon, 1985), tahılların vejetatif ve erken dönemde tuza daha hassas olduğu (Shannon, 1984), ilk gelişme döneminde buğday çeşitleri arasında tuza tolerans bakımından önemli farklılıklar belirlendiğini bildirilmiştir (Veli ve ark., 1994).

SONUÇ

Bilinen tüm yaşam formları için en önemli yaşam sıvısı olan su, biyokimyasal aktivitelerin gerçekleştiği ortam olması nedeni ile zaruri bir kaynaktır. Bitkilerde büyüme, gelişme ve verim, topraktaki alınabilir suyun uygun düzeyde bulunmasına ve ozmotik dengenin olmasına bağlıdır. Yaptığımız çalışma ile buğday bitkisi hem kuraklığa hem de tuz ile ozmotik çözelti oluşturularak su

kıtlığına maruz bırakılmıştır. İki farklı silikon konsantrasyonu denenerek, incelenen parametreler değerlendirilmiş, her iki stres koşulu için optimum konsantrasyon belirlenmeye çalışılmıştır. Stres uygulanan gruplardaki bitkilerde büyüme ve gelişmenin olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Stres ortamlarında yetiştirilen buğday bitkilerinde silikon uygulamalarının, bitkinin büyümesinde ve gelişmesinde, bağıl su içeriğinde ve fotosentetik pigment miktarlarında strese toleransı arttırmaya yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, kurak ve tuzluluğun neden olduğu yarı kurak bölgelerde silikonun su kıtlığının şiddetini azaltarak buğday bitkisinin gelişmesini arttırabileceği görülmektedir. Her iki silikon konsantrasyonunda da, bariz şekilde stresin olumsuz etkilerinin azaltmaya yönelik tepkiler tespit edilmiştir. Stres uygulanan kontrol grupları ile silikon uygulanan gruplar arasında büyüme parametreleri, bağıl su ve pigment içeriğinde önemli farklar varken, farklı konsantrasyonlardaki silikon uygulamaları arasında büyük farklar olmayıp, incelenen parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak hem 200 ppm hem de 100 ppm silikon uygulaması ile olumlu sonuçlar elde edilmiş olup, düşük doz uygulama kullanılması hem maliyet hem de doğala yakınlık açısından sonraki çalışmalar için önerilmektedir.

Günümüzde hızlı nüfus artışı, değişen iklim koşulları ve artan tuzluluk gibi türümüzün karşı karşıya kaldığı çoklu tehditler, silikon ile mahsul iyileştirme araştırmalarına yönelimin hızlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma bir ön deneme niteliğinde olup, silikon ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılara kaynak oluşturacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2018/2-40 D Nolu proje kapsamında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Çalışmamızda, *Triticum aestivum* Ceyhan-99 tohumlarını temin ettiğimiz KSÜ Ziraat Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Ziya Dumlupınar'a, laboratuvar imkanlarından faydalandığımız Prof. Dr. Şengül Karaman'a, ÜSKİM çalışanlarına ve KSÜ-BAP birimine teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Bu makalede yazarlar arasında kişisel veya mali açıdan çıkar çatışması yoktur.

Yazar Katkısı

Bu makalede, fikir oluşturulması, denetleme, kaynak oluşturulması, malzeme ve laboratuvar temini ve eleştirel inceleme Emel DIRAZ YILDIRIM tarafından yapılmıştır. Tasarım ve dizayn, veri toplama ve işleme, analiz ve yorum, literatür taraması ve makalenin yazımı Hakan GÜNEŞ tarafından yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahmad R, Zaheer SH, Ismail S, 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Science, 85: 43-50.
- Ahmed HGM, Zeng Y, Yang X, Anwaar HA, Mansha MZ, Hanif CMS, İkrım K, Ullah A, Alghanem SMS, 2020. Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho-physiological and chlorophyll indices at seedling stage. Saudi Journal of Biological Sciences, 27: 2116-2123.
- Ahmed M, Qadeer U, Ahmed ZI, Hassan F, 2015. Improvement of wheat (*Triticum aestivum*) drought tolerance by seed priming with silicon. Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650340.2015.1048235.
- Ahmed K, Shabbir G, Ahmed M, Shah KN, 2020. Phenotyping for drought resistance in bread wheat using physiological and biochemical traits. Science of the Total Environment, 729, 139082.

- Ali A, Haq T, Mahmood R, Jaan M, Abbas, MN, 2019. Stimulating the Anti-Oxidative Role and Wheat Growth Improvement Through Silicon Under Salt Stress. *Silicon*, 11: 2403-2406.
- Anjum SA, Xie X, Wang L, Saleem MF, Man C, Lei W, 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.
- Arslan Ö, 2018. Su Kıtlığına Maruz Bırakılmış C3 ve C4 Bitkilerinin Fotosentetik Aktivitelerinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4): 47-54.
- Azeem M, Iqbal N, Kausar S, Javed MT, Akram S, Sajid MA, 2015. Efficacy of silicon priming and fertigation to modulate seedling's vigor and ion homeostasis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 14367-14371.
- Babita M, Maheswari M, Rao L M, Shanker AK, Rao DG, 2010. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. *Environmental and Experimental Botany*, 69: 243-249.
- Balakhnina TI, Nosalewicz M, 2012. Effect of silicon on growth processes and adaptive potential of barley plants under optimal soil watering and flooding. *Plant Growth Regulation*, 67 (1); 35-43
- Bat M, Tunçtürk R, Tunçtürk M, 2020. Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.) Bitkisinde Kuraklık Stresi ve Deniz Yosunu Uygulamalarının Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23 (1); 99-107.
- Batlang U, Baisakh N, Ambavaram MM, Pereira A, 2013. Phenotypic and physiological evaluation for drought and salinity stress responses in rice. *Methods in Molecular Biology*, 956; 209-225.
- Battisti DS, Naylor RL, 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323; 240-244.
- Bhargava S, Sawant K, 2013. Drought Stress Adaptation: Metabolic Adjustment and Regulation of Gene Expression. *Plant Breed*, 132: 21-32.
- Bukhari MA, Ahmad Z, Ashraf MY, Afzal M, Nawaz F, Nafees M, Jatoi WN, Malghani NA, Shah AN, Manan A, 2020. Silicon Mitigates Drought Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Through Improving Photosynthetic Pigments, Biochemical and Yield Characters, *Silicon*, DOI 10.1007/s12633-020-00797-4
- Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C, 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103; 551-560
- Das B, Pargal S, Sahoo RN, Krishna G, 2017. Comparison of different uni- and multi-variate techniques for monitoring leaf water status as an indicator of water-deficit stress in wheat through spectroscopy. *Biosystem Engineering*, 160; 69-83.
- Doğan Z, Arslan S, Berkman AN, 2015. Türkiye'de Tarım Sektörünün İktisadi Gelişimi ve Sorunları: Tarihsel Bir Bakış. *Niğden Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1); 29-41.
- Dolferus R, 2014. To Grow or Not to Grow: A Stressful Decision for Plants. *Plant Science*, 2229: 247-261.
- Erkan İE, 2019. Effect of Silicon Application on Wheat Under Boron Stress. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 23(3); 743-747.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA, 2009. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29; 185-212.
- Flexas J, Medrano H, 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 83; 183-189.
- Fu J, Huang B, 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 45; 105-114.
- Ghonaim MM, Mohamed HI, Omran AAA, 2020. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) salt stress tolerance using physiological parameters and retrotransposon-based markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 10; 1007-1072.
- Ghoulam CK Fares K, 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beat (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology*, 29; 357- 364.
- Gill SS, Tuteja N, 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48; 909-930.

- Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S, Zhang C, 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169; 313–321.
- Horuz A, 2018. Silisyumun bitki gelişimine olan etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2); 151 – 163.
- Horuz A, Korkmaz A, Karaman MR, 2013. Çeltik Topraklarının Silisyumlu Gübrelemeye Tepkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19(4): 268-280
- İnan B, Emir O, Doğan R, Çarpıcı EB, 2018. Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Hatlarının Çimlenme Döneminde Tuz Stresine Tepkileri. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 32(1): 69-78.
- Kalaji HM, Jajoo A, Oukarroum A, Brestic M, Zivcak M, Samborska IA, Cetner MD, Łukasik I, Goltsev V, Ladle RJ, 2016. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Actaphysiologiae plantarum*; 38 (4): 102.
- Kalefetoğlu T, Ekmekçi Y, 2005. The effect of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18 (4): 723- 740.
- Kara B, Akgün İ, Altındal D, 2011. Tritikale genotiplerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuzluluğun (NaCl) etkisi. *Selçuk Üniversitesi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1):1-9.
- Kaya A, İnan M, 2017. Tuz (NaCl) Stresine Maruz Kalan Reyhan (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisinde Bazı Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Salisilik Asidin Etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3): 332-342.
- Kaya A, İnan M, 2018. Kuraklık ve Tuz Streslerine Maruz Kalan Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) Bitkisinde Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Melatoninin Etkileri Armağan. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4): 559-564.
- Kaya C, Tuna L, Higgs D, 2006. Effect of Silicon on Plant Growth and Mineral Nutrition of Maize Grown Under Water Stress Condition. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1469-1480.
- Khadka K, Earl HJ, Raizada MN, Navabi A, 2020. A Physio-Morphological Trait-Based Approach for Breeding Drought Tolerant Wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11:715.
- Khayatnezhad M, Zaeifzadeh M, Gholamin R, 2011. Effect of endseason drought stress on chlorophyll fluorescence and content of antioxidant enzyme superoxide dismutase enzyme (SOD) in susceptible and tolerant genotypes of durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 6397–6406.
- Kızılgöçü F, Tazebay N, Namlı M, Albayrak Ö, Yıldırım M, 2017. The drought effect on seed germination and seedling growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture Environment and Food Science*, 1: 33–37.
- Korkmaz H, Durmaz A, 2017. Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine verdiği cevaplar. *GÜFBED*, 7 (2): 192-207
- Koşkeröğlu S, 2006. Tuz ve su stresi altındaki mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde prolin birikim düzeyleri ve stres parametrelerinin araştırılması. *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Kumari S, Roy S, Singh P, Singla-Pareek SL, Pareek A, 2013. Cyclophilins: proteins in search of function. *Plant Signaling and Behavior*, 8(1): e22734.
- Liu X, Li L, Li M, Su L, Lian S, Zhang B, 2018. AhGLK1 affects chlorophyll biosynthesis and photosynthesis in peanut leaves during recovery from drought. *Scientific Reports*, 8:2250.
- Ma D, Sun D, Wang C, Qin H, Ding H, Li Y, Guo T, 2016. Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35: 1–10.
- Maghsoudi K, Emam Y, Ashraf M, 2015. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. *Turkish Journal of Botany*, 39: 625-634.
- Mali M, Aery NC, 2008. Influence of Silicon on Growth, Relative Water Contents and Uptake of Silicon, Calcium and Potassium in Wheat Grown in Nutrient Solution. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 1867–1876.

- Marcinska I, Czyczylo-Mysza I, Skrzypek E, Filek M, Grzesiak S, Grzesiak MT, Janowiak F, Hura T, Dziurka M, Dziurka K, Nowakowska A, Quarrie SA, 2013. Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 451-461.
- Mohammadi PP, Moieni A, Komatsu S, 2012. Comparative proteome analysis of droughtsensitive and drought-tolerant rapeseed roots and their hybrid F1 line under drought stress. *Amino Acids*, 43: 2137–2152.
- Mostafa GG, 2011. Effect of sodium azide on the growth and variability induction in *Helianthus annuus* L. *International Journal of Plant Breeding and Genetic*, 5: 76-85.
- Moussa HR, 2006. Influence of exogenous application of Si on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 2: 293-297.
- Nikolaeva MK, Maevskaya SN, Shugaev AG, Bukhov NG, 2008. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57:94–102.
- Öncel I, Keleş Y, 2002. Tuz stresi altındaki buğday genotiplerinin büyüme, pigment içeriği ve çözünür madde kompozisyonunda değişimler. *Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*. 23(2).
- Özdemir E, Sade B, Soylu S, Atalay E, 2012. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) priming uygulamalarının kurak ve normal ortam koşullarında büyüme parametreleri ile bağlı su içeriği değerlerinin üzerine etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(2): 25-30.
- Özpay T, 2008. Taze fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin kuraklık stresi olan tepkilerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Parry MJ, Androlojc JP, Khan S, Lea PJ, Keys AJ, 2002. Rubisco activity: effects of drought-stress. *Annals of Botany*, 89: 833-839.
- Pei ZF, Ming DF, Liu D, Wan GL, Geng XX, Gong HJ, Zhou WJ, 2010. Silicon Improves the Tolerance to Water-Deficit Stress Induced by Polyethylene Glycol in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29: 106–115.
- Pessarakli M, Tucker TC, Nakabayashi K, 1991. Growth response of barley and wheat to salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 14(4); 331-340.
- Pilon-Smits EA, Quinn CF, Tapken W, Malagoli M, Schiavon M, 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 267-274.
- Pradhan A, Naik N, Sahoo KK, 2015. RNAi Mediated Drought and Salinity Stress Tolerance in Plants. *American Journal of Plant Sciences*, 6: 1990-2008.
- Qadir SA, Khursheed M, Huyop F, 2016. Effect of drought stress on morphology, growth and yield of six bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 28: 37–48.
- Rana V, Ram S, Sendhil R, Nehra KM, Sharma I, 2015. Physiological, biochemical and morphological study in wheat (*Triticum aestivum* L.) RILs population for salinity tolerance. *Journal of Agricultural Science*, 7: 119-128.
- Rengasamy R, 2010. Soil processes affecting crop production in salt affected soils. *Functional Plant Biology*, 37: 613–620.
- Salim M, 1991. Comparative growth responses and ionic relations of four cereals during salt stress. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 166: 204-209.
- Saqid M, Zörb C, Schubert S, 2008. Silicon-mediated improvement in the salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) results from increased sodium exclusion and resistance to oxidative stress. *Functional Plant Biology*, 35: 633–639.
- Sarto MVM, Sarto JRW, Rampim L, Bassegio D, da Costa PF, Inagaki AM, 2017. Wheat phenology and yield under drought: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 11: 941–946.
- Shabala S, 2013. Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany*, 112:1209–1221.

- Shannon MC, 1984. Breeding selection and the genetics of salt tolerance. Salinity Tolerance in Plant Strategies for Crop Improvement. A Wiley- Interscience Publisher, 231-254.
- Shannon MC, 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. Plant and Soil, 89: 227-241.
- Singh AK, Ansari MW, Pareek A, Singla-Paree, SL, 2008. Raising Salinity Tolerant Rice: Recent Progress and Future Perspectives. Physiology and Molecular Biology of Plants, 14: 137-154.
- Şen A, Sarsu F, 2018. Evaluating of Salt Stress Tolerance in Selected Wheat Mutant Progenies with Contributing Expression Analysis of TaWRKY Genes and Antioxidant Defence Parameters. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 14(3): 315-320.
- Şenay A, Kaya MD, Atak M, Çiftçi CY, 2005. Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi. 5 sayfa.
- Takeda S, Matsuoka M, 2008. Genetic Approaches to Crop Improvement: Responding to Environmental and Population Changes. Nature Reviews Genetics, 9: 444-457.
- Tomar RS, Tiwari S, Naik BK, Chand S, Deshmukh R, Mallik N, 2016. Molecular and morpho-agronomical characterization of root architecture at seedling and reproductive stages for drought tolerance in wheat. Plos One, 11:e0156528.
- Tuna AL, Kaya C, Higgs D, Murillo-Amador B, Aydemir S, Girgin AR, 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany, 62: 10-16.
- Van Hoorn JW, 1991. Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. Agricultural Water Management, 20:17-28.
- Veli S, Kırtok Y, Düzenli S, Tükel S, Kılınç M, 1994. Evaluation of salinity stress on germination characteristics and seedling growth of 3 bread wheats (*Triticum aestivum* L.). Tarla Bitkileri Kongresi, 25-29 Nisan 1994-İzmir, Cilt I, 57-61.
- Yavaş İ, Akgül HN, Ünay A, 2019. Bitkilerin Kuraklığa Dayanıklılığını Artırmaya Yönelik Uygulamalar. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1): 48-57.
- Yıldız M, Kaya F, Terzi H, 2020. Kuraklık Stresi ve Bitki Proteomiği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1): 286-297.
- Zhang WJ, Zhang XJ, Lang DY, Li M, Liu H, Zhang XH, 2020. Silicon alleviates salt and drought stress of *Glycyrrhiza uralensis* plants by improving photosynthesis and water status. Biologia Plantarum, 64: 302-313.
- Zhu Y, Gong H, 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agronomy for Sustainable Development, 34: 455-472.