

Atf İçin: Akçay E, Tan M, 2021. Farklı Sulama Seviyelerinin Bazı Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Çeşitlerinde Kök ve Sürgün Gelişmesine Etkileri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(4): 3203-3212.

To Cite: Akçay E, Tan M, 2021. Effects of Different Irrigation Levels on Shoot and Root Development of Some Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(4): 3203-3212.

Farklı Sulama Seviyelerinin Bazı Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Çeşitlerinde Kök ve Sürgün Gelişmesine Etkileri

Emre AKÇAY¹, Mustafa TAN^{2*}

ÖZET: Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) kuraklık gibi olumsuz çevre şartlarına dayanıklı bir bitkidir. Ancak bu dayanıklılık genotiplere bağlı olarak değişmektedir. Bu araştırma farklı kinoa genotiplerinin sürgün ve kök büyümesi üzerine değişik sulama seviyelerinin etkisini belirlemek amacıyla planlanmıştır. Araştırma Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi seralarında tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Farklı orijinlere sahip 10 çeşit kullanılmış ve fide döneminde 5 farklı sulama seviyesi (tarla kapasitesinde sulama, tarla kapasitesinin %50, 25, 10 ve 5'i oranında sulama) uygulanmıştır. Uygulamaların etkilerini belirlemek için sürgün ve kök uzunluğu, sürgün ve kök kuru ağırlıkları, kök/sürgün oranları ve kuraklık tolerans değerleri belirlenmiştir. Kinoa kök ve sürgün gelişmesi çeşitlere ve sulama seviyelerine bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. Sulama seviyesi azaldıkça sürgün ve kök uzunlukları ile kuru ağırlıkları ve kurağa tolerans yüzdeleri düşmüştür. Kök/sürgün oranı ise tarla kapasitesinin %50'si seviyesindeki sulamada daha yüksek bulunmuştur. Su kısıtlamasına çeşitlerin tepkileri farklılık göstermiştir. Titicaca, Sandoval Mix, Moqu Arrochilla ve Mint Vanilla kuraklık tolerans yüzdesi yüksek olan çeşitler olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kinoa, *Chenopodium quinoa*, kuraklık, kök ve sürgün gelişmesi

Effects of Different Irrigation Levels on Shoot and Root Development of Some Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes

ABSTRACT: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a plant resistant to adverse environmental conditions such as drought. However, this resistance varies depending on the genotypes. This research was planned to determine the effect of different irrigation levels on shoot and root growth of different quinoa genotypes. The research was carried out in three replications in Atatürk University Faculty of Agriculture greenhouses according to the completely randomized plots experimental design. 10 varieties with different origins were used and 5 different irrigation levels (irrigation at field capacity, irrigation at the rate of 50, 25, 10 and 5% of the field capacity) were applied during the seedling period. Shoot and root length, shoot and root dry weights, root/shoot ratios and drought tolerance values were determined to determine the effects of the applications. Root and shoot development in quinoa showed significant changes depending on the varieties and irrigation levels. Shoot and root lengths, dry weights and drought tolerance values decreased as the irrigation level decreased. Root/shoot ratio was found higher in irrigation at the level of 50% of the field capacity. The reactions of the varieties to water limitation differed. Titicaca, Sandoval Mix, Moqu Arrochilla and Mint Vanilla have been identified as varieties with high drought tolerance.

Keywords: Quinoa, *Chenopodium quinoa*, drought, shoot and root development

¹Emre AKÇAY ([Orcid ID: 0000 0002 8868 7825](https://orcid.org/0000-0002-8868-7825)) Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Mustafa TAN ([Orcid ID: 0000-0001-7939-7087](https://orcid.org/0000-0001-7939-7087)), Trakya Üniversitesi Havsa Meslek Yüksekokulu, Havsa, Edirne, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa TAN, e-mail: mustafatan@trakya.edu.tr

Bu çalışma Emre AKÇAY'ın Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Kuraklık dünyada tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli abiyotik stres sorunlarından birisidir. Dünya tarım arazilerinin yaklaşık olarak %45'i sürekli olarak kuraklık stresine maruz kalmaktadır (Asraf ve Foolad, 2007). Bu nedenle yağışın yetersiz olduğu ve sulama yapılamayan yerlerde kurağa dayanıklı bitki yetiştiriciliği öne çıkmaktadır. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) suyu çok etkili kullanan ve kurağa dayanıklılık gösteren bir türdür. Kurak ve yarı kurak bölgelere adaptasyonunda su stresine dayanıklılık sağlayan bazı mekanizmalara sahiptir (Jensen ve ark., 2000; Geren ve ark., 2014; Geren ve Geren, 2015; Tan ve Temel, 2019). Yüksek su kullanım etkinliğine sahip olduğundan 100-200 mm yağış alan yerlerde bile yetişebilir (Garcia ve ark., 2003, 2007; Bertero ve ark., 2004). Kuraklık ile birlikte bitkinin sapı lifli yapıya dönüşmekte, kök ise büyüyüp güçlenmektedir. Bitkinin sahip olduğu derin ve yoğun kök sistemi, kurak şartlarda transpirasyon alanını küçültmesi, dinamik stoma yapısı, kalın çeperli hücre duvarları ve özel kabarcıklı bezeler kuraklığa karşı geliştirmiş olduğu dayanıklılık mekanizmalarıdır (Bosque Sanchez ve ark., 2003; Jacobsen ve ark., 2003).

Kinoanın kurağa dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalarda bazı araştırmacılar verim ve bitkisel özelliklerin belirli bir seviyeye kadar kuraklıktan etkilenmediğini ileri sürmüşlerdir (Garcia ve ark., 2003; İncekaya, 2010). Buna karşılık birçok araştırmacı en iyi bitki gelişmesini su kısıtlaması yapılmayan uygulamalarda belirlemişlerdir (Geerts ve ark., 2008; Gonzales ve ark., 2009; Stikic ve ark., 2015). Geerts ve ark. (2008), Bolivya'da tam sulama ile dekara 204.0 kg, kısıtlı sulama ile 201.0 kg ve hiç sulanmayan koşullarda ise 168.0 kg tohum verimleri elde etmişlerdir. Kuraklığın olumsuz etkileri ortaya çıktığı gelişme dönemine bağlıdır. Çimlenme, çiçeklenme veya süt olum gibi hassas fenolojik evrelerde gerçekleşen kuraklık verimde önemli düşüşler yapmaktadır (Geerts ve ark., 2006). Kinoada kuraklığa toleransı etkileyen diğer bir faktör ise genotiptir. Raney ve ark. (2014) çeşitlerin kurağa toleranslarının farklı olduğunu bildirmişlerdir. Kinoanın Güney Amerika'da binlerce çeşit ve popülasyonu bulunmaktadır. Bu önemli genetik materyalin çevre şartlarına dayanıklılıklarının belirlenmesinde fayda vardır. Bu çerçevede planlanan bu çalışma farklı kaynaklardan temin edilen kinoa çeşit veya popülasyonlarının farklı sulama seviyelerine tepkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Araştırma 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi seralarında saksı çalışması olarak yürütülmüştür. Çalışmada farklı kaynaklardan temin edilen 10 kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşidi kullanılmıştır. Bu materyaller ve bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Sera şartlarındaki deneme 25/15±5°C gündüz/gece sıcaklık rejiminde yürütülmüştür. Saksılar %10 oranında yanmış çiftlik gübresi karıştırılan bahçe toprağından 2'şer kg karışım doldurularak hazırlanmıştır. Yapılan analizlerde bu toprak karışımının tınlı yapıda, organik maddece zengin (%4.7), nötr karakterli (pH: 7.04), tuzsuz (toplam tuz: %0,032), kireç yönünden düşük (%0.72), alınabilir fosfor yönünden yeterli (4.20 ppm) seviyede olduğu belirlenmiştir.

Deneme sera koşullarında tesadüf parselleri deneme deseninde üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Her saksıya 10 adet tohum ekilmiş ve çıkıştan sonra 3 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Çıkıştan sonraki ilk 2 hafta bütün saksılar standart olarak tarla kapasitesinde sulanmıştır. İkinci haftadan sonra kontrol ile birlikte 5 farklı sulama seviyesi uygulanmıştır. Bu uygulamalar kontrol (tarla kapasitesinde sulama), tarla kapasitesinin %50'si (düşük kuraklık), %25'i (orta seviyede kuraklık), %10'u (yüksek seviyede kuraklık) ve %5'i (şiddetli kuraklık) şeklinde planlanmıştır. Saksılar her gün aynı saatte tartılarak eksilen miktar kadar su saksılara ilave edilmiştir. Böylelikle saksılar deneme boyunca hedeflenen tarla kapasitesi seviyesinde sabit olarak tutulmuştur.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan kinoa çeşitleri ve bazı özellikleri

Çeşit/Popülasyon	Geldiği Yer	Kabuk Rengi
Titicaca	Danimarka	Beyazımsı-sarı
Rainbow	USA	Beyaz
Read Head	USA	Beyaz
Sandoval Mix	İngiltere	Krem
Cherry Vanilla	USA	Beyaz
French Vanilla	USA	Beyaz-krem
Mint Vanilla	USA	Parlak beyaz
Oro de Valle	USA	Sarımsı-kahve
Qhaslala Blanca	Peru	Krem
Moqu-Arochilla	Peru	Beyaz

Deneme kuraklık uygulamalarına başladıktan sekiz hafta sonra tamamlanarak sürgün ve kök uzunluğu, sürgün ve kök kuru ağırlığı, kök/sürgün oranı ve kurağa tolerans yüzdesi (KTY) belirlenmiştir (Bosque Sanchez ve ark., 2003; Gonzalez ve ark., 2009; Raney ve ark., 2014). Kurağa dayanıklılık testleri 150 saksıda (10 genotip x 3 tekrür x 5 uygulama) yapılmıştır. Kurağa tolerans yüzdesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesap edilmiştir.

$$KTY (\%) = (\text{Kuraklık uygulamasındaki bitki kuru ağırlığı} / \text{kontrol uygulamasındaki bitki kuru ağırlığı}) \times 100 \quad (1)$$

Bu çalışmada tarla kapasitesinin belirlenmesinde Earl (2003)'ın izlediği yöntem kullanılmıştır. Bunun için önce saksılara 80 °C'de 48 saat süreyle kurutulmuş 3 kg toprak konulmuştur. Sonra kuraklık uygulamalarını kalibre etmek için içerisine 3 kg kuru toprak konulmuş dört saksı su tutma kapasitesinin üzerinde sulanmış ve hemen ardından buharlaşma kayıplarını önlemek için saksıların üstü alüminyum folyo ile sıkıca kapatılmıştır. Fazla su tamamen drene olup saksılar sabit bir ağırlığa (tarla kapasitesine) ulaşmaya kadar beklenmiş ve saksıların tarla kapasitesinde tutmuş olduğu su miktarı aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Tarla kapasitesinde tutulan su miktarı (g saksı}^{-1}) = [\text{Tarla kapasitesindeki toprağın ağırlığı} - \text{kuru ağırlık (3 kg)}] \quad (2)$$

Çalışmadan elde edilen veriler MSTAT-C paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuştur. İncelenen bütün parametrelerde varyasyon kaynaklarının tamamı önemli bulunmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 seviyesinde LSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak gruplandırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Sürgün Uzunluğu

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre kinoada sürgün uzunluğu kuraklığın şiddetine ve çeşitlere bağlı olarak değişmiştir (Çizelge 2). Çeşitler arasında en uzun sürgün R. Head (36.6 cm), en kısa ise O. Valle çeşidinde (22.9 cm) belirlenmiştir. Tarla kapasitesinde sulanan bitkilerin sürgün uzunlukları 38.4 cm olarak ölçülmüştür. Sulama seviyesi tarla kapasitesinin %50, 25, 10 ve 5'i seviyesine düşürüldüğü zaman sürgün uzunlukları önemli seviyede azalmalarla 35.5, 28.6, 25.9 ve 20.2 cm'ye düşmüştür. Her bir seviyenin değeri istatistiksel olarak diğerlerinden farklı bulunmuştur. Araştırmada kinoa çeşitlerinin sürgün uzunlukları kuraklığın şiddetine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Bu durum interaksiyonun önemli çıkmasına yol açmıştır. Genel olarak kuraklık şiddeti arttıkça bitkilerin sürgün uzunlukları azalmıştır. Fakat azalışlar bütün çeşitlerde aynı derecede olmamış, hatta bazı çeşitlerde dalgalanmalar görülmüştür. Örneğin C. Vanilla çeşidinde tarla kapasitesinde 33.3 cm olan sürgün uzunluğu %50

sulama seviyesinde düşme göstermemiş ve 33.9 cm olarak belirlenmiştir. Benzer bir durum Rainbow çeşidinde de görülmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kinoa çeşitlerinin farklı sulama uygulamalarında sürgün uzunlukları (cm)

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
R. Head	49.0	43.8	35.4	30.3	24.7	36.6 A
S. Mix	41.7	35.8	34.6	28.8	26.2	33.4 B
Titicaca	38.3	35.3	32.9	30.3	24.4	32.3 B
Rainbow	39.0	35.2	29.8	30.9	23.7	31.7 B
M. Vanilla	41.8	41.5	27.9	24.7	18.9	30.9 BC
M. Arochilla	34.9	34.8	26.7	24.6	21.1	28.4 CD
F. Vanilla	35.5	33.5	28.3	26.0	15.8	27.8 D
Q. Blanca	37.5	36.4	24.8	19.8	15.1	26.7 D
C. Vanilla	33.3	33.9	24.2	24.0	16.7	26.4 D
O. Valle	33.2	24.9	21.2	20.0	15.0	22.9 E
Ortalama*	38.4 A	35.5 B	28.6 C	25.9 D	20.2 E	29.7

LSD Ç: 2.8, S: 1.7, Ç x S: 6.5

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Bitkilerde belirli bir süre içerisinde kaybedilen suyun, alınan su miktarından fazla olması durumunda kuraklığın etkileri ortaya çıkmaya başlar. Su miktarı azalan dokular arasında suyun paylaşımı için rekabet başlar. Başka bir ifadeyle bitki dokuları arasındaki su dengesi bozulur. Stres durumunda turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesi olumsuz olarak etkilendiğinden hücreler küçük kalırlar. Bu nedenle sürgün veya kök kısalması görülür. Bitkiler kuraklık ve benzeri stres şartlarında öncelikli olarak topraküstü yeni dokularının oluşumunu durdurarak tepki verirler. Bu durum genotiplere bağlı olarak farklılıklar gösterir (Raney ve ark., 2014). Bu çalışmada da azalan sulama ile birlikte kinoalarda sürgün uzunlukları doğrusala yakın seviyede azalmıştır. Fakat bazı çeşitlerde azalma daha yavaş ve dalgalı gerçekleşmiştir. Yang ve ark. (2016) ile Razzaghi ve ark. (2020) kinoada su kısıtlaması ile sürgün ağırlığı ve bitki boyunun azaldığını belirlemişlerdir. Kuraklık ile bitki boyunun kısaldığını Stikic ve ark. (2015) da belirlemişlerdir.

Kök Uzunluğu

Çalışmada farklı kuraklık uygulamalarından elde edilen sonuçlara göre kinoa çeşitlerinin kök uzunluğu önemli farklılık göstererek en yüksek 23.0 cm (Titicaca) ile en düşük 10.8 cm (M. Vanilla) arasında değişmiştir (Çizelge 3). Kuraklığın şiddeti arttıkça kök uzunluğunda azalma gerçekleşmiş, ancak bu azalma %50 seviyesinden sonra önemli bulunmuştur. Daha şiddetli kuraklıkta azalma devam etse de istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Çeşitlerin sulama uygulamalarına verdiği tepkiler farklılık göstermiştir. Kuraklığın şiddeti arttıkça çeşitlerin kök uzunluğu genel olarak azalmamıştır, fakat bazı çeşitlerde artış ve düşüşlerin olduğu görülmektedir.

Bitkiler kuraklık gibi bir stres ortamında bazı tepkiler vererek bu şartlara uyum sağlamaya çalışırlar. Kök uzaması özellikle erken dönemlerde kuraklıkla birlikte yavaşlar (Szira ve ark., 2008), fakat daha sonra bitkinin kurak ortamda su bulma ihtiyacından dolayı kök gelişmesinde artışların olduğu bilinmektedir. Bu durum bitki tür ve çeşitlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Stikic ve ark. (2015) kuraklığın kinoada kök uzunluğunu düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Çizelge 3. Kinoa populasyon ve çeşitlerinin farklı sulama uygulamalarında kök uzunluğu (cm)

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
Titicaca	23.3	28.3	19.7	24.4	19.4	23.0 A
S. Mix	18.2	18.7	20.5	20.4	22.1	19.9 B
Rainbow	24.6	15.6	17.1	22.9	17.4	19.6 BC
C. Vanilla	20.1	18.7	16.1	17.9	15.3	17.6 CD
F. Vanilla	17.7	20.0	22.7	11.0	15.9	17.4 D
Q. Blanca	22.3	18.5	19.4	13.8	11.6	17.1 DE
R. Head	19.3	22.7	10.3	16.3	15.7	16.8 DE
O. Valle	13.5	17.6	15.5	12.5	16.3	15.1 E
M. Arrochilla	15.5	11.9	12.9	12.6	11.7	12.9 F
Mint Vanilla	12.7	12.5	9.1	10.3	9.5	10.8 F
Ortalama*	18.7 A	18.5 A	16.3 B	16.2 B	15.5 B	17.0

LSD Ç: 2.1, S: 1.9, Ç x S: 7.3

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Sürgün Kuru Ağırlığı

Kinoa çeşitlerinin sürgün kuru ağırlıkları çok önemli farklılık göstererek 3.42 g'dan, 2.11 g'a kadar değişmiştir. R. Head çeşidi en fazla sürgün kuru ağırlığına sahip olurken, en düşük sürgün kuru ağırlığı Titicaca çeşidinde belirlenmiştir (Çizelge 4). Sulama uygulamalarına göre sürgün kuru ağırlıkları 4.11 g ile 1.59 g arasında değişmiştir. Araştırmada çeşitlerin sulama uygulamalarına farklı tepkiler vermesi interaksyonun önemli çıkmasına neden olmuştur. Genel olarak kuraklık şiddetinin artması sürgün kuru ağırlığını düşürürken Rainbow gibi bazı çeşitlerde sürgün kuru ağırlıkları düzensiz değişimler göstermiştir. Daha önce sürgün uzunluğu konusunda da bahsedildiği gibi bitkiler kuraklık stresi altında toprak üstü aksamının büyümesini yavaşlatmakta ve hatta durdurmaktadır. Bu çalışmada da azalan sulamaya bağlı olarak sürgün kuru ağırlıkları azalmıştır. Benzer sonuçları Gonzalez ve ark. (2009) ile Çaygaracı ve Kuşçu (2019) da belirlemişlerdir. Fakat bitkilerin sürgün ağırlıklarının kuraklığa verdiği tepki genotiplere göre değişiklik gösterebilir. Kuraklığa adapte olmuş genotiplerde kayıplar daha az olmaktadır.

Çizelge 4. Kinoa çeşitlerinin farklı sulama uygulamalarında sürgün kuru ağırlıkları (g)

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
R. Head	5.75	4.28	2.74	2.29	2.07	3.42 A
F. Vanilla	4.95	3.48	3.39	2.87	1.75	3.29 A
S. Mix	3.58	2.84	2.85	2.07	2.20	2.70 B
M. Vanilla	3.89	3.14	2.40	2.21	1.63	2.65 BC
M. Arrochilla	3.73	3.68	2.27	1.98	1.58	2.64 BC
C. Vanilla	4.09	3.12	1.98	2.27	1.27	2.54 BCD
Rainbow	3.86	1.90	2.54	2.56	1.63	2.49 BCD
Q. Blanca	4.49	2.54	1.88	1.82	1.31	2.41 BCD
O. Valle	4.23	2.62	1.72	1.39	1.06	2.20 CD
Titicaca	2.52	2.36	2.17	2.13	1.37	2.11 D
Ortalama*	4.11 A	3.00 B	2.39 C	2.16 C	1.59 D	2.65

LSD Ç: 0.45 S: 0.26 Ç x S: 0.10

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Kök Kuru Ağırlığı

Çeşitler arasında en fazla kuru kök üretimi 0.41 g ile Q. Blanca'da görülmüştür. En az kuru kök üretimi ise 0.23 g ile Titicaca çeşidinde belirlenmiştir. M. Vanilla ve S. Mix çeşitlerinin kök kuru madde üretimleri (0.27 g) de düşüktür (Çizelge 5). Sulama uygulamaları kök kuru ağırlıklarını önemli seviyede etkilemiş, ortalamalar istatistiki olarak 4 farklı grup oluşturmuştur. Sulamanın azalmasıyla birlikte kök kuru ağırlığı önemli seviyede düşmüş, tarla kapasitesinin %25 ve %10'u seviyesinde sulamalarda ise kök kuru ağırlıkları benzerlik göstererek aynı grupta bulunmuşlardır. Kontrol koşullarında yetiştirilen bitkilere göre kuraklık olumsuz etki yapmıştır. Genel olarak kuraklık seviyesinin artmasıyla kök kuru ağırlıklarında azalma gözlenirken bazı çeşitlerin kök kuru ağırlığı artış göstermiştir.

Çizelge 5. Kinoa çeşitlerinin farklı sulama uygulamalarında kök kuru ağırlıkları (g)

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
Q. Blanca	0.80	0.55	0.29	0.22	0.18	0.41 A
F. Vanilla	0.69	0.41	0.38	0.22	0.18	0.37 AB
R. Head	0.62	0.50	0.25	0.20	0.15	0.34 ABC
O. Valle	0.72	0.36	0.24	0.13	0.20	0.33 ABC
C. Vanilla	0.63	0.45	0.25	0.25	0.09	0.33 ABC
M. Arochilla	0.42	0.35	0.36	0.21	0.19	0.30 BCD
Rainbow	0.41	0.21	0.30	0.34	0.14	0.28 CD
S. Mix	0.36	0.40	0.26	0.17	0.18	0.27 CD
M. Vanilla	0.44	0.32	0.19	0.27	0.13	0.27 CD
Titicaca	0.25	0.27	0.21	0.28	0.16	0.23 D
Ortalama*	0.53 A	0.38 B	0.27 C	0.23 C	0.16 D	0.31

LSD Ç: 0.08, S: 0.05, Ç x S: 0.21

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Bitki kök aksamı kurağa dayanıklılıkta çok önemli bir karakterdir. Dolayısı ile birçok araştırmacı tarafından yapılan araştırmalarda incelenen bir özellik olmuştur. Kuraklık stresi şiddetine bağlı olarak bazı kök özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, Geren ve Geren (2015), tarla kapasitesinde (%100) sulanan kinoada 16.3 g olan kök kuru ağırlığının, sulama seviyesi %80, %60, %40 ve %20'ye düşürüldüğünde sırasıyla 17.8, 21.5, 12.3 ve 8.5 g'a düştüğünü saptamışlardır. Yin ve ark. (2004), kuraklık stresinin bitkilerde gövde boyu, toplam ağırlık ve kök kuru ağırlıklarını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ancak kurak şartlarda kök yayılımı, kök derinliği ve yoğunluğunda genotipler arasında önemli farklılıklar görülebilmektedir (Kinyua ve ark., 2006).

Kök/sürgün oranı

Çalışmada kinoanın kök/sürgün oranları çeşitlere ve sulama uygulamalarına göre çok önemli farklılıklar sergilemiştir. Çeşitler arasında Q. Blanca ve O. Valle'nin kök/sürgün değerleri yüksek bulunmuş, R. Head ise en düşük değere sahip olmuştur (Çizelge 6). Kuraklık stresinin olmadığı kontrol şartlarında kinoa çeşitlerinin ortalama kök/sürgün oranı 0.130 olarak hesaplanmıştır. Su uygulaması tarla kapasitesinin %50, 25, 10 ve 5'i seviyesine düşürüldüğünde elde edilen değerler sırasıyla 0.134, 0.117, 0.112 ve 0.108'dir. Bu sonuçlar kuraklık şartlarında kinoanın kök gelişmesinin sürgün gelişmesine göre daha fazla olumsuz etkilendiğini ortaya koymaktadır. Buna rağmen tarla kapasitesinin %50'ye düşmesiyle yapılan sulamada (hafif kuraklık) kök/sürgün oranının artması dikkat çekicidir. Çeşitler ayrı ayrı incelendiğinde sulama seviyesinin azalmasına bağlı olarak kök/sürgün oranlarında artış ve azalışlar görülmektedir. Bu durum O. Valle ve C. Vanilla dışındaki bütün çeşitlerde belirgin olarak görülmektedir.

Çizelge 6. Kinoa çeşitlerinin farklı kuraklık uygulamalarında kök/sürgün oranları

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
Q. Blanca	0.180	0.277	0.157	0.124	0.137	0.175 A
O. Valle	0.169	0.138	0.136	0.095	0.191	0.146 AB
M. Arrochilla	0.112	0.094	0.159	0.152	0.121	0.128 BC
C. Vanilla	0.161	0.142	0.127	0.111	0.072	0.123 BC
Titicaca	0.098	0.114	0.098	0.131	0.128	0.114 BC
Rainbow	0.108	0.103	0.119	0.134	0.099	0.112 BC
F. Vanilla	0.136	0.115	0.109	0.077	0.103	0.108 C
M. Vanilla	0.122	0.102	0.080	0.125	0.080	0.102 C
S. Mix	0.102	0.139	0.090	0.086	0.081	0.099 C
R. Head	0.113	0.117	0.097	0.086	0.069	0.096 C
Ortalama*	0.130 AB	0.134 A	0.117 BC	0.112 C	0.108 C	0.120

LSD Ç: 0.035, S; 0.016, S x Ç: 0.072

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Kurak ve yarı kurak alanlarda bitkisel üretimi en fazla sınırlayan faktör bitkilerin yetiştirildiği ortamdaki suyun durumudur. Su, bitki metabolizmasında hücresel ve bitki düzeyinde yaşamsal role sahiptir. Kurak ortamda yetiştirilen bitkiler bu koşullara uyum sağlamak için bazı fizyolojik ve morfolojik değişimler yaparlar. Stomalarındaki değişimler, yaprak alanını azaltma, yaprak kalınlığını artırma, yaprakta tüylülük ve mumsu tabaka oranlarını artırmak, kök/sürgün oranını düşürmek bunların bazılarını örnek olarak sayılabilir. Kinoa kuraklığa dayanabilmek için bu mekanizmalardan bazılarını kullanmaktadır (Jacobsen, 2003). Bosque Sanchez ve ark. (2003) hafif ve şiddetli kuraklık şartlarında kinoa kök/sürgün oranlarını kontrol şartlarında yetişenlerden daha yüksek bulmuşlardır. Çünkü kök büyümesi kurak şartlarda sürgün büyümesinden daha az etkilenmektedir (Franco, 2011). Bitkilerin kök/sürgün oranlarının yüksek olması kurağa dayanıklılıklarının bir göstergesidir. Bu durum birçok bitkide olduğu gibi genotiplere göre değişim gösterir. Bu çalışmada Q. Blanca ve O. Valle kök/sürgün oranı yüksek olan genotiplerdir. Güçlü kök gelişimi ve yüksek kök/sürgün oranı kurağa dayanıklılığın göstergesidir (Simane ve ark., 1993).

Kuraklık tolerans yüzdesi

Çeşitlerin kurağa tolerans değerleri %83.8 (Titicaca) ile %52.2 (O. Valle) arasında önemli değişim göstermiştir (Çizelge 7). Titicaca, S. Mix, M. Arrochilla ve M. Vanilla toleransı yüksek olan çeşitler olarak öne çıkmaktadırlar. Q. Blanca ile O. Valle çeşitleri ise kurağa toleransı en az olan çeşitler olarak belirlenmişlerdir. Sulama seviyesinin tarla kapasitesinde olduğu kontrol uygulamasında kurağa tolerans %100 kabul edilmiştir. Kuraklık seviyesi tarla kapasitesinin sırasıyla %50, %25, %10, %5 seviyesine düşürüldüğünde kurağa tolerans değerleri sırasıyla %76.6, %61.3, %56.3 ve %40.7 olarak hesaplanmıştır. Çeşitler sulama uygulamalarına farklı tepkiler verdiği için çeşit x sulama interaksyonu önemli bulunmuştur. M. Arrochilla'nın %50 seviyesindeki kuraklık tolerans yüzdesi kontrolden daha yüksek (%103.7) bulunmuştur.

Kuraklık tolerans değerleri kuraklık uygulamasındaki bitki kuru ağırlığının kontrol şartlarındaki bitki kuru ağırlığına oranlanmasıyla belirlenmektedir. Bu nedenle kuraklık şartlarında kuru madde üretimi yüksek olan uygulamaların kurağa tolerans yüzdeleri daha fazla bulunmuştur. Aksine normal şartlarda üretimi yüksek, kuraklık şartlarında düşük olan uygulamaların toleransları ise düşük çıkmaktadır. Bu çalışmada Titicaca kuraklık toleransı en yüksek olan çeşittir. Çeşidin sürgün kuru ağırlığı diğerlerine göre düşüktür (Çizelge 4), fakat kuraklık uygulamaları ile sürgün kuru ağırlıklarında çok fazla düşüş gerçekleşmemiştir. Bu nedenle kurağa tolerans yüzdeleri yüksek bulunmuştur.

Çizelge 7. Kinoa çeşitlerinin farklı kuraklık uygulamalarında kurağa tolerans yüzdesi (%)

Çeşitler (Ç)	Sulama Seviyesi (S) (Tarla Kapasitesinin %'si)					Ortalama*
	100	50	25	10	5	
Titicaca	100	93.9	86.0	84.7	54.7	83.8 A
S. Mix	100	78.2	79.4	59.5	64.3	76.3 AB
M. Arrochilla	100	103.7	62.4	54.7	43.1	72.6 ABC
M. Vanilla	100	85.0	66.8	62.4	44.8	71.8 ABC
F. Vanilla	100	78.4	71.2	62.0	37.8	69.9 BC
Rainbow	100	52.1	66.9	67.6	41.6	65.6 BCD
C. Vanilla	100	76.8	48.2	56.6	31.8	62.7 CD
R. Head	100	78.0	49.9	39.7	36.3	60.8 CD
Q. Blanca	100	57.7	41.9	41.0	29.2	53.9 D
O. Valle	100	61.8	40.7	35.0	23.3	52.2 D
Ortalama*	100 A	76.6 B	61.3 C	56.3 C	40.7 D	67.0

LSD Ç: 13.4, S: 6.9 Ç x S: 20.2

* Değişik harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

SONUÇ

Fide döneminde uygulanan farklı seviyelerdeki sulamalar kinoada kök ve sürgün gelişmesini önemli seviyede etkilemiştir. Sulama seviyesi azaldıkça sürgün ve kök uzunlukları ile kuru ağırlıkları ve kurağa tolerans yüzdeleri düşmüştür. Kök/sürgün oranı ise tarla kapasitesinin %50'si seviyesindeki sulamada daha yüksek bulunmuştur. En fazla sürgün uzunluğu ve kuru ağırlığı R. Head, kök uzunluğu ve kurağa tolerans yüzdesi Titicaca, kök kuru ağırlığı ve kök/sürgün oranı Q. Blanca çeşidinde bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuçlar kinoada kuraklık stresinin sürgün ve kök gelişmesine olumsuz etki yaptığını ortaya koymuştur. Ancak çeşitlerin stres faktörlerine karşı gösterdikleri tepkiler farklı olmuştur. Özellikle bazı çeşitlerin hafif kuraklık şartlarında (%50 sulama) daha yüksek değerler vermeleri dikkat çekicidir. Bu durum özellikle kök parametrelerinde görülmekte olup, bazı çeşitlerin kısıtlı sulama şartlarında daha iyi kök gelişmesi yaptığını ortaya koymaktadır. Örneğin Titicaca, F. Vanilla, R. Head ve O. Valle'nin kök uzunlukları hafif su kısıtlamasında daha fazla bulunmuştur. Benzer olarak S. Mix ve Titicaca hafif su kısıtlamasında daha fazla kök kuru ağırlığına sahip olmuşlardır. Bu nedenle elde edilen veriler kurağa dayanıklılık ıslahında yol gösterici olabilir. Tarla kapasitesinin %50 seviyesinde sulama yapıldığında birçok parametrede iyi sonuçlar veren Titicaca, R. Head, S. Mix, Q. Blanca ve M. Arrochilla gibi çeşitler üzerinde durulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu makale Emre AKÇAY'ın Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir. Çalışmaya destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz (Proje No: TOVAG-214O232).

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ashraf M, Foolad MR, 2007. Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59 (2): 206-216.
- Bertero HD, Vega AJ, Correa G, Jacobsen SE, Mujica A, 2004. Genotype and Genotype-by-Environment Interaction Effects for Grain Yield and Grain Size of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as Revealed by Pattern Analysis of International Multienvironment Trials. *Field Crops Research*, 89: 299-318.
- Bosque Sanchez H, Lemeur R, Van Damme P, Jacobsen SE, 2003. Ecophysiological Analysis of Drought and Salinity Stress of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19: 111-119.
- Çaygaracı A, Kuşçu H, 2019. Farklı Sulama Suyu Miktarı ve Besin Çözeltisi Uygulamalarının Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Verim, Bazı Verim Bileşenleri ve Su Kullanım Etkinliği Üzerine Etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (3): 370-380.
- Earl HJ, 2003. A Precise Gravimetric Method for Simulating Drought Stress In Pot Experiments. *Crop Science*, 43 (5): 1868-1873.
- Franco J, 2011. Technology and Knowledge Transfer e-Bulletin. Universidad Politecnica de Cartagena Vol: 2, No: 6.
- Garcia M, Raes D, Jacobsen SE, 2003. Evapotranspiration Analysis and Irrigation Requirements of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian Highlands. *Agricultural Water Management* 60: 119-134.
- Garcia M, Raes D, Jacobsen SE, Michel T, 2007. Agroclimatic Constraints for Rainfed Agriculture in the Bolivian Altiplano. *Journal of Arid Environment* 71: 109-121.
- Geerts S, Raes D, Garcia M, Vacher J, Mamani R, Mendoza J, Huanca R, Morales B, Miranda R, Cusicanqui J, Taboada C, 2008. Introducing Deficit Irrigation to Stabilize Yields of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 28: 427-436.
- Geerts S, Raes D, Garcia M, Del Castillo C, Buytaert W, 2006. Agro-Climatic Suitability Mapping for Crop Production in the Bolivian Altiplano: A Case Study for Quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129: 399-412.
- Geren H, Kavut YT, Topçu GD, Ekren S, İştıpliler D, 2014. Akdeniz İklimi Koşullarında Yetiştirilen Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’da Farklı Ekim Zamanlarının Tane Verimi ve Bazı Verim Unsurlarına Etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(3): 297-305.
- Geren H, Geren H, 2015. A Preliminary Study on the Effect of Different Irrigation Water Levels on the Grain Yield and Related Characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), 26th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, 27-30 September 2015, 61(66/1): 269-272.
- Gonzalez JA, Gallardo M, Hilal M, Rosa M, Prado, FE, 2009. Physiological Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Drought and Waterlogging Stresses: Dry Matter Partitioning. *Botanical Study*, 50: 35-42.
- İnce Kaya Ç, 2010. Akdeniz Bölgesinde Damla Sistemiyle Tatlı ve Tuzlu Su Kullanılarak Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerinin Kinoa Bitkisinin Verimiyle Toprakta Tuz Birikimine Etkileri ve Saltmed Modelinin Test Edilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Jacobsen SE, 2003. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Review International*, 19 (1-2): 167-177.

- Jacobsen SE, Mujica A, Jensen AC, 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International*, 19: 1-2.
- Jensen CR, Jacobsen SE, Andersen MN, Nunez N, Andersen SD, Rasmussen L, Mogensen VO, 2000. Leaf Gas Exchange and Water Relations of Field Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) During Soil Drying. *European Journal of Agronomy*, 13: 11-25.
- Kinyua M, Njoka EM, Gesimba RM, Birech RJ, 2006. Selection of Drought Tolerant Bread Wheat Genotypes Using Root Characteristics at Seedling Stage. *International Journal of Agriculture and Rural Development*. School of Agriculture and Agricultural Technology, Federal University of Technology.
- Raney JA, Reynolds DJ, Elzinga DB, Page J, Udall JA, Jellen EN, Bonfacio A, Fairbanks DJ, Maughan PJ, 2014. Transcriptome Analysis of Drought Induced Stress in *Chenopodium quinoa*. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 338-357.
- Razzaghi F, Bahadori-Ghasroldasthi MR, Henriksen S, Spaskhah AR, Jacobsen SE, 2020. Physiological Characteristics and Irrigation Water Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Response to Deficit Irrigation Imposed at Different Growing Stages-A Field Study from Southern Iran. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(3): 390-404.
- Simane B, Struik, PC, Nachit MM, Peacock JM, 1993. Ontogenetic Analysis of Yield Components and Yield Stability of Durum Wheat in Water-Limited Environments. *Euphytica*, 71(3): 211-219.
- Stikic R, Jovanovic Z, Marjanovic M, Dordevic S, 2015. The Effect of Drought on Water Regime and Growth of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo i Povrtarstvo* 52(2): 80-84.
- Szira F, Bálint AF, Börner A, Galiba G, 2008. Evaluation of Drought-Related Traits and Screening Methods at Different Developmental Stages in Spring Barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(5): 334-342.
- Tan M, Temel S, 2019. Her Yönüyle Kinoa. Önemi, Kullanılması ve Yetiştiriciliği. İksad Yayınevi, Ankara, ISBN: 978-605-7875-88-4, 177 s.
- Yang A, Akhtar SS, Amjad M, Jacobsen S, 2016. Growth and Physiological Responses of Quinoa to Drought and Temperature Stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202 (6): 445-453.
- Yin C, Wang X, Duan B, Luo J, Li C, 2004. Early Growth, Dry Matter Allocation and Water Use Efficiency of Two Sympatric *Populus* Species as Affected by Water Stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53: 315-322.