



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Yabani nohut genotiplerinin yüksek buhar basıncı açıklığında stoma iletkenlik indeksi değişimleri

Fatma Başdemir 1,* Mehmet Yıldırım 2

¹ Harran Üniversitesi, Ceylanpınar Tarım Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır

Özet

Yaygın olarak yetiştirilen kültür nohutları içerisinde kurağa ve sıcağa dayanım yönünden genetik varyasyon çok geniş değildir. Bu nedenle nohutta yabani türlerden dayanıklılık kaynaklarının ortaya çıkarılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada yabani nohut genotiplerinin yüksek buhar basıncı açıklığı (VPD) koşullarında stoma iletkenlik indeksi değişimleri yüksek sıcaklık stresine tepki yönünden değerlendirilmiştir. Deneme materyali 26 yabani nohut genotipi ve 4 nohut çeşidinden oluşmaktadır. 26 yabani nohut genotipinin 20 tanesi *Cicer reticulatum*, 6 tanesi *Cicer echinospermum* türü içinde yer almaktadır. Bitkiler ölçüm zamanına kadar Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi sera koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yetiştirilmiştir. Ölçümler kontrollü koşullarda sıcaklık ve nem ayarlanarak oluşturulan yüksek VPD stresi altında çiçeklenme öncesi ve bakla dolum döneminde gerçekleştirilmiştir. Her iki dönemde genotipler arasında bitki sıcaklığı ve stoma iletkenlik indeksi (*lg*) yönünden önemli farklılıklar belirlenmiştir. Genel anlamda yüksek genotipik varyasyona sahip yabani nohut genotiplerinde bitki sıcaklığı ve stoma iletkenliği yönünden değişim sınırları çok geniş bulunmuştur. Yabani türlerde çiçeklenme öncesi dönemde ortalama *lg* kültür genotiplerinden yüksekken, generatif dönemde düşük bulunmuştur. Yüksek *lg* değeri genotiplerde bitki serinleme yeteneği ve yüksek transpirasyonun göstergesi olmuştur. Çiçeklenme öncesi dönemde 11, bakla dolum döneminde ise 5 yabani nohut genotipinde *lg* değeri kültür çeşitleri ortalamasından daha yüksek bulunmuştur. Yabani türlerden *C. reticulatum*'da *lg* değeri her iki dönemde de *C. echinospermum* genotip ortalamalarından yüksek bulunmuştur. Eğil-073 ve Sırnak 060 yabani genotipleri her iki dönemde kültür genotiplerinden yüksek *lg*'ye sahip olarak, sıcaklık stresine karşı stabil dayanım göstermiştir. Sonuçlar mevcut genotiplerin nohutta sıcağa ve kurağa dayanıklılık ıslah programlarında başlangıç materyali olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Stoma iletkenlik indeksi (*lg*), Yabani nohut, Yüksek buhar basınç açıklığı, Sıcaklık stresi.

Stomatal conductance index changes in wild cicer genotypes at high vapor pressure deficit

Abstract

Genetic variation in resistance to drought and heat stress is not very large among cultivated chickpeas. Hence, revealing the sources of resilience from wild species in chickpea is important. In this study, changes in the stomatal conductance index of wild chickpea genotypes were evaluated in terms of response to high temperature stress under high vapor pressure deficit (VPD) conditions. The research material is composed of 26 genotypes of wild chickpea and 4 varieties of cultivated chickpea. The *Cicer reticulatum* contains 20 of the 26 wild chickpea genotypes, and the *Cicer echinospermum* genus contains 6. Before the plants were measured, in the Dicle University Faculty of Agriculture were grown to the randomized complete bloc design with 4 replications in the greenhouse conditions. The measures were performed before flowering and pod filling in controlled conditions, generating high VPD stress through temperature and humidity adjustment. In general, the limits of change in plant temperature and stomatal conductivity were found very broad in wild chickpea genotypes with high genotypic variation. While the average *lg* was higher than the cultivar genotypes in the wild species during the pre-flowering period, it was found lower in the generative period. The high *lg* value suggested plant cooling capability and high transpiration in genotypes. 11 wild chickpea genotypes in the vegetative period and 5 wild chickpea genotypes in the generative period had a higher *lg* value than the average cultivar value. *lg* in *C. reticulatum* was found to be higher than *C. echinospermum* genotype in both periods of the wild species. In both periods, the wild genotypes of Eğil-073 and Sırnak 060 have a higher *lg* than the cultivar genotypes and showed stable resistance to heat stress. The findings show that existing genotypes could be used as pre-breeding material in chickpea breeding programs for heat and drought resistance.

Keywords: Stomatal Conductance Index (*lg*), Wild Cicer, High Vapor Pressure Deficit, Heat Stress.

© 2020 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0414 318 3727

E-posta : fatmabasdemir@harran.edu.tr

Geliş Tarihi : 01 Eylül 2020

Kabul Tarihi : 29 Kasım 2020

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbdd.789236

Giriş

Bitkilerde stoma iletkenliği, kök özellikleri, su kullanım etkinliği ve osmotik ayarlama (OA) kuraklıktan kaçmayı sağlama yönünden seleksiyona izin veren bazı önemli mekanizmalardır. Bitki kuraklık stresi altında stomalar yoluyla transpirasyon aktivitesini düzenleyerek su kaybını en aza indirebilir. Stoma iletkenliğinin bir sonucu olarak bitkinin serinleme yeteneğini yansıtan bitki sıcaklığı stoma aktivitesinin tahmininde kullanılmaktadır. Bitki topluluğundaki sıcaklık değişimlerini bir infra-thermo kamera kullanarak sayısallaştırmak mümkündür. Bu farklılıkların pirinç, patates, buğday ve şeker pancarı gibi bitkilerde transpirasyonla çok iyi bir şekilde ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Upadhyaya ve ark., 2010).

Stoma iletkenliği, yüksek sıcaklık stresine dayanıklılıkta seleksiyon kriteri olarak kullanılan en önemli fizyolojik özelliklerden biridir. (Fischer ve ark., 1998; Amthor 2001; Bavec ve Bavec 2001; Reynolds ve ark., 2001; Soltani ve Galeshi 2002; Koç ve ark., 2003; Bahar ve ark., 2009; Yıldırım ve ark., 2009).

Toprakta su yönünden kısıtlama olmadığında, bitki sıcaklığının azalması buhar basıncı azalmasıyla doğrusal ilişki vermekte (Idso ve ark., 1981), toprakta su azaldıkça ve stomalar kapanmaya başladıkça yaprak sıcaklığı artarak sonuçta hava sıcaklığını bile geçebilmektedir. Bu nedenle, birden fazla yörede, buğdayda bitki örtüsü sıcaklığı ve bayrak yaprak stoma iletkenliği bitkilerin tarlada yetiştirme performansıyla doğrusal ilişkili bulunmuştur (Reynolds ve ark., 1994). Sıcaklıkla ilgili ölçümler, verimle en kuvvetli ilişkiyi, suyun kısıtlı olmadığı, ancak sıcaklık baskısının olduğu koşullarda vermektedir (Reynolds ve ark., 1994). Çukurova Bölgesinde yapılan çalışmalar, bayrak yaprak fotosentez hızı ve stoma iletkenliği gibi özelliklerin yüksek sıcaklığa tolerans yönünden ön plana çıktığını göstermiştir (Koc ve ark., 2008).

Meksika'da, başta bitki örtüsü sıcaklığı (BÖS) olmak üzere birçok fizyolojik özellik değerlendirilerek sıcaklık stresinde seleksiyon yapılmasıyla verimde sağlanan ilerleme ile aynı genotiplerin dünyanın diğer sıcak bölgelerindeki verim performanslarında önemli artışlar sağlanmış ve seleksiyon etkinliği teyit edilmiştir. (Reynolds ve ark., 1994). BÖS ve SPAD metrenin verim ile olan ilişkisinin daha güçlü belirlenebilmesi ve ıslahta seleksiyon kriteri olarak kullanılabilmesi için bu özelliklerin farklı stres koşullarında ve farklı bitki gelişim dönemlerindeki değişimleri ve tutarlılığının belirlenmesi tavsiye edilmektedir (Yıldırım ve ark., 2009). Mısır bitkisinde yüksek sıcaklık ve buhar basıncı açıklığı (VPD), stoma iletkenliğini önemli seviyede etkilemektedir (Yang ve ark., 2012). Kuraklığı takiben net fotosentez ve su kullanım etkinliğindeki azalışa paralel olarak stomalar kademeli bir şekilde kapanmakta, stoma iletkenliği yalnızca topraktaki su içeriğiyle değil içsel ve dışsal faktörlerin karmaşık bir etkileşimiyle kontrol edilmektedir (Farooq ve ark., 2009). Yüksek sıcaklık stresi altında ekmeklik buğday genotipleri arasında stoma iletkenliği bakımından önemli farklılık olmamasına rağmen gelişim dönemlerine bağlı olarak ölçümler arasında farklılıklar bildirilmiştir (Bahar ve ark., 2011).

Kuraklık toleransına sahip nohut genotipleri sulu koşullarda vejetatif gelişim döneminde daha düşük bitki örtüsü (canopy) iletkenliğine sahipken, erken bakla doldurma döneminde bitki örtüsü iletkenliği artış göstermektedir (Zaman-Allah ve ark., 2011a). Nohutta ideal olarak kabul edilen kurağa dayanıklılık modelinde; vejetatif dönemde dayanıklı genotipler hassas genotiplerden daha az su tüketip ve daha düşük stoma iletkenlik indeksine sahip olurken, çiçeklenmeden sonra daha fazla kullanılmaktadırlar. Bu durumda nohut bitkisi kuraklığa dayanıklılık mekanizması olarak kurak koşullarda erken gelişim döneminde suyu idareli kullanarak, toprakta tane büyümesinde kullanmak üzere daha fazla su rezervi bırakarak verim stabilitesini garanti altına almakta ve bu mekanizmayı başlangıçta düşük bitki örtüsü iletkenliğiyle sağlayabilmektedir (Zaman-Allah ve ark., 2011b).

İslahta bazı arzu edilmeyen karakterleri bulundurmasının yanısıra yabancı *Cicer* türleri biyotik ve abiyotik streslere dayanıklılık sağlayan özelliklere sahiptir (Robertson ve ark., 1997; Singh ve ark., 1998; Croser ve ark., 2003). Nohutun abiyotik stres faktörlerine dayanıklılığını artırmak amacıyla, Türkiye'de yabancı nohut populasyonlarını içeren ve ana gen merkezi olarak kabul edilen 60.000 km²'lik alan içerisindeki 24 bölgeden toplanan ve bu çalışmanın materyalini oluşturan yeni yabancı nohut genotiplerinin çok geniş varyasyona sahip olduğu belirlenmiştir (von Wettberg ve ark., 2018). Örneğin bu genotipler *Helicoverpa armigera* türüne karşı diğer dayanıklı bilinen türlerden yaklaşık 3.5 kat daha dirençli genotipler içermektedir. Ayrıca *Pratylenchus thornei* ye karşı dayanıklılık yönünden bilinen dayanıklı çeşitlerden daha fazla dayanıklılığa sahiptir (Reen ve ark., 2019). Bulunan bu yabancı genotipler tane rengi ve kurağa dayanım yönünden çevresel değişimlerle ilişkili bulunmuştur. Yabancı genotipler abiyotik stres faktörlerinden kuraklığa dayanıklılıkta su kullanım yönünden kültür çeşitlerine kıyasla daha geniş varyasyon göstermiştir. Ayrıca genotipler arasında tohum besin elementi içeriği, fenoloji ve sığa tolerans yönünden geniş varyasyon mevcuttur (von Wettberg ve ark., 2018). Bu araştırmada, kontrollü koşullarda oluşturulan yüksek buhar basıncı açıklığında yabancı ile kültür nohutlarının stoma iletkenlik indeksleri yönünden değişimleri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma materyali Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2013 yılının Mayıs-Haziran ayları arasında yabancı nohut populasyonu içerdiği bilinen 60.000 km²'lik 24 alandan toplanan (GBIF.org ve genesis-pgr.org) 26 yabancı nohut genotipi ve 4 nohut çeşidinden oluşmaktadır. 26 yabancı nohut genotipinin 20 tanesi *Cicer reticulatum*, 6 tanesi *Cicer echinospermum* türü içinde yer almaktadır (Çizelge 1).

Araştırmada kullanılan kültür çeşitleri Güneydoğu Anadolu Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi'nden (GAPUTAEM) temin edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 1. Yabancı nohut genotiplerinin toplandığı bölgelere ait bilgiler.

Genotip	Tür	Biyotip	Enlem	Boylam	Yükseklik
Deste_080	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	37.78	39.17	738.86
Gunas_062	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	38.01	39.37	841.60
Karab_092	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	37.82	39.76	1264.41
Ortan_066	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	37.47	39.56	861.33
Cermik_075	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	38.05	39.42	770.30
S2Drd_065	<i>Cicer echinospermum</i>	yabani	37.82	39.64	1125.82
Egil_065	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	38.27	40.06	987.44
Egil_073	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	38.27	40.06	988.06
Kalka_064	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	38.16	40.09	841.85
Kesen_075	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	38.20	39.61	890.61
Besev_075	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.52	40.85	902.23
Besev_079	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.52	40.86	902.06
Derei_070	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.54	41.02	992.83
Derei_072	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.54	41.02	992.42
Kayat_077	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.52	40.94	1086.14
Sarik_067	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.55	41.02	1002.58
Savur_063	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.55	40.91	914.56
Bari1_092	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.49	41.37	976.17
Bari2_072N2	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.46	41.38	961.33
Bari3_072C	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.47	41.39	960.62
Bari3_100	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.47	41.39	950.74
Bari3_106D	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.47	41.39	952.13
Oyali_084	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.73	37.80	940.23
CudiB_022C	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.43	42.50	1366.59
CudiA_152	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.43	42.49	1285.94
Sirnak_060	<i>Cicer reticulatum</i>	yabani	37.54	42.45	1658.92

Çizelge 2. Denemede kullanılan genotip ve kaynak bilgileri.

Çeşit ismi	Tür	Bio-tip	Hat	Kaynak	İslah yöntemi
Çağatay	<i>Cicer arietinum</i>	kültür	FLIP-89-7-C	ICARDA	İntrodüksiyon
Dikbaş	<i>Cicer arietinum</i>	kültür	FLIP-85-58	ICARDA	İntrodüksiyon
Diyar-95	<i>Cicer arietinum</i>	kültür	FLIP-83-47-C	ICARDA	İntrodüksiyon
Gökçe	<i>Cicer arietinum</i>	kültür	FLIP-87-8-C	ICARDA	İntrodüksiyon

Ekimden önce yabancı nohut genotiplerinin tohum kabuğu kırma işlemi yapılmıştır. Ardından ön çimlendirmesini sağlamak için steril petri kaplarında saf su içinde 25°C'de 3 gün süre ile karanlık koşullarda çimlendirmeye alınmıştır. Petri kaplarındaki saf su hastalık ve diğer zararlı etkenlerin bulaşmasını engellemek için 12 saatte bir yenilenmiştir.

Sera koşullarında bitki yetiştirme amaçlı 6 inç (18.5 cm tavan çapı, 15.5 cm taban çapı ve 16 cm yükseklik) ebatında saksılar kullanılmıştır. Denemede vertisol özellikteki toprak kullanılmış, topraklar 1.0 cm'den büyük taş ve atık maddelerden ayıklanmış ve hassas terazi (0.01 gr hassasiyetli Mettler Toledo ML4002/01) ile ~3.750 kg olacak şekilde tartılarak saksılara doldurulmuştur. Kullanılan toprak killi tınlı yapıya sahip su tutabilen toprak yapısındadır.

Çimlendirilmiş ve ilk kökçük çıkışı sağlanmış tohumlar kökçüklerine zarar vermemek için önceden toprakta

uygun gözenekler açılarak her bir saksıya 4 tohum olacak şekilde ekilmiştir. Ekim yapıldıktan hemen sonra saksılara tohum çıkışını sağlamaya yetecek kadar su verilmiştir. Toprağın aşırı killi olması ve yabancı nohutların kültür koşullarında yetiştirilmesinin zor ve çimlenme aşamasında kırılğan olması nedeniyle bitkilerin çıkışını takiben toprak çatlamasını önlemek ve herhangi bir stres oluşmasına izin vermemek için tüm saksılara düzenli su verilerek bitkilerin gelişimi sağlanmıştır. Ekimden iki hafta sonra saksılarda birbirine eşit ve sağlıklı bitkiler kalacak şekilde seyreltme yapılmış ve her saksıda iki bitki bırakılmıştır. Bitkinin köklerinin toprakta iyi gelişmesini sağlamak için metal bir kazıyıcıyla bitkinin köklerine zarar vermeyecek şekilde düzenli aralıklarla 2 cm derinliğinde toprak yüzeyi karıştırılarak toprak havalandırılmıştır. Bitkilerin sera içinde çevre koşullarından eşit seviyede etkilenmeleri için saksıların yeri ölçümler başlayana kadar 3-4 kez değiştirilmiştir. Bitkiler gözlem zamanına kadar Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi sera koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yetiştirilmiştir.

Stoma iletkenlik indeksi hesaplamaları çiçeklenme öncesi ve bakla dolum dönemi olmak üzere iki farklı gelişim döneminde ölçülmüştür. Bu döneme kadar bitkiler serada yetiştirilmiş, artan VPD koşullarında ölçüm yapmak için ölçümden bir gün önce bitkiler sıcaklık, nem ve ışığın ayarlanabildiği kontrollü bitki yetiştirme kabinine aktarılmıştır. Stoma iletkenlik indeksi ölçümleri çiçeklenme öncesi vejetatif gelişim döneminde ekimden 64 gün sonra 920 °C gün sıcaklık toplamında ve bakla dolum döneminde ekimden 92 gün sonra 1475 °C gün sıcaklık toplamında ölçülmüştür. Derece gün (°C) sıcaklık değeri ekimden sonra 0°C'nin üzerindeki günlük ortalama sıcaklıkların toplanmasıyla belirlenmiştir.

Kontrollü koşullarda sıcaklık ve nem ayarlanarak farklı VPD koşulları oluşturulmuştur. Farklı ölçüm dönemlerinde elde edilen VPD değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Bitki sıcaklığı en yüksek VPD değerinde (en yüksek sıcaklık ve en düşük nem) FLIR E60 termal kamera ile (harici optik iletkenliği 1, emisyonu 0.95) ölçülmüştür. Termal kameradan elde edilen görüntüler FLIR software programı kullanılarak bitkide 30-50 yaprakçığı içerecek şekilde ortalama sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür.

Bitki topluluğu sıcaklığından stoma iletkenliği indeksini belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Jones 1999, Zaman Allah 2011b):

$$I_g = \frac{T_{kuru} - T_{bitki}}{T_{bitki} - T_{yaş}}$$

Bu formülde: I_g : Stoma iletkenliği indeksi, $T_{yaş}$: turgor halindeki bitki sıcaklığı (°C), T_{kuru} : transpirasyon yapmayan kuru yaprak yüzey sıcaklığı (°C) ve T_{bitki} : saksıdaki bitkilerin infrared thermal kamera ile ölçülen bitki sıcaklığıdır (°C). $T_{yaş}$ bitkiden koparılıp 5 dakika boyunca su içinde bekletilerek turgor haline getirilen bitki yüzeyinden, T_{kuru} 48 saat boyunca fırında kurutulan yaprak yüzeyinden ölçülmüştür.

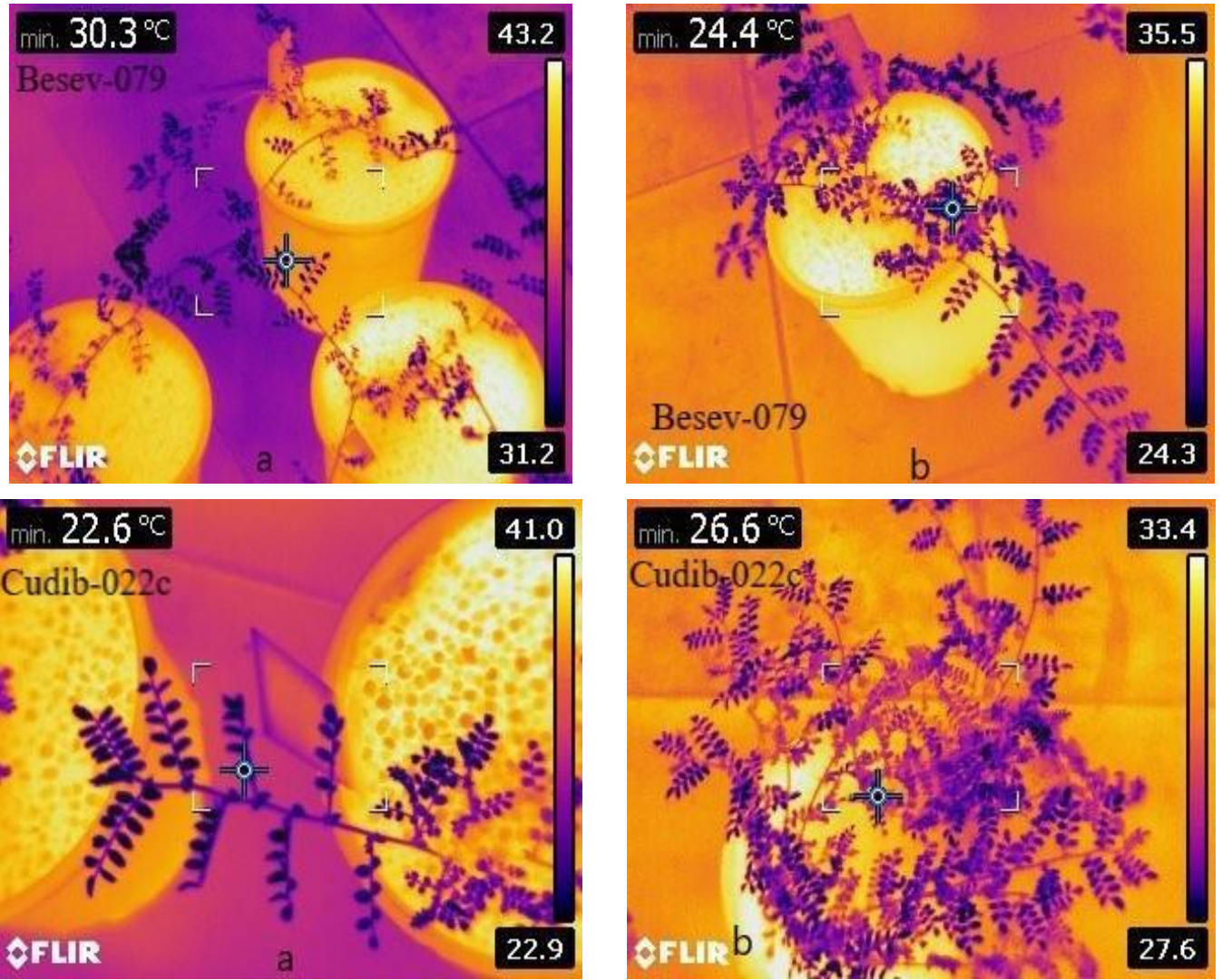
Veriler ölçüm dönemleri ana faktör, genotipler alt faktör olacak şekilde bölünmüş parseller deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testi ile %5 önem seviyesinde SAS İstatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. Bitki sıcaklıklarının ölçüldüğü iklim kabininde günün değişen saatlerindeki sıcaklık, nem ve bunlar üzerinden hesaplanan VPD değerleri

Çiçeklenme Öncesi Dönem	Sıcaklık (°C)	RH (%)	VPD (kPa)	Bakla Dolum Dönemi	Sıcaklık (°C)	RH (%)	VPD (kPa)
08:00	28	71	1.1	08:00	28	71	1.1
09:30	31	59	1.84	09:30	31	62	1.71
11:00	32	55	2.14	11:00	32	57	2.04
12:30	34	50	2.66	12:30	34	52	2.55
14:00	35	47	2.98	14:00	35	49	2.87
15:30	37	44	3.51	15:30	37	45	3.45
17:00	37.8	40	3.93	17:00	37.8	42	3.8

Bulgular ve Tartışma

Çiçeklenme öncesi ve bakla dolum döneminde yabancı nohut genotiplerinin termal kamera ölçümleri iklim kabininde gün boyu ölçülmüş (Şekil 1) ve VPD'nin en yüksek olduğu zamanda sıcaklık değerleri stoma iletkenliği indeksini belirlemek için kullanılmıştır. Bitki sıcaklık değerleri ve stoma iletkenlik indeksi değerleri Çizelge 4'te ve gelişim dönemlerine göre genotip ve tür farklılıklarını gösteren I_g değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



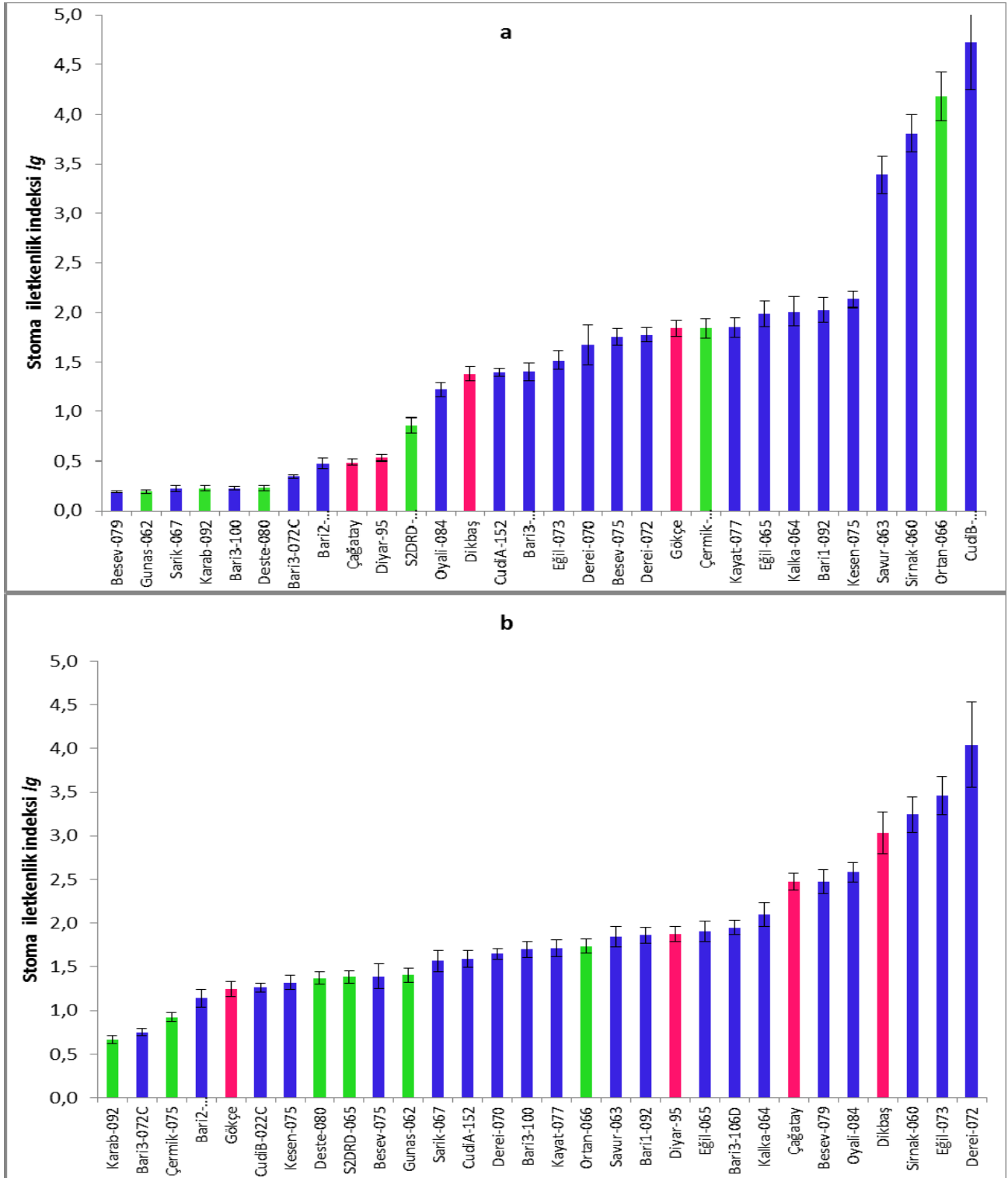
Şekil 1. Çiçeklenme öncesi (a) ve bakla dolum döneminde (b) "Besev-079" ve "Cudib-022c" yabancı nohut genotiplerinin termal kamera ile ölçülen bitki sıcaklık değerleri

En yüksek VPD koşullarında bitki sıcaklığı çiçeklenme öncesi dönemde 23.51-31.15 °C arasında, bakla dolum döneminde 23.78-28.40 °C arasında değişmiştir. Bitki sıcaklığı yönünden genotipler arasında yüksek varyasyon olduğu ve buna bağlı olarak bitki örtüsü serinliği ve stoma iletkenlik indeksi değerlerinin de büyük değişim gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4 ve Şekil 2).

Çiçeklenme öncesi dönemde en düşük bitki sıcaklığı CudiB-022C (*C. reticulatum*) genotipinden elde edilirken, Besev-079 genotipi en yüksek bitki sıcaklığına sahip olmuştur (Şekil 1). Bakla dolum dönemi en düşük bitki sıcaklığı sırasıyla Derei-072, Eğil-073, Sırnak-060 ve Dikbaş genotiplerinden elde edilmiştir. *C. echinospermum* Karab-092 genotipi en yüksek bitki sıcaklığına sahip olmuştur (Çizelge 4).

Stoma iletkenlik indeksi (*lg*) hem çiçeklenme öncesi hem de bakla dolum aşamasında kültür ve yabancı nohutlar arasında geniş varyasyon göstermiştir. Çiçeklenme öncesi dönem bitkilerinde stoma iletkenlik indeksinin 4.72 – 0.19, bakla dolum gelişim döneminde 4.04 – 0.67 arasında değiştiği bulunmuştur (Çizelge 4 ve Şekil 2). *lg* değerinin yüksekliği genotiplerin yüksek transpirasyon yaptığını temsil etmektedir. Kültür çeşitleri içinde en yüksek stoma iletkenliği Dikbaş, en düşük stoma iletkenliği Gökçe çeşidinde ölçülmüştür. *C. echinospermum* genotiplerinin çiçeklenme öncesi ile bakla dolum dönemlerinde ortalama stoma iletkenlik indekslerinin değişmediği buna karşın *C. arietinum* ve *C. reticulatum* genotiplerinde bakla dolum döneminde artış olduğu, dolayısıyla transpirasyonlarını arttırdığı gözlemlenmiştir. Yabancı türlerin *lg* ortalaması çiçeklenme öncesi dönemde kültür genotiplerinden yüksekken, bakla dolum döneminde düşüş göstermiştir. Bu durum yabancı genotiplerin bakla dolum döneminde kendilerini korumaya aldığı göstergesi olabilir. Bu mekanizma generatif dönem öncesi kuraklığın yaşandığı ve generatif dönemde yağışın geldiği ekolojilerde daha önemli olabilir. Çiçeklenme öncesi dönemde 11, bakla dolum döneminde ise 5 yabancı nohut genotipinde *lg* değeri kültür çeşitleri ortalamasından daha yüksek bulunmuştur. Eğil-073 ve Sırnak 060 yabancı genotipleri her iki dönemde kültür genotiplerinden yüksek *lg* ye sahip olarak sıcaklık stresine karşı

stabil dayanım göstermiştir. Yabani genotiplerde her iki ölçüm döneminde de artı ve eksi yönde ekstrem *I_g* değerlerinin bulunması, farklı ekolojilere ve farklı gelişim dönemlerinde yaşanan sıcak ve kurak stresine karşı kullanılabilme potansiyelini artırmaktadır. Bununla birlikte Zaman-Allah ve ark. (2011a), sera koşullarındaki kuraklık stresine toleranslı ve hassas nohut genotipleri arasında stoma iletkenlik indeksinin ayırt edici olmadığını, buna karşın doğal ortam koşullarında yapılan ölçümlerde toleranslı ve hassas genotiplerin gösterdiği stoma iletkenlik indeksinin ayırt edici olduğu ve toleranslı genotiplerin daha düşük stoma iletkenlik indeksine sahip olduğu belirtilmiştir. Kontrollü koşullardaki durumun ölçüm sırasında thermal kameranın ortamdaki yansıyan sıcaklık değerlerinin etkisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu nedenle kontrollü koşul verileri değerlendirilirken daha dikkatli davranılmalıdır.



Şekil 2. Yabani ve kültür nohut genotiplerinin çiçeklenme öncesi (a) ve bakla dolum dönemi (b) stoma iletkenlik indeksi ve standart hata değerleri

Çizelge 4. Yabani ve kültür nohut genotiplerinin çiçeklenme öncesi ve bakla dolum döneminde bitki sıcaklığı ve stoma iletkenlik indeksi değerleri

Genotip	Tür	BS ÇÖ (°C)	BS BD (°C)	Ig ÇÖ	Ig BD
Çağatay	<i>C.arietinum</i>	29.22	24.81	0.49	2.47
Dikbaş	<i>C.arietinum</i>	26.32	24.35	1.39	3.04
Diyar-95	<i>C.arietinum</i>	29.00	25.50	0.53	1.88
Gökçe	<i>C.arietinum</i>	25.55	26.62	1.84	1.25
Cermik-075	<i>C.echinospermum</i>	25.55	27.48	1.84	0.92
Deste-080	<i>C.echinospermum</i>	30.85	26.35	0.23	1.37
Gunas-062	<i>C.echinospermum</i>	31.13	26.28	0.19	1.41
Karab-092	<i>C.echinospermum</i>	30.87	28.40	0.23	0.67
Ortan-066	<i>C.echinospermum</i>	23.72	25.70	4.18	1.74
S2DRD-065	<i>C.echinospermum</i>	27.69	26.32	0.86	1.39
Bari1-092	<i>C.reticulatum</i>	25.30	25.52	2.03	1.86
Bari2-072N2	<i>C.reticulatum</i>	29.29	26.87	0.48	1.14
Bari3-072C	<i>C.reticulatum</i>	30.05	28.07	0.35	0.75
Bari3-100	<i>C.reticulatum</i>	30.87	25.76	0.23	1.70
Bari3-106D	<i>C.reticulatum</i>	26.29	25.40	1.40	1.95
Besev-075	<i>C.reticulatum</i>	25.68	26.31	1.75	1.39
Besev-079	<i>C.reticulatum</i>	31.15	24.81	0.19	2.47
CudiA-152	<i>C.reticulatum</i>	26.30	25.94	1.40	1.59
CudiB-022C	<i>C.reticulatum</i>	23.51	26.58	4.72	1.26
Derei-070	<i>C.reticulatum</i>	25.80	25.84	1.67	1.65
Derei-072	<i>C.reticulatum</i>	25.65	23.78	1.77	4.04
Eğil-065	<i>C.reticulatum</i>	25.35	25.46	1.99	1.90
Eğil-073	<i>C.reticulatum</i>	26.07	24.08	1.52	3.46
Kalka-064	<i>C.reticulatum</i>	25.32	25.21	2.01	2.10
Kayat-077	<i>C.reticulatum</i>	25.54	25.74	1.85	1.71
Kesen-075	<i>C.reticulatum</i>	25.17	26.46	2.13	1.32
Oyali-084	<i>C.reticulatum</i>	26.67	24.71	1.22	2.58
Sarik-067	<i>C.reticulatum</i>	30.89	25.98	0.22	1.57
Savur-063	<i>C.reticulatum</i>	24.12	25.54	3.39	1.85
Sirnak-060	<i>C.reticulatum</i>	23.89	24.21	3.81	3.24
Ortalamalar					
<i>C.arietinum</i>		27.52	25.32	1.05	2.16
<i>C.reticulatum</i>		26.64	25.61	1.70	1.98
<i>C.echinospermum</i>		28.30	26.75	1.25	1.25
%CV		3.73		40.8	
Kareler Ort genotip		111.3	**	30.14	**
Kareler Ort dönem		625.6	**	39.40	**
LSD genotip		0.387		0.271	
LSD dönem		0.102		0.071	

BS: Bitki Sıcaklığı, Ig: stoma iletkenlik indeksi, ÇÖ: Çiçeklenme öncesi, BD: Bakla dolum dönemi, **, P<0.01

Belko ve ark. (2012) şiddetli stres şartlarında (yüksek VPD ve su stresi) toleranslı hatların daha yüksek transpirasyon hızı ve bitki örtüsü serinliği gösterdiğini, stressiz sulu koşullarda toleranslı ve hassas genotiplerin bitki örtüsü serinliğinin farksız olduğunu bildirmişlerdir. Düşük stoma iletkenliğinin bitkinin su kullanımı ve gelişimini sınırladığını, toleranslı genotiplerin toprak nemi azalana kadar şiddetli stres şartları altında transpirasyon hızını sürdürdüklerini bildirmişlerdir. Dolayısıyla düşük stoma iletkenliğine sahip yabani genotipler azalan toprak nemi altında transpirasyonlarını devam ettirerek daha uzun süre hayatta kalabilirler ve bu amaçla ıslahta kullanılabilirler. Ayrıca genel olarak stoma iletkenliği yönünden yabani nohut genotipleri arasında çok geniş varyasyonun bulunması bunların sıcağa dayanıklı genotip geliştirilmesinde ön ıslah (pre-breeding) çalışmalarında donör bitki olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Yıldırım ve ark., 2009).

Buğdayda yüksek VPD koşullarında transpirasyon %2-22 oranında artarken fotosentetik su kullanım etkinliği %24-64 azalma göstermiştir (Rashid ve ark., 2018). Bu durum sıcaklık stresi altında artan transpirasyonun her zaman etkin bir şekilde kuru madde üretimine dönüştürülemediği, dolayısıyla yüksek stoma iletkenliği ile fotosentez aktivitesi ve su kullanım etkinliği ilişkilerine bakılması gerektiğini göstermektedir. Bu bakımdan yüksek stoma iletkenliğine sahip yabani nohutların ayrıca kuru madde üretkenliği yönünden teste tabi tutulması gerekmektedir.

Bu çalışmada *lg* çok sayıda nohut genotipinde başarılı bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu yöntemde yaş ve kuru referans yapraklarının hazırlanması fazla iş gücü gerektirmesi nedeniyle tarla koşullarında uygulanmasını sınırlayıcı olacaktır (Jones ve ark., 2009). Bununla birlikte açık ve rüzgarsız havalarda *lg* güçlü ve stabil performans gösterirken (Grant ve ark., 2007; Möller ve ark., 2007), güneş ışınlarının az veya değişken olduğu hava koşullarında doğruluğu azalmıştır. Bu açıdan sabit ışık koşullarında elde ettiğimiz *lg* değerleri stoma iletkenliğini daha doğru bir şekilde temsil edecektir. Farklı açık havada ölçülen *lg* değerlerinde yaprak sıcaklığında rüzgar, ışık enerjisi ve farklı yaprak açıları gibi nedenlerle ölçümler arasında geniş varyasyon meydana gelmiştir (Jones ve ark., 2009; Kaukoranta ve ark., 2005; Grant ve ark., 2007). Tam kontrollü koşullarda ölçüm yapılmasına rağmen bu çalışmada da ölçümler arasında varyasyon meydana gelmiştir. Maes ve ark. (2011) *lg* nin kullanılabilirliğini inceledikleri çalışmada, *Jatropha curcas* bitkisinde porometre ile ölçülen stoma iletkenliği ile *lg* arasında güçlü korelasyon bildirmeleri *lg* ölçümlerinin pratik olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç

Çalışmada incelenen ve genel anlamda yüksek genotipik varyasyona sahip yabancı nohut genotiplerinde bitki sıcaklığı ve stoma iletkenliği yönünden de değişim sınırları çok geniş bulunmuştur. Yüksek stoma iletkenlik indeksi değerine sahip olan Egil-073 ve Sırnak-060 yabancı genotiplerinin sıcağa dayanıklılık gen bölgelerine sahip olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar mevcut genotiplerin nohutta sıcağa ve kurağa dayanıklılık ıslah programlarında başlangıç materyali olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Daha güvenilir sonuçlar almak için yüksek ve düşük değere sahip genotiplerin tarla da sıcak ve kuraklık yönünden stresli ve stressiz koşullarda test edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından DÜPAP ZİRAAT.17.026 nolu proje ile desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan 26 yabancı genotipe ait tohum materyallerini sağlayan Harran Üniversitesi Tarla Bitkileri Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Abdullah Kahraman'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Amthor JS, 2001. Effects of atmospheric CO₂ concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO₂ concentration. *Field Crops Research*, 73: 1-34.
- Bahar B, Yıldırım M, Barutcular C, 2009. Relationships between stomatal conductance and yield components in spring durum wheat under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 45-48.
- Bahar B, Yıldırım M, Yucel C, 2011. Heat and drought resistance criteria in spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Morpho-physiological parameters for heat tolerance. *Scientific Research and Essays*, 6 (10): 2212-2220.
- Bavec F, Bavec M, 2001. Chlorophyll meter readings of winter wheat cultivars and grain yield prediction. *Commun. Soil Sci. Plant Anal. Res.*, 32: 2709-2719.
- Belko N, Zaman-Allah M, Cisse N, Diop NN, Zombre G, Ehlers JD, Vadez V, 2012. Lower soil moisture threshold for transpiration decline under water deficit correlates with lower canopy conductance and higher transpiration efficiency in drought-tolerant cowpea. *Functional Plant Biology*, 39 (4): 306-322.
- Croser JS, Ahmad F, Clarke HJ, Siddique KHM, 2003. Utilisation of wild Cicer in chickpea improvement-progress, constraints, and prospects. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54 (5): 429-444.
- Fang X, Turner NC, Yan G, Li F, Siddique KHM, 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *Journal of Experimental Botany*, 61 (2): 335-345.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA, 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185-212.
- Fischer RA, Rees D, Sayre KD, Lu ZM, Condon AG, Larque-Saavedra A, 1998. Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.*, 38: 1467-1475.
- Grant OM, Tronina L, Jones HG, Chaves MM, 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *J. Exp. Bot.* 58 (4), 815-825.
- Jones HG, 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and forest meteorology*, 95(3):139-149.
- Jones HG, Serraj R, Loveys BR, Xiong LZ, Wheaton A, Price AH, 2009. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Funct. Plant Biol.* 36 (10-11), 978-989.
- Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Reginato RJ, Hatfield JL, 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24 (1), 45-55.
- Kaukoranta T, Murto J, Takala J, Tahvonen R, 2005. Detection of water deficit in greenhouse cucumber by infrared thermography and reference surfaces. *Sci. Hortic.* 106 (4), 447-463.

- Koç M, Barutçular C, Genç Đ, 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in a Mediterranean environment. *Crop Science*; 43, 6; 2089-2097.
- Koç M, Barutçular C, Tiryakioğlu M, 2008. Possible heat-tolerant cultivar improvement through the use of flag leaf gas exchange traits in a Mediterranean environment. *J Sci Food Agric. Res.*, 88: 1638-1647.
- Maes W, Achten WMJ, Reubens B, Muys B, 2011. Monitoring stomatal conductance of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of water shortage with infrared thermography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(5), 554-564.
- Möller M, Alchanatis V, Cohen Y, Meron M, Tsipris J, Naor A, Ostrovsky V, Sprintsin M, Cohen S, 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 58 (4), 827-838.
- Upadhyaya HD, Kashiwagi J, Varshney RK, Gaur PM, Saxena KB, Krishnamurthy L, Gowda CLL, Pundir RPS, Chaturverdi SK, Basu PS, Singh IP, 2010. Phenotyping chickpeas and pigeonpeas for adaptation to drought. Monneveux, P., Ribaut, J.M. Drought phenotyping in crops: from theory to practice. Generation Challenge Programme. *Cultivating Plant Diversity For the Resource-Poor*, 347-355, India.
- Rashid MA, Andersen MN, Wollenweber B, Zhang X, Olesen JE, 2018. Acclimation to higher VPD and temperature minimized negative effects on assimilation and grain yield of wheat. *Agricultural and forest meteorology*, 248: 119-129.
- Reen RA, Mumford MH, Thompson JP, 2019. Novel sources of resistance to root-lesion nematode (*Pratylenchus thornei*) in a new collection of wild *Cicer* species (*C. reticulatum* and *C. echinospermum*) to improve resistance in cultivated chickpea (*C. arietinum*). *Phytopathology*, 109(7), 1270-1279.
- Reynolds MP, Balota M, Delgado MIB, Amani I, Fischer RA, 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot irrigated conditions. *Aust. J. Plant Physiol. Res.*, 21:717- 730.
- Reynolds MP, Nagarajan S, Razzaque MA, Ageeb OAA, 2001. Heat tolerance. "Alınmıştır: Application of physiology in wheat breeding. (Editörler: M.P. Reynolds, I. Ortiz- Monasterio., A. McNab). Mexico, DF, CIMMYT.
- Robertson LD, Ocampo B, Singh KB, 1997. Morphological variation in wild annual *Cicer* species in comparison to the cultigen. *Euphytica*, 95 (3): 309-319.
- Singh KB, Ocampo B, Robertson LD, 1998. Diversity for abiotic and biotic stress resistance in the wild annual *Cicer* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 45 (1): 9-17.
- Soltani A, Galeshi S, 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. *Field Crops Research*, 77:17-30.
- von Wettberg EJ, Chang PL, Başdemir F, Carrasquilla-Garcia N, Korbu LB, Moenga SM, Bedada G, Greenlon A, Cook DR, 2018. Ecology and genomics of an important crop wild relative as a prelude to agricultural innovation. *Nature communications*, 9 (1): 649.
- Yang Z, Sinclair TR, Zhu M, Messina CD, Cooper M., Hammer GL, 2012. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 78: 157-162.
- Yıldırım M, Akinci C, Müjde KOÇ, Barutçular C, 2009. Bitki örtüsü serinliği ve klorofil miktarının makarnalık buğday ıslahında kullanım olanakları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24 (3): 158-166.
- Zaman-Allah M, Jenkinson DM, Vadez V, 2011a. Chickpea genotypes contrasting for seed yield under terminal drought stress in the field differ for traits related to the control of water use. *Functional Plant Biology*, 38 (4): 270-281.
- Zaman-Allah M, Jenkinson DM, Vadez V, 2011b. A conservative pattern of water use, rather than deep or profuse rooting, is critical for the terminal drought tolerance of chickpea. *Journal of Experimental Botany*, 62 (12): 4239- 4252.