



Çimlenme ve Çıkış Dönemlerindeki Yüksek Sıcaklıklara Toleranslı Mercimek Çeşitlerinin Stres İndeksleri ve Rank Analizi ile Seçimi

Selection of Lentil Cultivars Tolerant to High Temperatures During Germination and Emergence Stages Based on Tolerance Indices and Rank Analysis

Ali ÖZTÜRK¹, Aleyna DURLU², Hasan KARTAY³

¹Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum
· aozturk@atauni.edu.tr · ORCID > 0000-0001-7673-114X

²Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum
· aleynadumlu24@gmail.com · ORCID > 0000-0002-0976-2330

³Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum
· hasan.k@atauni.edu.tr · ORCID > 0000-0002-0603-8478

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 27 Eylül/September 2024

Kabul Tarihi/Accepted: 19 Kasım/November 2024

Yıl/Year: 2025 | **Cilt-Volume:** 40 | **Sayı-Issue:** 1 | **Sayfa/Pages:** 39-52

Atıf/Cite as: Öztürk, A., Durlu, A., Kartay, H. "Çimlenme ve Çıkış Dönemlerindeki Yüksek Sıcaklıklara Toleranslı Mercimek Çeşitlerinin Stres İndeksleri ve Rank Analizi ile Seçimi" Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 40(1), Şubat 2025: 39-52.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ali ÖZTÜRK

ÇİMLENME VE ÇIKIŞ DÖNEMLERİNDEKİ YÜKSEK SICAKLIKLARA TOLERANSLI MERCİMEK ÇEŞİTLERİNİN STRES İNDEKSLERİ VE RANK ANALİZİ İLE SEÇİMİ

ÖZ

Erken gelişme dönemlerindeki yüksek sıcaklıklar mercimeğin fide tesisi ve tane verimini sınırladığından, yüksek ve istikrarlı verimler için sıcağa toleranslı genotiplerin seçimi esastır. Bu çalışmada, çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri esas alınarak, 16 mercimek çeşidi yedi farklı stres indeksi [stres hassasiyet indeksi (SHİ), stres tolerans indeksi (STİ), nispi sıcaklık indeksi (NSİ), sıcağa dayanıklılık indeksi (SDİ), geometrik ortalama verimlilik (GOV), tolerans indeksi (Tİ), yüksek sıcaklık tolerans indeksi (YSTİ)] ve rank analiz yöntemi ile yüksek sıcaklığa tolerans bakımından değerlendirilmiştir. Stres koşullarında en yüksek çimlenme güç indeksleri Çağıl, Gümrah, Fırat 87 ve Meyveci 2001; en yüksek çıkış güç indeksleri ise Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001 ve Bozok çeşitlerinde belirlenmiştir. Çeşitlerin sıcaklık stresine tolerans sıraları stres indekslerine göre farklılık göstermiştir. Ölçüt değerleri ile olumlu ve önemli ilişkileri nedeniyle, sıcağa toleranslı genotiplerin seçimi için en uygun stres indekslerinin STİ ve GOV olduğu sonucuna varılmıştır. Stres indekslerinin kombinasyonu (rank analizi), Gümrah ve Meyveci 2001 çeşitlerinin yüksek sıcaklıklara en toleranslı; Kayı 91, Tigris, Ankara Yeşili ve Ceren çeşitleri ise en duyarlı olduğunu göstermiştir. Gümrah ve Meyveci 2001 çeşitleri, yüksek sıcaklığa toleransı geliştirmek ve sürdürülebilir üretim için potansiyel genetik kaynaklar olarak tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çıkış Güç İndeksi, Çimlenme Güç İndeksi, Lens Culinaris Medik, Stres Tolerans İndeksi.



SELECTION OF LENTIL CULTIVARS TOLERANT TO HIGH TEMPERATURES DURING GERMINATION AND EMERGENCE STAGES BASED ON TOLERANCE INDICES AND RANK ANALYSIS

ABSTRACT

Since high temperatures at the early growth stages limit seedling establishment and grain yield of lentil, selection of heat-tolerant genotypes is essential for high and stable grain yields. The heat tolerance of 16 lentil cultivars were determined by seven stress indices [(stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), relative heat index (RHI), heat resistance index (HRI), geometric mean productivity (GMP), tolerance index (TI), high temperature tolerance index (HTTI)]

and ranking method based on germination vigor index and emergence vigor index criteria. Under stress conditions, the highest germination vigor indices were obtained from cv. Çağıl, Gümrah, Fırat 87 and Meyveci 2001; the highest emergence vigor indices were obtained from cv. Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001 and Bozok. The tolerance rankings of the varieties to heat stress varied according to the stress indices. STI and GMP were found to be positive significant association with the criterion values and identified as the most suitable stress indices for the selection of genotypes with heat tolerant. Based on combination of the stress indices (ranking method), cv. Gümrah and Meyveci 2001 were selected as the most heat tolerant, while cv. Kayı 91, Tigris, Ankara Yeşili and Ceren as the most heat sensitive. Gümrah and Meyveci 2001 cultivars can be used as potential genetic resources to improve high temperature tolerance and for sustainable production.

Keywords: Emergence Vigor Index, Germination Vigor Index, Lens Culinaris Medik, Stress Tolerance Index.



1. GİRİŞ

Mercimek, zengin protein kaynağı olarak insan beslenmesindeki yeri yanında, kuru tarım alanlarında ekim nöbeti ve nadas alanlarını değerlendirme potansiyeli nedeniyle önemli bir yemeklik baklagildir. Bir serin iklim bitkisi olan mercimek kışlık ekilebilir, erken gelişme dönemlerinde düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar ve yüksek sıcaklıklara duyarlıdır (Sita ve ark., 2017; Venugopalan ve ark., 2021). Küresel iklim değişikliği sürecinde 21. yüzyılda dünya yüzey sıcaklığının 2-6 °C artacağı ve artan sıcaklıkların bitki gelişmesi ve verimleri olumsuz etkileyeceği öngörülmektedir (Basu ve ark., 2022). Serin iklim bitkileri için 25 °C eşik değer olup, yüksek sıcaklıklar solunum ve transpirasyonun artmasına, su kaybına, stomaların kapanmasına, metabolik etkinliğin azalmasına, az sayıda ve küçük organlar oluşmasına, gelişmenin hızlanmasına, vejetasyon süresinin kısılmasına ve asimilasyonun azalmasına neden olur (Maestri ve ark., 2002; Driedonks ve ark., 2016; Sita ve ark., 2017). Tohum çimlenmesi ve fide çıkışı, mercimeğin hayat devresindeki önemli gelişme dönemleridir ve geniş sıcaklık aralığında çimlenebilme ve çıkış kabiliyeti, erken ve tam fide tesisi için kritik önem taşır (Makkavi ve ark., 2008; Das ve Islam, 2018; Rich ve ark., 2022). Yüksek sıcaklık stresi solunum hızını artırarak tohumdaki besin rezervlerini azaltır, enzim aktivitesini, rezervlerin embriyoya taşınmasını ve embriyo canlılığını sınırlar, metabolik bozulmalara neden olarak çimlenme ve sürme gücünü azaltır, fide gelişmesini zayıflatır ve toprak kaynaklı hastalıklara duyarlılığı artırır (Singh ve Dhaliwal, 1972; Lafond ve Fowler, 1989; Hasan ve ark., 2004; Wahid ve ark., 2007; Watt ve Bloomberg, 2012).

Mercimeğin vejetatif ve generatif gelişmesi üzerine yüksek sıcaklıkların etkisine ilişkin araştırmalar sınırlıdır (Sita ve ark., 2017). Yüksek sıcaklık stresine tepkinin fizyolojik ve genetik esaslarının açıklığa kavuşturulmasına yönelik çalışmalarla birlikte, genotiplerin yüksek sıcaklığa toleranslarını değerlendirmek için stres indekslerine de ihtiyaç vardır (Porch, 2006). Bu indeksler, genellikle tane verimi esaslı olmakla birlikte, bir verim unsuru veya verimle ilgili bir özellik esas alınarak da hesaplanabilir (Rosielle ve Hamblin, 1981; Ozkan ve ark., 1998). Nitekim yüksek sıcaklığa toleranslı genotiplerin seçiminde buğdayda 1000 tane ağırlığı ve kanopi sıcaklığı (Paliwal ve ark., 2012), mercimekte fide ağırlığı (Chakraborty ve Pradhan, 2011) ve çimlenme hızı (Bankar ve ark., 2023) esas alınmıştır. Buğdayda çiçeklenme ve tane dolmuş dönemlerdeki yüksek sıcaklık stresine toleransı farklı indeksler ile inceleyen Puri ve ark. (2015) ve Poudel ve ark. (2021), ortalama verimlilik, geometrik ortalama verimlilik ve stres tolerans indeksini hem kontrol hem de stres koşullarında yüksek verimli genotiplerin seçimi için uygun indeksler olarak tanımlamışlardır. Lamba ve ark. (2023), buğdayda yüksek sıcaklık stresine toleranslı genotiplerin seçimi için stres tolerans indeksi, ortalama verimlilik, geometrik ortalama, harmonik ortalama ve ortalama nispi performans indekslerini önermişlerdir. Porch (2006), stres tolerans indeksi ve geometrik ortalama indekslerini sıcağa toleranslı fasulye genotiplerinin seçimi için etkili indeksler olarak tanımlamıştır. Hamza ve ark. (2023), sıcağa toleranslı nohut genotiplerinin seçimi için geometrik ortalama verimlilik, verim indeksi, stres hassasiyet indeksi, stres tolerans indeksi ve nispi sıcaklık indeksinin; Sunil ve ark. (2023) ise ortalama verimlilik, geometrik ortalama verimlilik, harmonik ortalama, sıcağa dayanıklılık indeksi ve modifiye sıcaklık tolerans indeksinin kullanılabilirliğini bildirmişlerdir. El haddad ve ark. (2020), 162 mercimek genotipinde çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklığa toleranslı genotipleri tane verimi esaslı sıcaklık tolerans indeksi ile belirlemişlerdir. Aktar Uz Zaman ve ark. (2022), mercimekte yüksek sıcaklığa toleransı 12 farklı stres indeksi ile araştırmışlar, geometrik ortalama verimlilik, ortalama verimlilik, sıcaklık dayanıklılık indeksi, stres tolerans indeksi, verim indeksi, verim stabilite indeksi, abiyotik tolerans indeksi ve modifiye stres tolerans indeksini en gerçekçi indeksler olarak belirlemişlerdir. Delahunty ve ark. (2023), mercimekte yüksek sıcaklığa toleransı verim stabilite indeksi, stres tolerans indeksi ve yüksek sıcaklık tolerans indeksi ile değerlendirmişler, toleranslı genotiplerin seçimi için yüksek sıcaklık tolerans indeksini önermişlerdir. Aberkane ve ark. (2021), ideal indeksin stresin süresi, şiddeti ve bitki gelişme dönemine göre değiştiğine, farklı indekslerin kombinasyonu ile kurağa ve sıcağa toleransta seleksiyon etkinliğinin artacağına dikkat çekmişlerdir.

Yüksek sıcaklıkların verim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmanın en akılcı yollarından biri de tohum çimlenmesi ve fide çıkış dönemlerindeki yüksek sıcaklıklara toleranslı yeni çeşitler geliştirmektir (Delahunty, 2021; Basu ve ark., 2022). Genetik özelliklerin adaptasyonda önemli role sahip olduğu bilinmesine karşın, yüksek sıcaklığa tolerans bakımından mercimekteki genetik potansiyel ortaya tam

olarak konulamamıştır (Delahunty ve ark., 2015). Çimlenme güç indeksi, tohumluğun çimlenme sürecindeki aktivite ve performansını belirleyen özellikler toplamının (Gupta, 1993), çıkış güç indeksi ise çıkış yüzdesi ve erken fide gelişme durumunun (Kumar ve ark., 2018) göstergesi olup, bu ölçütler genotiplerin farklı çevre koşullarındaki performanslarını tahmin için güvenle kullanılabilir. Bu çalışmada, mercimek çeşitlerinin çimlenme ve çıkış dönemlerindeki yüksek sıcaklıklara toleransları çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri esas alınarak yedi farklı stres indeksi ile incelenmiştir. Seleksiyon etkinliğini artırmak için çeşitlerin her bir stres indeksine ait rank değerlerinden rank toplamı değerleri hesaplanmış (indekslerin kombinasyonu = ortalama skor indeksi) ve yüksek sıcaklığa toleranslı çeşitlerin belirlenmesine çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, tane tipleri ve 1000 tane ağırlıkları belirtilen 16 mercimek (*Lens culinaris* Medik.) çeşidi [Altıntoprak (kırmızı, 30.9 g), Çağıl (kırmızı, 31.3 g), Çiftçi (kırmızı, 40.5 g), Emre 20 (kırmızı, 34.7 g), Fırat 87 (kırmızı, 37.4 g), Kafkas (kırmızı, 33.6 g), Seyran 96 (kırmızı, 31.2 g), Tigris (kırmızı, 26.2 g), Ankara Yeşili (pul, 62.7 g), Bozok (pul, 77.0 g), Karagül (pul, 76.2 g), Kayı 91 (pul, 50.4 g), Meyveci 2001 (pul, 74.9 g), Sultan 1 (pul, 65.6 g), Ceren (yeşil, 35.9 g) ve Gümrak (yeşil, 51.9 g)] kullanılmış, yüksek sıcaklıkların [20, 25, 30, 35, 40, 45 (\pm 1) °C] tohum çimlenmesi ve fide çıkışı özelliklerine etkisi kontrollü koşullarda ve iki ayrı deneme halinde incelenmiştir. Denemeler, tam şansa bağlı deneme planında faktöriyel düzenlemeye göre üç tekrarlı yürütülmüştür. Birinci denemede, her çeşide ait 40 tohum Petri kaplarında ve üç tekrarlı olarak, yukarıda belirtilen sabit sıcaklıklara ayarlı çimlendirme kabinine konmuştur. Karanlık ortamda 10 gün bekletilen tohumlardan, kökçük uzunluğu en az 2 mm olanlar çimlenmiş kabul edilmiş, onuncu gün sonundaki sayımlardan çimlenme %'si hesaplanmıştır. Tesadüfi seçilen 10 fidede kök ve sürgün uzunluğu milimetrik cetvel ile ölçülmüştür. Araştırmanın 40 ve 45 °C sıcaklık uygulamalarında hiçbir çeşitte çimlenme olmamış, 35 °C'de dört çeşitte çimlenme olmamış, geri kalan 12 çeşitte çimlenme oranı % 2.5 - 43.3 arasında değişmiştir. İkinci denemede, her çeşide ait 25 tohum üç tekrarlı olarak içleri ticari torf ile doldurulmuş plastik kasalara (30 x 50 x 10 cm) 5 cm aralıklı ve 3 cm derinlikte ekilmiş, kasalar yukarıda belirtilen sabit sıcaklıklara ayarlı kabinlere konmuş ve 16 saat aydınlık / 8 saat karanlık koşullarda 14 gün bekletilmiştir. Toprak yüzünde ilk yaprakları görünen fideler çıkış yapmış kabul edilmiş, 14. gün sonundaki sayımlardan çıkış %'si hesaplanmıştır. Şansa bağlı seçilen 10 fidenin toprak yüzeyinden sürgün ucuna kadarki kısmı ölçülerek fide boyu belirlenmiştir. Bu çalışmada 35, 40 ve 45 °C sıcaklık uygulamalarında hiçbir çeşitte çıkış olmamıştır. Araştırmada kullanılan çeşitlere ait bilgiler, deneme planı ve izlenen yöntemlere ilişkin ayrıntılar daha önce yayımlanan makalede sunulmuştur (Öztürk ve ark., 2024).

Çeşitlerin çimlenme ve çıkış dönemlerindeki yüksek sıcaklık stresine toleransları, kontrol (20 °C) ve stres (30 °C) koşullarındaki çimlenme güç indeksi (Tanveer ve ark., 2010) ve çıkış güç indeksi (Gupta, 1993) ölçütleri esas alınarak değerlendirilmiş, Çizelge 1'de sıralanan yedi stres indeksi için her çeşide ait stres tolerans değeri hesaplanmıştır. İdeal seleksiyon indeksi stresin şiddeti, süresi ve meydana geldiği bitki gelişme dönemine göre değişebildiğinden, farklı stres indekslerinin kombinasyonu ile seleksiyon etkinliği artar (Aberkane ve ark., 2021). Bu amaçla, çeşitlerin her bir stres indeksine göre rank değerinden ortalama rank (R), ortalama rankın standart sapması (SDR) ve bu iki değer toplamından rank toplamı (RS) hesaplanmıştır. RS değeri en düşük olan çeşit yüksek sıcaklık stresine en toleranslı, RS değeri en yüksek olan çeşit yüksek sıcaklık stresine en duyarlı olacak şekilde sıralanmıştır (Kang, 1988).

$$\begin{aligned} \text{Çimlenme güç indeksi} &= (\text{Kök uzunluğu} + \text{Sürgün uzunluğu}) \times \text{Çimlenme yüzdesi} \\ \text{Çıkış güç indeksi} &= \text{Fide boyu} \times \text{Çıkış yüzdesi} \end{aligned}$$

Çizelge 1. Mercimek çeşitlerinin yüksek sıcaklık stresine toleransını değerlendirmek için kullanılan indeksler

Table 1. Indices used to evaluate the tolerance of lentil cultivars to high temperature stress

İndeksler	Formül	İstenen Değer	Literatür
Stres hassasiyet indeksi	$[1 - (T_s / T_k)] / [1 - (T_{so} / T_{ko})]$	Düşük	Fischer ve Maurer (1978)
Stres tolerans indeksi	$(T_s \times T_k) / (T_{ko})^2$	Yüksek	Fernandez (1992)
Nispi sıcaklık indeksi	$(T_s / T_k) / (T_{so} / T_{ko})$	Yüksek	Aktar Uz Zaman ve ark. (2022)
Sıcağa dayanıklılık indeksi	$[T_s \times (T_s / T_k)] / T_{so}$	Yüksek	Lan (1998)
Geometrik ortalama verimlilik	$\sqrt{T_s \times T_k}$	Yüksek	Fernandez (1992)
Tolerans indeksi	$[(T_s / T_k) \times 100] - 100$	Yüksek	Chakraborty ve Pradhan (2011)
Yüksek sıcaklık tolerans indeksi	$\sqrt{(T_s / T_k)} \times T_s$	Yüksek	Delahunty ve ark. (2023)

T_k ve T_s : Sırasıyla kontrol (20 °C) ve stres (30 °C) koşullarında her çeşit için ölçüt değeridir.

T_{ko} ve T_{so} : Sırasıyla kontrol (20 °C) ve stres (30 °C) koşullarında çeşitlerin ortalaması olarak ölçüt değeridir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada kullanılan mercimek çeşitlerinin kontrol ve yüksek sıcaklık stresi koşullarındaki çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksleri ile bu ölçütlerde stres koşullarında kontrole göre meydana gelen % azalma oranları Çizelge 2'de verilmiştir. Çeşitlerin çimlenme güç indeksleri kontrol koşullarında 1295.5 ile 1873.5, stres koşullarında ise 411.3 ile 1120.9 arasında değişmiştir. En yüksek çimlenme güç indeksi kontrol koşullarında sırasıyla Kayı 91, Meyveci 2001, Sultan 1 ve Tigris; stres

koşullarında ise Çağıl, Gümrah, Fırat 87 ve Meyveci 2001 çeşitlerinde belirlenmiştir. Kontrol koşulları ile karşılaştırıldığında çimlenme güç indeksindeki azalma oranı en düşük Çağıl, Fırat 87, Gümrah ve Bozok; en yüksek ise Ceren, Ankara Yeşili, Kayı 91 ve Emre 20 çeşitlerinde olmuştur (Çizelge 2). Çıkış güç indeksi çeşitlere göre kontrol koşullarında 883.3 ile 1643.6, stres koşullarında ise 62.4 ile 1217.7 arasında olmuştur. En yüksek çıkış güç indeksine kontrol koşullarında sırasıyla Meyveci 2001, Karagül, Gümrah ve Fırat 87; stres koşullarında ise Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001 ve Bozok çeşitleri sahip olmuştur. Kontrole göre çıkış güç indeksindeki azalma oranı en düşük Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001 ve Sultan 1; en yüksek ise Kayı, Tigris, Kafkas ve Seyran 96 çeşitlerinde bulunmuştur (Çizelge 2). Yüksek sıcaklık stresi çeşitlerin ortalaması olarak çimlenme güç indeksini % 53.3, çıkış güç indeksini ise % 69.3 azaltmıştır. Çimlenme ve çıkış bitki hayat devresinin en hassas dönemlerinden olup, elverişsiz çevre koşulları tohum çimlenmesi ve fide çıkışını olumsuz etkiler (Bankar ve ark., 2023). Bu araştırma sonuçları, stresin fide çıkışı üzerindeki olumsuz etkilerinin tohum çimlenmesine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Çizelge 2. Mercimek çeşitlerinin kontrol ve yüksek sıcaklık stresi koşullarındaki çimlenme güç indeksleri ve çıkış güç indeksleri

Table 2. Germination vigor index and emergence vigor index of lentil cultivars under control and high temperature stress conditions

Çeşitler	Çimlenme Güç İndeksi			Çıkış Güç İndeksi		
	Kontrol	Stres	% azalma	Kontrol	Stres	% azalma
Altıntoprak	1295.9	685.5	47.1	1197.6	361.3	69.8
Çağıl	1657.3	1120.9	32.4	1461.3	376.1	74.3
Çiftçi	1711.7	763.0	55.4	1432.8	266.4	81.4
Emre 20	1529.3	639.1	58.2	1294.4	895.3	30.8
Fırat 87	1569.6	1008.4	35.8	1518.9	455.5	70.0
Kafkas	1718.0	785.2	54.3	1222.4	99.9	91.8
Seyran 96	1452.3	720.9	50.4	1042.9	167.6	83.9
Tigris	1777.0	746.4	58.0	883.3	65.6	92.6
Ankara Yeşili	1624.6	450.6	72.3	1445.6	266.9	81.5
Bozok	1422.5	787.3	44.7	1339.6	488.4	63.5
Karagül	1691.6	719.3	57.5	1557.1	433.9	72.1
Kayı 91	1873.5	652.7	65.2	1289.7	62.4	95.2
Meyveci 2001	1819.0	921.6	49.3	1643.6	770.0	53.2
Sultan 1	1791.3	766.2	57.2	1227.7	481.5	60.8
Ceren	1719.7	411.3	76.1	1068.8	352.3	67.0
Gümrah	1741.0	1074.8	38.3	1545.6	1212.7	21.5
Ortalama	1649.6	765.8	53.3	1323.2	422.2	69.3
Minimum	1295.9	411.3	32.4	883.3	62.4	21.5
Maksimum	1873.5	1120.9	76.1	1643.6	1212.7	95.2
Standart sapma	158.3	195.0	12.1	210.6	312.3	20.7

Mercimek çeşitlerinin yüksek sıcaklık stresine toleransları çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri esas alınarak yedi farklı stres indeksi ile hesaplanmış ve çeşitlerin her stres indeksine göre tolerans sırası belirlenmiştir (Çizelge 3, 4). Çimlenme güç indeksi esas alındığında, stres hassasiyet indeksi (SHİ), nispi sıcaklık indeksi (NSİ) ve tolerans indeksi (Tİ) hesaplamalarına göre araştırmada kullanılan çeşitlerin tolerans sıraları aynı olmuştur. SHİ, NSİ ve Tİ sonuçlarına göre Çağıl, Fırat 87, Gümrah ve Bozok çeşitleri strese en toleranslı; Ceren, Ankara Yeşili, Kayı 91 ve Emre 20 çeşitleri ise strese en hassas olarak tanımlanabilir. Stres tolerans indeksi (STİ) ve geometrik ortalama verimlilik (GOV) indekslerine göre de çeşitlerin tolerans sıraları aynı olmuştur. STİ ve GOV indekslerine göre Gümrah, Çağıl, Meyveci 2001 ve Fırat 87 çeşitleri sıcaklık stresine en toleranslı; Ceren, Ankara Yeşili, Altıntoprak ve Emre 20 çeşitleri ise sıcaklık stresine en duyarlıdır. Bu sonuçlar, çeşitlerin sıcaklık stresine tolerans yönünden sıralanmasında bu iki indeksin eşdeğer olduğunu göstermiş, benzer sonuç Farshadfar ve ark. (2018) tarafından da bildirilmiştir. Sıcağa dayanıklılık indeksi (SDİ) ve yüksek sıcaklık tolerans indeksi (YSTİ) hesaplamalarına göre en toleranslı (Çağıl, Gümrah, Fırat 87, Meyveci 2001) ve en duyarlı (Ceren, Ankara Yeşili, Kayı 91, Emre 20) çeşitler aynı sırada olmakla birlikte, bu iki indekse göre diğer çeşitlerin tolerans sıraları farklılık göstermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Mercimek çeşitlerinin çimlenme güç indeksi ölçütüne göre stres indeksleri ve rank (R) değerleri

Table 3. Stress indices and rank (R) values of lentil cultivars according to germination vigor index criterion

Çeşitler	SHİ	R	STİ	R	NSİ	R	SDİ	R	GOV	R	Tİ	R	YSTİ	R
Altıntoprak	0.88	5	0.33	14	1.14	5	0.47	6	942.5	14	-47.1	5	498.6	10
Çağıl	0.60	1	0.68	2	1.46	1	0.99	1	1363.0	2	-32.4	1	921.8	1
Çiftçi	1.03	9	0.48	8	0.96	9	0.44	9	1142.8	8	-55.4	9	509.4	7
Emre 20	1.09	13	0.36	13	0.90	13	0.35	13	988.6	13	-58.2	13	413.1	13
Fırat 87	0.67	2	0.58	4	1.38	2	0.85	3	1258.1	4	-35.8	2	808.3	3
Kafkas	1.01	8	0.50	6	0.98	8	0.47	7	1161.5	6	-54.3	8	530.8	6
Seyran 96	0.94	7	0.38	12	1.07	7	0.47	8	1023.2	12	-50.4	7	507.9	8
Tigris	1.08	12	0.49	7	0.90	12	0.41	11	1151.7	7	-58.0	12	483.7	11
Ankara Yeşili	1.35	15	0.27	15	0.60	15	0.16	15	855.6	15	-72.3	15	237.3	15
Bozok	0.83	4	0.41	11	1.19	4	0.57	5	1058.3	11	-44.7	4	585.7	5
Karagül	1.07	11	0.45	10	0.92	11	0.40	12	1103.1	10	-57.5	11	469.0	12
Kayı 91	1.22	14	0.45	9	0.75	14	0.30	14	1105.8	9	-65.2	14	385.3	14
Meyveci 2001	0.92	6	0.62	3	1.09	6	0.61	4	1294.8	3	-49.3	6	656.0	4
Sultan 1	1.07	10	0.50	5	0.92	10	0.43	10	1171.5	5	-57.2	10	501.1	9
Ceren	1.42	16	0.26	16	0.52	16	0.13	16	841.0	16	-76.1	16	201.1	16
Gümrah	0.71	3	0.69	1	1.33	3	0.87	2	1367.9	1	-38.3	3	844.5	2

SHİ: Stres hassasiyet indeksi; STİ: Stres tolerans indeksi; NSİ: Nispi sıcaklık indeksi; SDİ: Sıcağa dayanıklılık indeksi; GOV: Geometrik ortalama verimlilik; Tİ: Tolerans indeksi; YSTİ: Yüksek sıcaklık tolerans indeksi

Çizelge 4. Mercimek çeşitlerinin çıkış güç indeksi ölçütüne göre stres indeksleri ve rank (R) değerleri

Table 4. Stress indices and rank (R) values of lentil varieties according to emergence vigor index criterion

Çeşitler	SHİ	R	STİ	R	NSİ	R	SDİ	R	GOV	R	Tİ	R	YSTİ	R
Altıntoprak	1.03	7	0.25	9	0.95	7	0.26	9	657.8	9	-69.8	7	198.4	9
Çağıl	1.09	10	0.31	8	0.81	10	0.23	10	741.3	8	-74.3	10	190.8	10
Çiftçi	1.20	11	0.22	11	0.58	11	0.12	11	617.8	11	-81.4	11	114.9	11
Emre 20	0.45	2	0.66	3	2.17	2	1.47	2	1076.5	3	-30.8	2	744.6	2
Fırat 87	1.03	8	0.40	4	0.94	8	0.32	6	831.8	4	-70.0	8	249.4	6
Kafkas	1.35	14	0.07	14	0.26	14	0.02	14	349.5	14	-91.8	14	28.6	14
Seyran 96	1.23	13	0.10	13	0.50	13	0.06	13	418.1	13	-83.9	13	67.2	13
Tigris	1.36	15	0.03	16	0.23	15	0.01	15	240.7	16	-92.6	15	17.9	15
Ankara Yeşili	1.20	12	0.22	10	0.58	12	0.12	12	621.2	10	-81.5	12	114.7	12
Bozok	0.93	5	0.37	6	1.14	5	0.42	5	808.9	6	-63.5	5	294.9	5
Karagül	1.06	9	0.39	5	0.87	9	0.29	7	822.0	5	-72.1	9	229.0	7
Kayı 91	1.40	16	0.05	15	0.15	16	0.01	16	283.7	15	-95.2	16	13.7	16
Meyveci 2001	0.78	3	0.72	2	1.47	3	0.85	3	1125.0	2	-53.2	3	527.0	3
Sultan 1	0.89	4	0.34	7	1.23	4	0.45	4	768.9	7	-60.8	4	301.5	4
Ceren	0.98	6	0.22	12	1.03	6	0.28	8	613.6	12	-67.0	6	202.3	8
Gümrah	0.32	1	1.07	1	2.46	1	2.25	1	1369.1	1	-21.5	1	1074.2	1

SHİ: Stres hassasiyet indeksi; STİ: Stres tolerans indeksi; NSİ: Nispi sıcaklık indeksi; SDİ: Sıcağa dayanıklılık indeksi, GOV: Geometrik ortalama verimlilik; Tİ: Tolerans indeksi; YSTİ: Yüksek sıcaklık tolerans indeksi

Çıkış güç indeksi esas alındığında, Gümrah çeşidi yedi stres indeksine göre de en toleranslı çeşit olarak dikkat çekmiştir (Çizelge 4). Buna karşılık Kayı 91, Tigris, Kafkas ve Seyran 96 çeşitleri yedi stres indeksine göre de en duyarlı olarak tespit edilmiştir. Sıcağa tolerans bakımından ikinci, üçüncü ve dördüncü sıradaki çeşitler SHİ, NSİ, SDİ, Tİ ve YSTİ indekslerine göre sırasıyla Emre 20, Meyveci 2001, Sultan 1; STİ ve GOV indekslerine göre ise Meyveci 2001, Emre 20 ve Fırat 87 olmuştur. Stres koşullarına toleranslı genotiplerin seçimi için SHİ (Aktar Uz Zaman ve ark., 2022; Hamza ve ark., 2023; Lamba ve ark., 2023), STİ (El haddad ve ark., 2020; Poudel ve ark., 2021; Sunil ve ark., 2023), NSİ (Aktar Uz Zaman ve ark., 2022; Hamza ve ark., 2023; Sunil ve ark., 2023), SDİ (Sunil ve ark., 2023), Tİ (Chakroborty ve Pradhan, 2011), YSTİ (Delahunty ve ark., 2023) ve GOV (Aktar Uz Zaman ve ark., 2022; Lamba ve ark., 2023; Longmei ve ark., 2023) indeksleri farklı bitki türleri ile yürütülen araştırmalarda yaygın olarak kullanılmış ve gerçekçi indeksler olarak önerilmiştir.

Stres indeksi hesaplamalarında, ölçütte hem stres hem de kontrol koşullarındaki performans, stres koşullarındaki performans, stres koşullarında kontrole göre meydana gelen azalma oranı veya stabilite öncelikli olabilmekte, bu nedenle, geno-

tiplerin stres faktörlerine tolerans sıraları indekslere göre farklılık gösterebilmektedir. Optimum seleksiyon indeksinin stres ve kontrol koşullarında diğer genotiplere göre aynı üstünlüğü gösteren genotiplerin seçimine imkan sağlaması (Fernandez, 1992), stres ve kontrol koşullarındaki verimle önemli ilişkili olması gerektiği savunulmuştur (Mitra, 2001). Longmei ve ark. (2023), indeks değeri ile ölçüt değeri arasındaki ilişkilerden ideal indeksin belirlenebileceğini bildirmiştir. Bazı araştırmacılar, stres koşullarında verim azalması daha düşük ve verimi daha yüksek olan genotiplerin seçimine imkan veren indeksi ideal olarak tanımlamıştır (Li ve ark., 2018). Bu araştırmada yedi stres indeksi ile stres koşullarındaki çimlenme güç indeksi, çıkış güç indeksi ve bu ölçütlerde stres koşullarında % azalma değeri arasında çok önemli ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 5). Bu sonuçlardan, kullanılan indekslerin hesabında stres koşullarındaki ölçüt performansı ve stabilitenin öncelikli olduğu anlaşılabilir. Kontrol koşullarında, yedi stres indeksi ile çimlenme güç indeksi arasındaki ilişkiler önemli olmamış, STİ ve GOV ile çıkış güç indeksi arasındaki ilişkilerin olumlu ve önemli olduğu tespit edilmiştir. Stres indeksi ile ölçüt değeri arasındaki ilişki yönünün kontrol ve stres koşullarında farklılık göstermesi, o indeks esaslı seleksiyonun, ölçüt performansında indekse göre kontrol veya stres koşullarında azalmaya neden olabilir (Lamba ve ark., 2023). Tam fide tesisinin verimin önemli belirleyicisi olduğu dikkate alındığında, korelasyon analizi sonuçlarına göre, kontrol ve stres koşullarındaki ölçüt değerleri ile olumlu ve önemli ilişkileri nedeniyle STİ ve GOV indekslerinin diğer indekslere göre daha uygun olduğu söylenebilir. STİ ve GOV indekslerine göre, çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi bakımından çeşitlerinin yüksek sıcaklığa tolerans sıraları aynı olduğundan, benzer çalışmalarda araştırmacılar bu iki indeksten birini tercih edebilir.

Çizelge 5. Stres indeksleri ile ölçüt değeri, ölçüt değerinde kontrole göre azalma oranı ve rank toplamı (RS) arasındaki korelasyon katsayıları ($n=16$)

Table 5. Correlation coefficients of stress indices with criterion value, rate of decrease in criterion value compared to control and rank sum (RS) ($n=16$)

İndeksler	Çimlenme Güç İndeksi				Çıkış Güç İndeksi			
	Kontrol	Stres	% azalma	RS	Kontrol	Stres	% azalma	RS
SHİ	0.30	-0.92***	1.00***	0.89***	-0.41	-0.98***	1.00***	0.95***
STİ	0.40	0.95***	-0.75***	-0.89***	0.63**	0.99***	-0.94***	-0.93***
NSİ	-0.30	0.92***	-1.00***	-0.89***	0.41	0.98***	-1.00***	-0.95***
SDİ	-0.08	0.97***	-0.96***	-0.96***	0.39	0.96***	-0.94***	-0.84***
GOV	0.40	0.94***	-0.75***	-0.86***	0.69**	0.97***	-0.93***	-0.96***
Tİ	-0.30	0.92***	-1.00***	-0.89***	0.41	0.98***	-1.00***	-0.95***
YSTİ	-0.03	0.99***	-0.96***	-0.96***	0.45	0.99***	-0.97***	-0.90***

SHİ: Stres hassasiyet indeksi; STİ: Stres tolerans indeksi; NSİ: Nispi sıcaklık indeksi; SDİ: Sığaça dayanıklılık indeksi, GOV: Geometrik ortalama verimlilik; Tİ: Tolerans indeksi; YSTİ: Yüksek sıcaklık tolerans indeksi

** ve *** ile işaretli korelasyon katsayıları sırasıyla 0.01 ve 0.001 ihtimal düzeyinde önemlidir

İdeal indeks, stresin şiddeti, süresi ve meydana geldiği bitki gelişme dönemine bağlı olarak çevre özgü olabildiğinden, farklı indekslerin kombinasyonu ile seleksiyon etkinliğinin artırılması önerilmiş (Aberkane ve ark., 2019), stres koşullarına en toleranslı genotipleri belirleyebilmek için rank analiz yöntemini kullanılmıştır (Porch, 2006; Aktar Uz Zaman ve ark., 2022). Bu amaçla, araştırmada yer alan 16 mercimek çeşidinin çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri için yedi stres indeksine göre rank ortalaması (R), ortalama rankın standart sapması (SDR) ve rank toplamı (RS) değerleri hesaplanmış (Çizelge 6), RS değeri skalalarına göre çeşitler gruplandırılmıştır. Çeşitlerin RS değerleri çimlenme güç indeksi için 1.77-16.0, çıkış güç indeksi için 1.00-16.20 arasında değişmiştir. Çimlenme güç indeksi esas alındığında, RS değeri 1.77-5.32 arasında değişen üç çeşit (Çağıl, Gümrah, Fırat 87) toleranslı, RS değeri 5.33-8.89 arası olan iki çeşit (Meyveci 2001, Kafkas) orta toleranslı, RS değeri 8.90-12.45 arası olan beş çeşit (Çiftçi, Bozok, Sultan 1, Seyran 96, Karagül) orta duyarlı, RS değeri 12.46-16.00 arasında değişen altı çeşit (Tigris, Altıntoprak, Emre 20, Ankara Yeşili, Kayı 91, Ceren) ise duyarlı grupta yer almıştır. Çıkış güç indeksi ölçütü alındığında, RS değeri 1.00-4.80 arasındaki üç çeşit (Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001) toleranslı, RS değeri 4.81-8.61 arasında değişen üç çeşit (Bozok, Sultan 1, Fırat 87) orta toleranslı, RS değeri 8.62-12.42 arası olan altı çeşit (Karagül, Altıntoprak, Çağıl, Ceren, Çiftçi, Ankara Yeşili) orta duyarlı, RS değeri 12.43-16.20 arası bulunan dört çeşit (Seyran 96, Kafkas, Tigris, Kayı 91) ise duyarlı grubu oluşturmuştur. RS değerlerine göre, çeşitlerin çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi esaslı tolerans sıraları farklı olmuştur. Bununla birlikte, iki ölçüt bakımından da toleranslı grupta yer alan Gümrah çeşidi çimlenme-çıkış dönemindeki yüksek sıcaklıklara en toleranslı olarak tanımlanmış, bunu Meyveci 2001 çeşidi izlemiştir. Buna karşılık Kayı 91, Tigris, Ankara Yeşili ve Ceren çeşitlerinin yüksek sıcaklık stresine en duyarlı oldukları belirlenmiştir.

Çizelge 6. Çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri için yedi stres indeksine göre rank ortalaması (R), ortalama rankın standart sapması (SDR) ve rank toplamı (RS) değerleri

Table 6. Mean rank (R), standard deviation of mean rank (SDR) and rank sum (RS) values for germination vigor index and emergence vigor index according to seven stress indices

Çeşitler	Çimlenme Güç İndeksi			Çıkış Güç İndeksi		
	R	SDR	RS	R	SDR	RS
Altıntoprak	8.43	4.20	12.63	8.14	1.07	9.21
Çağıl	1.29	0.49	1.77	9.43	0.98	10.40
Çiftçi	8.43	0.79	9.22	11.00	0.00	11.00
Emre 20	13.00	0.00	13.00	2.29	0.49	2.77
Fırat 87	2.86	0.90	3.76	6.29	1.80	8.09

Kafkas	7.00	1.00	8.00	14.00	0.00	14.00
Seyran 96	8.71	2.29	11.00	13.00	0.00	13.00
Tigris	10.29	2.29	12.57	15.29	0.49	15.77
Ankara Yeşili	15.00	0.00	15.00	11.43	0.98	12.40
Bozok	6.29	3.25	9.54	5.29	0.49	5.77
Karagül	11.00	0.82	11.82	7.29	1.80	9.09
Kayı 91	12.57	2.44	15.01	15.71	0.49	16.20
Meyveci 2001	4.57	1.40	5.97	2.71	0.49	3.20
Sultan 1	8.43	2.37	10.80	4.86	1.46	6.32
Ceren	16.00	0.00	16.00	8.29	2.69	10.98
Gümrah	2.14	0.90	3.04	1.00	0.00	1.00

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, erken gelişme dönemlerindeki yüksek sıcaklıkların mercimek üretimini sınırlayan önemli faktörler olduğu söylenebilir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık stresi koşullarında en yüksek çimlenme güç indeksleri Çağır, Gümrah, Fırat 87 ve Meyveci 2001; en yüksek çıkış güç indeksleri ise Gümrah, Emre 20, Meyveci 2001 ve Bozok çeşitlerinde belirlenmiştir. Çimlenme güç indeksi ve çıkış güç indeksi ölçütleri esas alınarak yedi farklı stres indeksi ile çeşitlerin strese toleransları hesaplanmış, stres indekslerine göre çeşitlerin tolerans sıraları farklılık göstermiştir. STİ ve GOV indeksleri, ölçüt değerleri ile olumlu ve önemli ilişkileri nedeniyle daha ideal bulunmuş ve yüksek sıcaklığa toleranslı genotiplerin belirlenmesi amacıyla güvenle kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Seleksiyon etkinliğini artırmak için rank analiz yöntemiyle yedi stres indeksinin kombinasyonu sağlanmış, RS değerlerine göre Gümrah ve Meyveci 2001 çeşitleri yüksek sıcaklığa toleranslı; Kayı 91, Tigris, Ankara Yeşili ve Ceren çeşitleri ise duyarlı olarak belirlenmiştir. Gümrah ve Meyveci 2001 çeşitleri, mercimek ıslah programlarında yüksek sıcaklığa toleransı geliştirmek ve iklim değişikliği sürecinde sürdürülebilir üretimi sağlamak için potansiyel genetik kaynaklar olarak kullanılabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): AÖ(%100)

Veri Toplanması (Data Acquisition): AÖ(%10), AD(%70), HK(%20)

Veri Analizi (Data Analysis): AÖ(%50), AD(%25), HK(%25)

Makalenin Yazımı (Writing Up): AÖ(%75), AD(%10), HK(%15)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): AÖ(%75), AD(%10), HK(%15)

KAYNAKLAR

- Aberkane, H., Belkadi, B., Kehel, Z., Filali-Maltouf, A., Tahir, I.S.A., Meheesi, S., Amri, A., 2021. Assessment of drought and heat tolerance of durum wheat lines derived from interspecific crosses using physiological parameters and stress indices. *Agronomy*, 11(695): 1-20. doi: 10.3390/agronomy11040695.
- Aktar Uz Zaman, M., Haque, M.A., Sarker, A., Alam, M.A., Rohman, M.M., Ali, M.O., Alkhateeb, M.A., Gaber, A., Hos-sain, A., 2022. Selection of lentil (*Lens Culinaris* Medik) genotypes suitable for high-temperature conditions based on stress tolerance indices and principal component analysis. *Life*, 12(11): 1-32. doi: 10.3390/life12111719.
- Bankar, P.B., More, N.S., Bharud, R.W., Wagh, R.S., Gare, S.S., 2023. Effect of elevated temperature on seed germination and seedling growth indices of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2): 3651-3660.
- Basu, P.S., Chaturvedi, S.K., Gaur, P.M., Mondal, B., Meena, S.K., Das, K., Kumar, V., Tewari, K., Sharma, K., 2022. Physiological mechanisms of tolerance to drought and heat in major pulses for improving yield under stress environments. *Advances in Plant Defense Mechanisms*. In: Kimatu, J.N. (Eds). IntechOpen. pp. 1-41.
- Chakraborty, U., Pradhan, D., 2011. High temperature-induced oxidative stress in *Lens culinaris*, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. *Journal of Plant Interactions*, 6(1): 43-52. doi: 10.1080/17429145.2010.513484.
- Das, S.K., Rafiqul Islam, A.T.M., 2018. Effects of salinity on germination and seedling growth of lentil (*Lens culinaris* Medik) varieties in Bangladesh. *Barishal University Journal*, 5(1-2): 141-151.
- Delahunty, A.J., 2021. Increasing lentil (*Lens culinaris*) adaptation to acute high temperature for arable cropping. PhD Thesis. The University of Melbourne, Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences, p. 206, Melbourne.
- Delahunty, A., Nuttall, J., Nicolas, M., Brand, J., 2015. Genotypic heat tolerance in lentil. *Proceedings of the 17th ASA Conference*, 20-24 September, Hobart, Australia.
- Delahunty, A.J., Brand, J.D., Nuttall, J.G., 2023. Field screening of lentil (*Lens culinaris*) for high-temperature tolerance. *Agronomy* 2023, 13(7): 1-21. doi: 10.3390/agronomy13071753.
- Driedonks, N., Rieu, I., Vriezen, W.H., 2016. Breeding for plant heat tolerance at vegetative and reproductive stages. *Plant Reprod*, 29: 67-79. doi: 10.1007/s00497-016-0275-9.
- El haddad, N., Rajendran, K., Smouni, A., Es-Safi, N.E., Benbrahim, N., Mentag, R., Nayyar, H., Maalouf, F., Kumar, S., 2020. Screening the FIGS set of lentil (*Lens culinaris* Medikus) germplasm for tolerance to terminal heat and combined drought-heat stress. *Agronomy*, 10(20): 1-27. doi: 10.3390/agronomy10071036.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M., Safavi, S.M., 2018. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 6(4): 233-245.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, 257-270, 13-16 August, Taiwan.
- Fischer, R. A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5): 897-912. doi: 10.1071/AR9780897.
- Gupta, P.C., 1993. Seed vigour testing. "Alınıştır: *Handbook of Seed Testing*. (ed) Agrawal, P.K., New Delhi, 242-249.

- Hamza, F.E.A., Idris, A.E., Elagib, T.Y., Eltayeb, A.H., Adam, A.H.M., 2023. Evaluation of selection indices for heat tolerance and their correlation with yield in some chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes of Sudan. *Journal of Agronomy Research*, 5(1): 1-15. doi: 10.14302/issn.2639-3166.jar-22-4403.
- Hasan, M.A., Ahmed, J.U., Hossain, T., Hossain, M.M., Ullah, M.A., 2004. Germination characters and seed reserve mobilization during germination of different wheat genotypes under variable temperature regimes. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 32 (3-4): 97-107.
- Kang, M.S., 1988. A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16(1-2): 113-115.
- Kumar, V., Poonia, R.C., Chaudhary, K., 2018. Assessment of the seed vigour potential in different varieties of wheat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7): 354-361. doi: 10.20546/ijcmas.2018.707.043.
- Lafond, G.P., Fowler, B.D., 1989. Soil temperature and water content, seeding depth, and simulated rainfall effects on winter wheat emergence. *Agronomy Journal*, 81(4): 609-614. doi: 10.2134/agronj1989.00021962008100040012x.
- Lamba, K., Kumar, M., Singh, V., Chaudhary, L., Sharma, R., Yashveer, S., Dalal, S., 2023. Heat stress tolerance indices for identification of the heat tolerant wheat genotypes. *Scientific Reports*, 13(1): 1-13. doi: 10.1038/s41598-023-37634-8.
- Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7: 85-87.
- Longmei, N., Gill, G.K., Kumar, R., Zaidi, P.H., 2023. Selection indices for identifying heat tolerant of maize (*Zea mays*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(1): 46-50. doi: 10.56093/ijas.v93i1.108617.
- Maestri, E., Klueva, N., Perrotta, C., Gulli, M., Nguyen, H.T., Marmiroli, N., 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant molecular biology*, 48: 667-681.
- Makkawi, M., El Balla, M., Bishaw, Z., van Gestel, A.J.G., 2008. Correlation and path coefficient analyses of laboratory tests as predictors of field emergence in lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Journal of New Seeds*, 9 (4): 284-302. doi: 10.1080/15228860802308594.
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6): 758-763.
- Ozkan, H., Yagbasanlar, T., Genc, I., 1998. Tolerance and stability studies on durum wheat under drought and heat stress conditions. *Cereal Research Communication*, 26(4): 405-412.
- Öztürk, A., Dumlu, A., Kartay, H., 2024. Mercimek çeşitlerinin yüksek sıcaklıklara tepkileri: tohum çimlenmesi ve fide çıkışı. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(2): 442-453. doi: 10.30910/turkjans.1437147.
- Paliwal, R., Roder, M.S., Kumar, U., Srivastava, J.P., Joshi, A.K., 2012. QTL mapping of terminal heat tolerance in hexaploid wheat (*T. aestivum* L.). *Theoretical Applied Genetics*, 125: 561-575. doi: 10.1007/s00122-012-1853-3.
- Porch, T.G., 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *J. Agronomy and Crop Science*, 192(5): 390-394. doi: 10.1111/j.1439-037X.2006.00229.x.
- Poudel, P.B., Poudel, M.R., Puri, R.R., 2021. Evaluation of heat stress tolerance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using stress tolerance indices in western region of Nepal. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5: 1-6. doi: 10.1016/j.jafr.2021.100179.
- Puri, R.R., Gautam, N.R., Joshi, A.K., 2015. Exploring stress tolerance indices to identify terminal heat tolerance in spring wheat in Nepal. *Journal of Wheat Research*, 7(1): 13-17.
- Li, Q., Wang, Z., Li, D., Wei, J., Qiao, W., Meng, X., Sun, S., Li, H., Zhao, M., Chen, X., Zhao, F., 2018. Evaluation of a new method for quantification of heat tolerance in different wheat cultivars. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4): 786-795. doi: 10.1016/s2095-3119(17)61716-7.
- Rich, S.M., Berger, J., Lawes, R., Fletcher, A., 2022. Chickpea and lentil show little genetic variation in emergence ability and rate from deep sowing, but small-sized seed produces less vigorous seedlings. *Crop and Pasture Science*, 73 (9): 1042-1055. doi: 10.1071/CP21673.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21(6): 943-946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
- Singh, N.T., Dhaliwal, G.S., 1972. Effect of soil temperature on seedling emergence in different crops. *Plant and Soil*, 37: 441-444.
- Sita, K., Sehgal, A., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Vara Prasad, P.V., Kumar, S., Gaur, P.M., Farooq, M., Siddique, K.H.M., Varshney, R.K., Nayyar, H., 2017. Food legumes and rising temperatures: Effects, adaptive functional mechanisms specific to reproductive growth stage and strategies to improve heat tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-30. doi: 10.3389/fpls.2017.01658.

- Sunil, R., Chhabra, A.K., Yadav, R.K., Kumar, S., 2023. Assessment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under normal and late sown environments using stress indices. *Agricultural Science Digest*, 43(6): 807-811. doi: 10.18805/ag.D-5317.
- Tanveer, A., Rehman, A., Javaid, M.M., Abbas, R.N., Sibtain, M., Ahmad, A., Ibin Zamir, M.S., Chaudhary, K.M., Aziz, A., 2010. Allelopathic potential of *Euphorbia helioscopia* L. against wheat (*Triticum aestivum* L.), chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medic.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(1): 75-81. doi: 10.3906/tar-0903-53.
- Venugopalan, V.K., Nath, R., Sengupta, K., Nalia, A., Banerjee, S., Chandran, M.A.S., Ibrahimova, U., Dessoky, E.S., Attia, A.O., Hassan, M.M., Hossain, A., 2021. The response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) to soil moisture and heat stress under different dates of sowing and foliar application of micronutrients. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1-16. doi: 10.3389/fpls.2021.679469.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3):199-223. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.
- Watt, M.S., Bloomberg, M., 2012. Key features of the seed germination response to high temperatures. *New Phytologist*, 196(2): 332-336.