



Yüksek Sıcaklık Stresinin Serin İklim Tahıllarında Çimlenme Parametrelerine Etkisi

Effect of High-temperature Stress on Germination Parameters in Cool-climate Cereals

Ali ÖZTÜRK¹, Shafie Hussein OMAR², 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
· Shaafka22@gmail.com · ORCID > 0000-0001-6840-1079

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: 13 Mayıs/May 2025

Kabul Tarihi/Accepted: 09 Ekim/October 2025

Yıl/Year: 2026 | Cilt-Volume: 41 | Sayfa/Pages: 227-244

Atıf/Cite as: Öztürk, A., Omar, S. H., Kartay, H. "Yüksek Sıcaklık Stresinin Serin İklim Tahıllarında Çimlenme Parametrelerine Etkisi" Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 41, Ocak 2026: 227-244.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ali ÖZTÜRK

Yazar Notu/ Author Note: Bu makale, Shafie Hussein OMAR'ın yüksek lisans tezi araştırma sonuçlarından üretilmiştir.

YÜKSEK SICAKLIK STRESİNİN SERİN İKLİM TAHILLARINDA ÇİMLENME PARAMETRELERİNE ETKİSİ

ÖZ

Yüksek sıcaklık stresi tahıllarda verimlilik ve kaliteyi olumsuz etkileyen yaygın bir problemdir. Bu araştırmada kaplıca, gernik, makarnalık buğday, ekmeklik buğday, arpa, çavdar, yulaf ve tritikale türlerine ait toplam 16 genotipin yüksek sıcaklıklara (20, 25, 30, 35, 40, 45 °C) çimlenme tepkileri laboratuvar koşullarında incelenmiştir. Çimlenme özellikleri bakımından türler ve genotipler arasında önemli farklar olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklar çimlenme özelliklerini olumsuz etkilemiş, incelenen özellikler bakımından çeşit x sıcaklık etkileşimleri önemli olmuştur. Sıcaklık düzeylerinden 40 ve 45 °C'de hiçbir türde çimlenme olmamış, 35 °C'de ise yalnızca kaplıca ve yulaf türleri çimlenmemiştir. Bu nedenle kaplıca ve yulaf, serin iklim tahılları içerisinde çimlenme dönemindeki yüksek sıcaklıklara en duyarlı türler olarak belirlenmiştir. Genotiplerin 35 °C'deki çimlenme yüzdeleri %0.0 ile 98.3, çimlenme güç indeksleri ise 0.0 ile 754.3 arasında değişmiş, en yüksek değerleri ile dikkat çeken gernik ve tritikale genotipleri yüksek sıcaklığa en toleranslı olarak tanımlanmıştır. Toleranslı genotipler, ekim zamanında toprak sıcaklığının yüksek olduğu çevrelere önerilebilir, ilgili ıslah programlarında gen kaynağı olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Çimlenme Güç İndeksi, Buğday, Arpa, Çavdar, Yulaf, Tritikale.



EFFECT OF HIGH-TEMPERATURE STRESS ON GERMINATION PARAMETERS IN COOL-CLIMATE CEREALS

ABSTRACT

High temperature stress is a widespread problem that negatively affects productivity and quality of cereals. In this research, the germination response of 16 genotypes belonging to the einkorn, emmer, durum wheat, bread wheat, barley, rye, oat and triticale species to high temperatures (20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C and 45 °C) were investigated under laboratory conditions. Significant differences were identified among the species and genotypes in terms of the germination traits. High temperatures had an adverse effect on germination traits, and genotype x temperature interactions were important in terms of the traits. Germination was not observed at the 40 °C and 45 °C treatment levels in any species, and there was no germination at 35 °C only in the einkorn and oat species. Therefore, einkorn

and oats were identified as the species the most sensitive to high temperatures during the germination period in cool-climate cereals. The germination percentages of the genotypes at 35 °C varied between 0.0% and 98.3%, and the germination vigor indices varied between 0.0 and 754.3. The emmer and triticale genotypes, which had the highest values, were identified as being the most tolerant of high temperatures. These genotypes are recommended for environments with high soil temperatures at sowing time and can be used as gene sources in relevant breeding programmes.

Keywords: Germination Vigor Index, Wheat, Barley, Rye, Oat, Triticale.



1. GİRİŞ

Serin iklim tahılları (buğday, arpa, yulaf, çavdar, tritikale), 10 523 279 ha ekim alanı ile Türkiye’de toplam ekili tarla alanlarının %62.6, tahıl ekim alanlarının %91.9, tahıl üretiminin ise %76.6’sını karşılayan çok önemli bir ürün grubudur (Anonim., 2024). Buğday insanlığın temel besin kaynağı, yüksek verim ve üstün ekmeklik kalitesi; arpa kesif yem kalitesi ve ekim nöbetindeki rolü; yulaf insan beslenmesi ve hayvan beslemedeki ürün kalite ve çeşitliliği; çavdar düşük girdi ihtiyacı, marjinal alanları değerlendirme potansiyeli ve yüksek besin değeri; tritikale ise farklı çevre koşullarına adaptasyonu ve yüksek verim potansiyeli ile önem taşır (Riedesel et al., 2024).

İklim değişikliği, biyotik ve abiyotik stres kaynaklarının ana sebebidir (Raza et al., 2019) ve yüksek sıcaklıklar dünyanın birçok bölgesinde bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyen önemli bir sorun haline gelmiştir (Khan et al., 2021). Dünya yüzey sıcaklığının bu yüzyıl sonuna kadar bölgelere göre 2-6 °C artması, yüksek sıcaklıklara bağlı olarak bitki gelişmesi ve verimlerde önemli kayıplar beklenmektedir (Basu et al., 2022). Sıcaklık, bitkilerde büyüme, gelişme ve verimi belirleyen en önemli çevre faktörü olup, yüksek sıcaklıkların olumsuz etkileri bitki gelişme dönemi, sıcaklık derecesi, stres süresi ve genotipe göre değişir (Bhandari et al., 2017; Sita et al., 2017; Riedesel et al., 2024). Çimlenme, bir dizi biyolojik ve biyokimyasal sürecin aktivasyonu ile fidenin oluştuğu; fide tesisi yanında, bitki büyümesi ve gelişmesini de etkileyen ve bitki hayat devresinde kritik öneme sahip fizyolojik bir dönemdir (Iloh et al., 2014; Tarnawa et al., 2023). En kısa sürede en yüksek çimlenme yüzdesinin elde edildiği sıcaklık optimum çimlenme sıcaklığı, tohumların çimlenebildikleri en düşük ve en yüksek sıcaklıklar ise sırasıyla minimum ve maksimum çimlenme sıcaklıkları olarak tanımlanır ve bu değerler tür ve çeşitlere göre değişir (Watt and Blomberg, 2012; Tarnawa et al., 2023). Toprak sıcaklığının optimum değerinin altında veya üstünde olduğu koşullarda çimlenme yüzdesi azalır, minimum ve maksimum sıcaklıklarda çimlenme tamamen durur (Watt and Bloomberg 2012; Lei et al., 2013). Yüksek sıcaklık nedeniyle tohumun

çimlenmemesi yüksek sıcaklığa çimlenme hassasiyeti, termoinhibisyon veya termodormansi olarak adlandırılan biyolojik bir olaydır (Lei et al., 2013). Çeşitlere göre değişen optimum çimlenme sıcaklığı buğday için 15 °C (Khaskheli et al., 2019), 20 °C (Sharma et al., 2022), 20.4-23.6 °C (Porter and Gawith, 1999), 30 °C (Jame and Cutfort, 2004); arpa için 15-20 °C (Tarnawa et al., 2023); yulaf için 10-20 °C (Butler et al., 2017), 25.5 °C (Tribouillois et al., 2016); çavdar için 5-20 °C (Butler et al., 2017), 34.5 °C (Tribouillois et al., 2016); tritikale için ise 10 °C (Bojovic, 2010) olarak belirlenmiştir. Maksimum çimlenme sıcaklığı buğday için 31.8-33.6 °C (Porter and Gawith, 1999), 42 °C (Jame and Cutfort, 2004), 45 °C (Essemine et al., 2007); arpa için 30 °C (Tarnawa et al., 2023); yulaf için 30 °C (Butler et al., 2017), 32.7 °C (Tribouillois et al., 2016); çavdar için 35 °C (Butler et al., 2017), 38.1 °C (Tribouillois et al., 2016) bildirilmiştir.

Yüksek toprak sıcaklıklarında fide tesis yeteneği tohumların sıcaklığa çimlenme tepkilerine bağlı olup, bu tepki tür ve çeşitlere göre değişir ve ilk fide tesisi genellikle hasat dönemindeki bitki sıklığının da belirleyicisidir (Lei et al., 2013; Iloh et al., 2014). Hafif sıcaklık stresinde karbon asimilasyonu, solunum ve transpirasyon gibi temel süreçler olumsuz etkilenerek metabolik etkinlik azalır, daha az sayıda ve daha küçük vejetatif organlar oluşur, gelişme hızlanır, yapraklar su kaybeder, stomalar kapanır, vejetasyon süresi kısalmış ve asimilasyon azalır (Maestri et al., 2002; Driedonks et al., 2016; Sita et al., 2017). Orta düzeyli strese süre uzadığında, şiddetli stres koşullarında ise dakikalar içerisinde hücresel organizasyon bozulur, hücreler zarar görür ve bitki ölür. Yüksek sıcaklık stresinin doğrudan zararları protein denatürasyonu ve agregasyonu ile membran yağlarında bozulmalar; dolaylı zararları ise mitokondri ve kloroplastlardaki enzimlerin inaktivasyonu, protein sentezinin engellenmesi, proteinlerin indirgenmesi ve membran bütünlüğünün kaybolması olarak ortaya çıkar (Howarth, 2005; Wahid et al., 2007; Watt and Bloomberg, 2012). Yüksek sıcaklıklarda (30-40 °C) buğdayın çimlenme ve çıkış oranlarındaki azalmalar Singh and Dhalival (1972) tarafından tohumlardaki metabolik bozulmalar ve solum oranında artışlar, Lafond and Fowler (1989) tarafından fidelerin toprak kaynaklı hastalıklara hassasiyetinin artması, Nyachiro et al. (2002) tarafından tohumdaki yüksek dormansi düzeyi ve tohum rezervlerinden solunum kayıplarının artması, Essemine et al. (2007) tarafından ise stresin enzim aktivitesi, rezervlerin embriyoya taşınması ve embriyo canlılığı üzerindeki olumsuz etkileri ile ilişkilendirilmiştir.

Yüksek sıcaklıkların farklı bitki gelişme dönemlerindeki etkilerini konu alan araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Biyoçeşitliliği korumak, yetiştirme tekniklerini değişen çevre koşullarına göre yeniden uyarlamak ve yüksek sıcaklık stresine toleranslı yeni çeşitler geliştirmek, küresel ısınmanın tahıllar üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirecek stratejiler olarak önerilmektedir (Fatima et al., 2020). Tahıllarda verim potansiyeline ulaşabilmek için gerekli fide tesisinin sağlanması esastır. Özellikle nadas alanlarında, yaz ve sonbahar başların-

da tohum yatağında yüksek sıcaklık ve düşük nem koşulları ile sık sık karşılaşılması, tohum çimlenmesi, fide tesisi ve tane verimini olumsuz etkilemektedir. Bu sorun, değişen iklim koşulları ve tarım bölgelerine göre ideal ekim tarihlerinin yeniden ayarlanması ile bir ölçüde çözülebilir. Ancak, yüksek sıcaklıkların zamanı önceden bilinemediğinden, yüksek sıcaklık koşullarında da çimlenme ve fide tesis yeteneği yüksek olan çeşitlerin geliştirilmesi en ümitvar yoldur. Bu araştırmada, serin iklim tahıl tür ve çeşitlerinde yüksek sıcaklıklara çimlenme tepkisinin incelenmesi ve genetik çeşitliliğin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırma, 01 Eylül 2024 ile 28 Şubat 2025 tarihleri arasında, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarlarında yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak serin iklim tahıllarının *Triticum monococcum* (kaplıca), *Triticum dicoccum* (gernik), *Triticum durum* (makarnalık buğday), *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* (ekmeklik buğday), *Hordeum vulgare* (arpa), *Avena sativa* (yulaf), *Secale cereale* (çavdar) ve *Triticale* (tritikale) türlerine ait ikişer genotip olmak üzere toplam 16 genotip kullanılmıştır. Makarnalık buğday ve yulaf tohumlukları ilgili enstitülerden, diğer tohumluklar ise bölüm stoklarından karşılanmıştır. Araştırma, tam şansa bağlı deneme planında faktöriyel düzenlemeye göre üç tekrarlı yürütülmüş, birinci faktör Çizelge 1'de sıralanan 16 genotip, ikinci faktör ise altı sıcaklık düzeyinden [20, 25, 30, 35, 40, 45 (± 1) °C] oluşmuştur.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan serin iklim tahıl genotiplerine ait bazı bilgiler

Table 1. Some information about the cool-climate cereals genotypes used in the study

Türler/Çeşitler	Orijin/Çeşit Sahibi Kuruluş	Bazı Özellikleri
<i>Triticum monococcum</i> (Kaplıca Buğdayı)		
Çatalyazı	Kastamonu İhsangazi-Çatalyazı Köyü	Popülasyon, kavuzlar kirli sarı ve tüysüz, tane kehribar sarısı, 1000 tane ağırlığı (kavuzlu) 40.6 g
Musasofular	Bolu Seben-Musasofular Köyü	Popülasyon, kavuzlar beyaz-açık sarı ve tüysüz, tane kehribar sarısı, 1000 tane ağırlığı (kavuzlu) 40.0 g
<i>Triticum dicoccum</i> (Gernik Buğdayı)		
Çağlayan	Kars Merkez-Çağlayan Köyü	Popülasyon, kavuzlar açık kahverengi ve tüysüz, tane kehribar sarısı, 1000 tane ağırlığı (kavuzsuz) 32.3 g
Şahmelik	Kayseri Develi-Şahmelik Köyü	Popülasyon, kavuz beyaz-açık sarı ve tüysüz, tane kehribar sarısı, 1000 tane ağırlığı (kavuzsuz) 38.1 g

<i>Triticum durum</i> (Makarnalık Buğday)		
Ç 1252	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-1991	Kılçıklı, kahverengi kavuzlu, başaklar orta-uzun, orta-sık ve eğik, orta boylu ve sağlam saplı, 1000 tane ağırlığı 50.6 g
Eminbey	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-2009	Kılçıklı, beyaz başaklı, başaklar dik, orta uzun ve orta sık, orta boylu, sağlam saplı, tane şekli uzamış yumurta biçimindedir, 1000 tane ağırlığı 43.8 g
<i>Triticum aestivum</i> ssp. <i>vulgare</i> (Ekmeklik buğday)		
Gün 91	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü-1991	Kılçıklı, beyaz kavuzlu, başaklar uzun, orta-sık ve yarı yatık, kırmızı ve sert taneli, başakta tane sayısı yüksek, sağlam saplı ve orta boylu, 1000 tane ağırlığı 44.5 g
Pehlivan	Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü-1998	Başak beyaz, kılçıksız, uzun ve dik yapıda, bitki boyu 95-100 cm, 1000 tane ağırlığı 46.2 g
<i>Hordeum vulgare</i> (Arpa)		
Olgun	Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü-2011	Kışlık, orta erkenci, 6 sıralı, başak orta sıklıkta ve eğik, bitki boyu 80-115 cm, sağlam saplı ve yatmaya dayanıklıdır. Tane açık sarı, 1000 tane ağırlığı 33.9 g
Tokak 157/37	Orta Anadolu Ziraat Araştırma Enstitüsü-1963	Alternatif, 2 sıralı, orta erkenci, kışa ve kurağa orta dayanıklı, tane rengi açık sarı, bitki boyu 90-100 cm, başak uzun, 1000 tane ağırlığı 56.1 g
<i>Secale cereale</i> (Çavdar)		
Aslım 95	Bahri Dağdaş UTAE-1995	Alternatif, yemlik, bitki boyu 100-120 cm, yatmaya, kurağa ve soğuğa dayanıklı, 1000 tane ağırlığı 40.6 g
ZFTBB-Hat1	Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Böl.	Kışlık, hat, ABD orijinli, tetraploit, tane tip, 1000 tane ağırlığı 39.0 g
<i>Avena sativa</i> (Yulaf)		
Kahraman	Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü-2014	Bitki boyu 100-145 cm, sapı sağlam ve yatmaya dayanıklı, yapraklar kalın ve koyu yeşil renkli, kılçıksız, taneler çok iri, kısa, dolgun ve gri renkli, 1000 tane ağırlığı 45.3 g
Küçükayla	Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü-2018	Bitki boyu 95-140 cm, sapı sağlam, yatmaya dayanıklı, yapraklar kalın ve mumsu renkli, kılçıksız, taneler iri, uzun ve kahverengi, 1000 tane ağırlığı 44.6 g
<i>Triticale</i>		
Karma	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü-2000	Başak beyaz, kılçıklı, tane kahverengi, bitki boyu 110-120 cm, 1000 tane ağırlığı 46.8 g
Ümranhanım	Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü-2010	Başak sarı ve kılçıklı, tane kırmızı dolgun, bitki boyu 120-130 cm, sapı sağlam, yatmaya dayanıklı, 1000 tane ağırlığı 44.3 g

Ekim işlemi öncesi genotiplerin 2022 veya 2023 yıllarına ait tohumlukları içindeki yabancı madde, zarar görmüş, hastalıklı ve cılız tohumlar seçilerek atılmış, daha sonra 1000 tane ağırlıkları belirlenmiştir. Sterilizasyon için tohumlar önce %1.5'lik sodyum hipoklorit solüsyonunda 5 dk., sonra saf suda 5 dk. bekletilmiş, fungus gelişmesine karşı sulama suyuna 0.5 g L⁻¹ Antracol katılmıştır. Çapı 14 cm olan cam Petri kaplara iki kat Whatman filtre kağıdı konmuş, filtre kağıtları üzerine de 40 tohum yerleştirilmiştir. Petri kabına 10 ml saf su eklenmiş, buharlaşma ile kaybolan su 24 saat arayla saf su ilavesi ile karşılanmıştır. Petri kapları yukarıda belirtilen sabit sıcaklıklara ayarlı çimlendirme kabinine konmuş ve karanlık ortamda 10 gün bekletilmiştir. Kökçüğü en az 2 mm uzamış olan tohum çimlenmiş kabul edilmiş (AOSA, 1993), 24 saat ara ile çimlenen tohum sayısı kaydedilmiştir. Her tekrerde 10. gün sonunda [(Çimlenen tohum sayısı / Toplam tohum sayısı) x 100] formülü ile çimlenme %'si hesaplanmıştır. Tesadüfi seçilen 10 fidede embriyonal kökler sayılmış, toplam embriyonal kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu milimetrik cetvel ile ölçülmüştür. Embriyonal kökler ve sürgünler 1 mg duyarlı terazi- de tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Koleoptil uzunluğu, uygulamalara göre, 200 °C gün toplam sıcaklık birikimi oluncaya kadar bekletilen (20 °C'de 10 gün, 25 °C'de 8 gün) şansa bağlı 5 fidede tohum ile ilk yaprağın çıkış yaptığı çim kını ucu arasındaki kısım milimetrik cetvelle ölçülerek belirlenmiştir (Rebetzke et al., 1999). Ortalama çimlenme süresi Ellis and Roberts (1981), çimlenme indeksi ve çimlenme güç indeksi ise Gupta (1993) tarafından önerilen formüller ile hesaplanmıştır (n: sayım gününde çimlenen tohum sayısı, d: sayımın yapıldığı gün sayısı).

$$\text{Çimlenme Süresi (gün)} = \Sigma (n \times d) / \Sigma n$$

$$\text{Çimlenme İndeksi} = \% n/d_1 + \% n/d_2 + \dots + \% n/d_{10}$$

$$\text{Çimlenme Güç İndeksi} = (\text{Toplam kök uzunluğu} + \text{Sürgün uzunluğu}) \times \text{Çimlenme yüzdesi}$$

Çimlenen tohum sayısının 10'dan az olduğu uygulamalarda değerlendirmeler mevcut fideler üzerinde yapılmış, 40 ve 45 °C uygulamalarında hiçbir genotipte çimlenme olmamış, bu uygulamalar varyans analizlerine dahil edilmemiştir. Verilerin varyans analizleri RStudio (2020) istatistik programı ile yapılmış, sıcaklık düzeyleri ve genotiplere ait ortalamalar arasındaki farklar Duncan, genotip x sıcaklık düzeyi interaksyonuna ait ortalamalar arasındaki farklar ise LSD çoklu karşılaştırma testi ile kontrol edilmiştir. Varyasyon kaynaklarının toplam varyasyondaki payları kareler toplamı modeline göre hesaplanmıştır (Li et al., 2013).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan serin iklim tahıl genotiplerinin çimlenme karakterlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de gösterilmiştir. İncelenen özellikler yönünden genotipler arasındaki farklar ve sıcaklık düzeylerinin bu özelliklere etkisi istatistiki olarak önemli olmuştur. Çimlenme özellikleri yönünden genotipler sıcaklıklara farklı tepkiler vermiş, “genotip x sıcaklık” etkileşimleri önemli çıkmıştır. Sıcaklık, toplam varyansın çimlenme yüzdesinde %38.6, embriyonal kök sayısında %69.3, embriyonal kök uzunluğunda %68.9, koleoptil uzunluğunda %71.1, sürgün uzunluğunda %87.2, kök yaş ağırlığında %67.9, sürgün yaş ağırlığında %70.8, çimlenme süresinde %42.0, çimlenme güç indeksinde ise %73.9’unu kontrol eden ana faktör olmuştur. Genotip, yalnızca çimlenme indeksi varyansında %61.0 ile başlıca faktör olmuş, toplam varyansın çimlenme yüzdesinde %36.2, çimlenme süresinde ise %33.0’ı genotip x sıcaklık etkileşiminden kaynaklanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Yüksek sıcaklıkların serin iklim tahıl genotiplerinde çimlenmesi karakterlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları ve bu karakterlerde varyasyon kaynaklarının kereler toplamı %’leri

Table 2. Results of variance analysis on the effects of high temperatures on germination characters in cool-climate cereal genotypes and percentage of sources of variation in the sum of squares in these characters

Karakterler	Varyasyon Kaynakları ve F Değerleri				Kareler Toplamı %’si		
	Genotip (G)	Sıcaklık (S)	GxS	CV(%)	G	S	GxS
Çimlenme Yüzdesi	317.11***	2421.30***	151.40***	3.26	23.3	38.6	36.2
Çimlenme İndeksi	1044.94***	1623.69***	114.26***	4.55	61.0	19.0	20.0
Embriyonal Kök Sayısı	57.67***	791.96***	4.12***	9.32	25.2	69.2	5.4
Embriyonal Kök Uzunluğu	38.89***	712.01***	8.49***	17.25	18.8	68.9	12.3
Koleoptil Uzunluğu	49.51***	1076.59***	12.73***	9.75	16.3	71.1	12.6
Sürgün Uzunluğu	10.82***	782.33***	4.04***	12.82	6.0	87.2	6.8
Kök Yaş Ağırlığı	12.58***	228.27***	3.01***	23.34	18.7	67.9	13.4
Sürgün Yaş Ağırlığı	34.72***	650.71***	6.31***	14.52	18.9	70.8	10.3
Çimlenme Süresi	130.54***	1097.75***	57.51***	7.40	25.0	42.0	33.0
Çimlenme Güç İndeksi	50.22***	1122.00***	9.66***	13.22	16.5	73.9	9.5

*** ile işaretli F değerleri 0.001 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

3.1. Çimlenme Yüzdesi ve Çimlenme İndeksi

Çimlenme yüzdesi tohum canlılığının en önemli göstergesi olup, fide tesisi ve verim için kritik değere sahiptir (Tarnawa et al., 2023). Sıcaklık düzeylerinin ortalaması olarak serin iklim tahıl genotiplerinin çimlenme yüzdeleri %61.0 (Kahraman) ile %99.0 (Ç 1252 ve Çağlayan) arasında değişmiş, çeşitlerin ortalaması olarak 20, 25, 30 ve 35 °C'de sırasıyla %96.6, 96.3, 89.8 ve 55.6 olarak belirlenmiştir. Genotiplerin çimlenme yüzdeleri 20 °C'de %91.7-100.0, 25 °C'de %90.8-100.0, 30 °C'de %61.7-99.2, 35 °C'de ise %0.0-98.3 arası hesaplanmış, yüksek sıcaklıklarda önemli derecede azalmıştır (Çizelge 3). En yüksek çimlenme yüzdeleri 20 °C'de Pehlivan ve Tokak 157/37, 25 °C'de Çağlayan, Ç 1552 ve Pehlivan, 30 °C'de Ç 1552, Çağlayan ve Pehlivan, 35 °C'de ise Çağlayan ve Şahmelik genotiplerinde tespit edilmiştir. Sıcaklık 30 °C'ye çıkarıldığında çimlenme yüzdesi en çok Kahraman ve Olgun genotiplerinde azalmıştır. Sıcaklık 35 °C'ye çıkarıldığında kaplıca ve yulaf çeşitlerinde hiç çimlenme olmamış, buna karşılık gernik ve tritikale çeşitleri %96.7-98.3 arasında değişen yüksek çimlenme yüzdeleri ile dikkat çekmiştir (Çizelge 3). Çimlenme yüzdesi yönünden serin iklim tahıl genotipleri arasında önemli farklar olduğu, yüksek sıcaklıkların çimlenme yüzdesini önemli ölçüde azalttığı ve genotiplerin sıcaklık düzeylerine farklı tepkiler verdiği önceki araştırmalarda da belirlenmiştir. Sharma et al. (2022), ekmeklik buğday genotiplerinde 35 °C'de bulgularımıza göre genellikle daha yüksek (%72-93) çimlenme yüzdeleri belirlemiştir. Essemine et al. (2007), 45 °C'de Karim makarnalık ve Salambo ekmeklik buğday çeşitlerinde çimlenme yüzdesini sırasıyla %38 ve %12 olarak tespit etmiş, makarnalık çeşidin üstünlüğünü sıcaklık şoku proteinlerinin hızlı sentezi ve normal proteinlerin yavaş bozulması ile ilişkilendirmişlerdir. Tarnawa et al. (2023), arpada 30 °C'de bulgularımıza göre daha düşük (%65.7) çimlenme yüzdesi elde etmiş, 35 °C'de çimlenme olmadığını bildirmişlerdir. Butler et al. (2017), yulafta 30 °C'de (%27-44), çavdarda 30 °C'de (%47-66) ve 35 °C'de (%12-25) sonuçlarımıza göre daha düşük çimlenme yüzdeleri elde etmişler, sonuçlarımıza benzer olarak yulafın 35 °C'de çimlenmediğini belirlemişlerdir.

Çizelge 3. Yüksek sıcaklıkların serin iklim tahıllarında çimlenme yüzdesi ve çimlenme indeksine etkisi¹

Table 3. Effect of high temperatures on germination percentage and germination index in cool-climate cereals

Genotipler	Çimlenme yüzdesi (%)					Çimlenme indeksi				
	Sıcaklıklar (° C)					Sıcaklıklar (° C)				
	20	25	30	35	Ortalama	20	25	30	35	Ortalama
<i>Triticum monococcum</i>										
Çatalyazı	92.5	90.8	83.3	0.0	66.7 g	32.5	37.8	41.3	0.0	27.9 i
Musasofular	91.7	91.7	85.0	0.0	67.1 g	31.3	37.3	44.2	0.0	28.2 i
<i>Triticum dicoccum</i>										
Çağlayan	99.2	100.0	98.3	98.3	99.0 a	44.8	92.4	98.3	96.7	83.0 b
Şahmelik	99.2	97.5	97.5	98.3	98.1 a	49.6	97.1	97.5	98.3	85.6 a
<i>Triticum durum</i>										
Ç 1252	99.2	100.0	99.2	97.5	99.0 a	46.9	90.7	71.3	51.9	65.2 e
Eminbey	98.3	97.5	96.7	85.0	94.4 b	45.9	65.2	54.2	42.4	51.9 g
<i>T. aestivum ssp. vulgare</i>										
Gün 91	97.5	96.7	93.3	58.3	86.5 c	28.1	41.4	42.5	18.5	32.6 k
Pehlivan	100.0	100.0	98.3	87.5	96.5 ab	33.7	47.2	49.2	29.4	39.9 j
<i>Hordeum vulgare</i>										
Olgun	99.2	97.5	79.2	5.8	70.4 f	48.7	71.8	47.9	1.7	42.5 i
Tokak 157/37	100.0	98.3	85.0	25.8	77.3 e	49.4	69.7	61.0	7.6	46.9 h
<i>Secale cereale</i>										
Aslın 95	93.3	92.5	85.8	52.5	81.0 d	43.5	66.5	66.5	40.0	54.1 f
ZFTBB-Hat1	95.8	97.5	97.5	88.3	94.8 b	54.3	90.7	92.9	69.4	76.8 d
<i>Avena sativa</i>										
Kahraman	91.7	90.8	61.7	0.0	61.0 h	37.8	41.0	27.5	0.0	26.6 i
Küçükyayla	91.7	90.8	86.7	0.0	67.3 g	30.8	96.6	40.5	0.0	26.9 i
<i>Triticale</i>										
Karma	97.5	99.2	93.3	96.7	96.7 ab	47.7	93.8	90.6	91.3	80.8 c
Ümranshanım	99.2	100.0	95.8	97.7	97.7 a	49.3	96.0	89.2	93.4	82.0 bc
Ortalama	96.6 a	96.3 a	89.8 b	55.6 c	84.6	42.1 c	67.2 a	63.4 b	40.0 d	53.2

¹ Aynı harf ile işaretli ortalamalar birbirinden farklıdır. G x S etkileşimi LSD değeri çimlenme yüzdesi için 4.45, çimlenme indeksi için 3.91'dir

Çimlenme indeksi, tohum gücünün göstergesi olup, tohumluğun çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı hakkında fikir verir (Gupta, 1993; Kader, 2005). Sıcaklık düzeylerinin ortalamasına göre, genotiplerin çimlenme indeksleri 26.6 ile 85.6 arasında hesaplanmış, en düşük değerler yulaf, en yüksek değerler gernik genotiplerinde belirlenmiştir. Genotiplerin ortalamasına göre çimlenme indeksi 25 °C'de en yüksek, 35 °C'de en düşük olmuştur. En yüksek çimlenme indeksi 20 °C'de ZFTBB Hat1, Şahmelik ve Ümranshanım; 25 °C'de Şahmelik, Küçükyayla ve Ümranshanım; 30 °C'de Çağlayan, Şahmelik ve ZFTBB Hat1; 35 °C'de ise Şahmelik, Çağlayan ve Ümranshanım genotiplerinde hesaplanmıştır (Çizelge 3). Yüksek çimlenme hızı ve yüksek çimlenme yüzdesi, iyi bir fide tesisi ve fide gelişimi için ön şart olup, bu özelliklerini geniş sıcaklık aralığında koruyabilen genotipler stres koşullarına daha iyi uyum sağlayabilir. Hasan et al. (2004), bulgularımızdan farklı olarak altı ekmeklik buğday çeşidinde de en yüksek çimlenme indeksini 35 °C'de belirlemişler, bu sonucu yüksek sıcaklıkta yüksek alfa amilaz aktivitesi nedeniyle tohum rezervlerinin hızlı hidrolizi ve mobilizasyonu ile açıklamışlardır.

3.2. Embriyonal Kök Sayısı ve Embriyonal Kök Uzunluğu

Genotiplerin, sıcaklık düzeylerinin ortalaması olarak fide başına embriyonal kök sayıları 2.25 (Kahraman) ile 4.39 (Ümrانhanım) arasında değişmiş, en düşük değerler yulaf ve kaplıca, en yüksek değerler ise tritikale ve çavdar genotiplerinde belirlenmiştir. Embriyonal kök sayısı yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde azalmış, en yüksek 25 °C'de (4.66), en düşük 35 °C'de (1.67) tespit edilmiştir. Kaplıca ve yulaf genotiplerinde 35 °C'de embriyonal kök oluşmamış, fide başına en çok embriyonal kök 30 °C'de Ümrانhanım (5.73) ve Ç 1252 (5.50) çeşitlerinde sayılmıştır (Çizelge 4). Sesiz (2024), bulgularımızla uyumlu olarak kontrol koşullarında kaplıca, makarnalık ve ekmeklik buğday genotiplerinde embriyonal kök sayısını sırasıyla 3.0-5.5, 4.5-6.5 ve 3.5-6.0 arasında bulmuş ve önemli genotipik varyasyona dikkat çekmiştir. Huang et al. (1991), ekmeklik buğdayda embriyonal kök sayısını en çok (5.3) 25 °C'de belirlemiş, 30 °C'de (3.7) önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 4. Yüksek sıcaklıkların serin iklim tahıllarında embriyonal kök sayısı ve embriyonal kök uzunluğuna etkisi¹

Table 4. Effect of high temperatures on the number of seminal root and seminal root length in cool-climate cereals

Genotipler	Embriyonal kök sayısı					Embriyonal kök uzunluğu (cm)				
	Sıcaklıklar (° C)					Sıcaklıklar (° C)				
	20	25	30	35	Ortalama	20	25	30	35	Ortalama
<i>Triticum monococcum</i>										
Çatalyazı	5.33	4.47	3.53	0.00	3.33 hi	41.1	22.0	10.5	0.0	18.4 g
Musasofular	4.43	4.70	3.80	0.00	3.23 i	15.6	30.7	11.5	0.0	14.5 h
<i>Triticum dicoccum</i>										
Çağlayan	4.67	5.33	5.07	2.87	4.48 bc	18.9	52.2	38.4	3.7	28.3 d
Şahmelik	5.47	5.10	4.90	2.80	4.57 bc	39.7	58.1	41.8	3.2	35.7 ab
<i>Triticum durum</i>										
Ç 1252	5.47	5.17	5.50	2.47	4.65 b	44.5	57.0	38.2	2.4	35.5 ab
Eminbey	4.40	5.00	4.77	1.67	3.96 ef	34.3	53.5	29.9	1.0	29.7 cd
<i>T. aestivum ssp. vulgare</i>										
Gün 91	4.80	4.83	5.03	2.35	4.25 cde	24.9	42.4	34.9	1.9	26.0 de
Pehlivan	3.73	4.13	3.63	1.54	3.26 i	25.6	40.8	25.8	0.5	23.2 ef
<i>Hordeum vulgare</i>										
Olgun	4.20	4.37	4.20	1.60	3.59 gh	47.5	66.9	35.1	1.6	37.8 a
Tokak 157/37	4.60	4.33	4.23	1.77	3.73 fg	36.4	58.6	39.0	4.5	34.6 ab
<i>Secale cereale</i>										
Aslın 95	4.80	5.47	4.90	2.07	4.31 cd	22.0	40.5	19.8	4.8	21.8 fg
ZFTBB-Hat1	5.13	4.53	4.57	2.30	4.13 de	24.4	36.2	31.9	2.8	23.8 ef
<i>Avena sativa</i>										
Kahraman	3.13	2.92	2.97	0.00	2.25 j	17.8	20.8	17.4	0.0	14.0 h
Küçükyaıyla	3.43	3.07	3.37	0.00	2.47 j	14.4	24.9	15.1	0.0	13.6 h
<i>Triticale</i>										
Karma	5.40	5.27	5.10	2.47	4.56 bc	41.3	41.6	27.5	3.5	28.5 d
Ümrانhanım	5.40	5.90	5.73	2.89	4.98 a	42.3	50.4	33.4	4.4	32.6 bc
Ortalama	4.65 a	4.66 a	4.46 b	1.67 c	3.86	30.7 b	43.5 a	28.1 c	2.1 d	26.1

¹ Aynı harf ile işaretli ortalamalar birbirinden farklıdır. G x S interaksyonu LSD değeri embriyonal kök sayısı için 0.58, embriyonal kök uzunluğu için 7.28'dir.

Sıcaklık düzeylerinin ortalaması olarak serin iklim tahıl genotiplerinde toplam embriyonal kök uzunluğu 13.6-37.8 cm arasında değişmiş, en kısa Küçükyaıyla yulaf, en uzun Olgun arpa çeşidinde tespit edilmiştir. Genotiplerin ortalaması olarak kök uzunluğu 20 °C, 25 °C, 30 °C ve 35 °C'de sırasıyla 30.7, 43.5, 28.1 ve 2.1 cm olmuş, yüksek sıcaklıklarda önemli oranlarda azalmıştır (Çizelge 4). Kaplıca ve yulaf genotiplerinde 35 °C'de kök oluşmamış, fide başına en uzun toplam embriyonal kök 25 °C'de Olgun ve Tokak 157/37 arpa çeşitlerinde ölçülmüştür. Sıcaklık 30 °C'ye çıkarıldığında gernik genotipleri, Ç 1252 makarnalık buğday çeşidi ve arpa çeşitleri daha uzun embriyonal kökleri ile dikkat çekmiş, 35 °C'de kökler çok kısalmış ve genotipler arasındaki varyasyon oldukça daralmıştır. Kontrol koşullarında toplam embriyonal kök uzunluğu Öztürk et al. (2016) tarafından ekmeklik buğdayda bulgularımızla yakın ve 14.4-38.13 cm arasında, Sesiz (2024) tarafından kaplıca, makarnalık ve ekmeklik buğday genotiplerinde sırasıyla 31.41-76.86 cm, 47.76-100.71 cm ve 34.55-64.02 cm arasında ve bulgularımıza göre daha geniş bir varyasyonda belirlenmiştir. Huang et al. (1991), ekmeklik buğdayda embriyonal kök uzunluğu için ideal sıcaklığın 26 °C olduğunu, Hasan et al. (2004), sıcaklık 25 °C'den 35 °C'ye, Sikder and Paul (2010) ise 26 °C'den 36 °C'ye çıkarıldığında ekmeklik buğdayda kök uzunluğunun önemli ölçüde azaldığını belirlemişler, azalma oranı düşük genotipleri yüksek sıcaklık stresine toleranslı olarak tanımlamışlardır. Ekmeklik buğdayda Buriro et al. (2011), sıcaklık artışına (10, 20, 30 °C) bağlı olarak kök uzunluğunun arttığını, Khaskheli et al. (2019), sıcaklık artışının (15, 20, 25 °C) kök uzunluğunu azalttığını, Sharma et al. (2022) ise kök uzunluğu bakımından genotip x sıcaklık etkileşiminin önemli olduğunu ve en uzun köklerin 25 °C'de oluştuğunu belirlemişlerdir.

Çizelge 5. Yüksek sıcaklık stresinin serin iklim tahıllarında koleoptil uzunluğu ve sürgün uzunluğuna etkisi¹

Table 5. Effect of high temperatures on coleoptile length and shoot length in cool-climate cereals

Genotipler	Koleoptil uzunluğu (mm)					Sürgün uzunluğu (cm)				
	Sıcaklıklar (°C)					Sıcaklıklar (°C)				
	20	25	30	35	Ortalama	20	25	30	35	Ortalama
<i>Triticum monococcum</i>										
Çatalyazı	46.4	45.8	29.2	0.0	30.4 h	13.4	12.8	11.8	0.0	9.5 cde
Musasofular	49.3	46.8	29.5	0.0	31.4 gh	13.0	14.5	10.6	0.0	9.5 cde
<i>Triticum dicoccum</i>										
Çağlayan	57.1	51.7	45.9	12.9	41.9 bc	13.1	12.4	15.0	3.0	10.9 b
Şahmelik	65.0	59.1	54.9	19.9	49.7 a	14.1	12.2	13.8	2.3	10.6 bc
<i>Triticum durum</i>										
Ç 1252	46.1	46.2	43.1	22.5	39.5 cd	12.8	13.1	14.4	3.2	10.9 b
Eminbey	40.4	38.3	37.8	16.5	33.2 fg	13.0	13.2	13.0	3.2	10.6 bc
<i>T. aestivum ssp. vulgare</i>										
Gün 91	31.7	29.1	19.6	7.7	22.0 j	9.0	7.9	10.7	2.5	7.5 f
Pehlivan	50.2	44.8	39.6	8.7	35.8 ef	11.4	10.1	11.1	3.1	8.9 de
<i>Hordeum vulgare</i>										
Olgun	44.9	41.9	35.7	17.0	34.9 f	14.0	12.2	15.2	2.3	10.9 b
Tokak 157/37	58.5	58.4	42.0	19.7	44.7 b	15.7	15.5	16.5	3.1	12.7 a
<i>Secale cereale</i>										
Aslın 95	42.1	34.7	27.7	11.3	29.0 hi	12.8	11.8	7.9	3.4	9.0 de
ZFTBB-Hat1	49.9	44.8	31.8	10.0	34.1 fg	12.7	12.9	11.7	2.7	10.0 bcd
<i>Avena sativa</i>										
Kahraman	58.5	55.3	42.7	0.0	39.1 cd	11.4	12.2	10.5	0.0	8.5ef
Küçükyaşla	53.6	49.0	48.0	0.0	37.6 de	13.4	14.1	14.5	0.0	10.5 bc
<i>Triticale</i>										
Karma	37.1	32.5	29.7	22.0	30.3 h	11.9	11.1	10.5	3.5	9.3 de
Ümranhanım	35.4	25.3	23.2	22.1	27.5 i	11.8	12.8	11.0	3.5	9.8 bcd
Ortalama	47.9 a	44.2 b	36.3 c	11.9 d	35.1	12.7 a	12.4 a	12.4 a	2.2 b	9.9

¹ Aynı harf ile işaretli ortalamalar birbirinden farklıdır. G x S interaksyonu LSD değeri koleoptil uzunluğu için 5.52, sürgün uzunluğu için 2.06'dır.

3.3. Koleoptil Uzunluğu ve Sürgün Uzunluğu

Serin iklim tahıl genotiplerinde dört sıcaklık düzeyinin ortalaması olarak koleoptil uzunluğu 22.0 mm (Gün 91) ile 49.7 mm (Şahmelik), sürgün uzunluğu ise 7.5 cm (Gün 91) ile 12.7 cm (Tokak 157/37) arasında değişmiştir (Çizelge 5). Sıcaklık artışlarına bağlı olarak koleoptil uzunluğu önemli oranlarda azalmışken, sürgün uzunluğu 20, 25 ve 30 °C sıcaklıklarda önemli ölçüde değişmemiş, sıcaklık 35 °C'ye çıkarıldığında sürgün uzunluğu da önemli oranda azalmıştır. Genotiplerin sıcaklık düzeylerine koleoptil ve sürgün uzunluğu tepkileri farklılık göstermiş, 35 °C'de kaplıca ve yulaf genotiplerinde koleoptil ve sürgün çıkışı olmamıştır (Çizelge 5). En uzun koleoptil 20, 25 ve 30 °C'de Şahmelik genotipinde, 35 °C'de ise Ç 1252 ve tritikale çeşitlerinde ölçülmüştür. En uzun sürgün 20, 25 ve 30 °C'de Tokak 157/37 arpa çeşidinde, 35 °C'de ise yine tritikale çeşitlerinde belirlenmiştir. Koleoptil uzunluğu kontrol koşullarında Öztürk et al. (2014) tarafından ekmeklik buğday genotiplerinde 20.1-48.8 mm arasında, Sesiz (2024) tarafından kaplıca, makarnalık ve ekmeklik buğday genotiplerinde sırasıyla 58.9-102.4 mm, 44.7-89.6

mm ve 29.3-58.3 mm arasında tespit edilmiş ve önemli genotipik farklara dikkat çekilmiştir. Ekmeklik buğdayda sürgün uzunluğu kontrol koşullarında 7.99-19.08 cm (Öztürk et al., 2016) ve 6.59-9.72 cm (Sharma et al., 2022) arasında olmak üzere genotiplere göre önemli derecede farklılık gösterebilmektedir. Jame and Cutforth (2004), ekmeklik buğdayda koleoptil uzama oranının 25 °C'ye kadar arttığını daha yüksek sıcaklıklarda azaldığını belirlemişlerdir. Buriro et al. (2011), sıcaklık artışının (10, 20, 30 °C) sürgün uzunluğunu artırdığını, Khaskheli et al. (2019), sıcaklık artışının (15, 20, 25 °C) sürgün uzunluğunu azalttığını, Sharma et al. (2022) ise sürgün uzunluğu bakımından genotip x sıcaklık etkileşiminin önemli olduğunu ve en uzun sürgünlerin 25 °C'de oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ekmeklik buğdayda (Khaeim et al., 2022) ve arpada (Tarnawa et al., 2023) sürgün gelişimi için ideal sıcaklığın 20 °C olduğu, yüksek sıcaklıkların enzim fonksiyonları ve protein sentezi üzerindeki olumsuz etkileri yanında biyokimyasal enerji ihtiyacını ve reaktif oksijen türlerini artırarak sürgün gelişimini azalttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen kök ve sürgün uzunluğu verileri, kök gelişiminin yüksek sıcaklık stresine sürgün gelişimine göre daha duyarlı olduğu (Khaeim et al., 2022; Tarnawa et al., 2023) yönündeki sonuçlarla uyum göstermiştir.

3.4. Kök Yaş Ağırlığı ve Sürgün Yaş Ağırlığı

Sıcaklık düzeylerinin ortalamasına göre genotiplerin kök yaş ağırlığı 13.5 ile 38.1 mg, sürgün yaş ağırlığı ise 41.2 ile 101.4 mg arasında değişmiştir. Kök ve sürgün ağırlığı en düşük sırasıyla Musasofular ve Çatalyazı kaplıca genotiplerinde, en yüksek ise Ümrhanım tritikale ve Tokak 157/37 arpa çeşitlerinde olmuştur (Çizelge 6). En yüksek kök yaş ağırlığı 25 °C, sürgün yaş ağırlığı ise 20 °C'de belirlenmiş, daha yüksek sıcaklıklarda kök ve sürgün ağırlıkları önemli oranlarda azalmıştır. Bu özellikler yönünden genotiplerin sıcaklık düzeylerine tepkileri önemli farklar göstermiş; 20, 25, 30 ve 35 °C'de en yüksek kök yaş ağırlığı sırasıyla Ümrhanım, Tokak 157/37, Ç 1252 ve Asım 95, en yüksek sürgün yaş ağırlığı ise Tokak 157/37, Tokak 157/37, Tokak 157/37 ve Ümrhanım çeşitlerinden elde edilmiştir. Kök ve sürgün ağırlığı yönünden genotipler arasında önemli farklar olduğu ve genotiplerin sıcaklıklara farklı tepkiler verdiği önceki çalışmalarda da belirlenmiştir (Buriro et al., 2011; Sharma et al., 2022). Sharma et al. (2022), ekmeklik buğdayda en yüksek fide yaş ağırlığını 25 °C'de tespit etmişler ve bu sonucu fide su alımının daha yüksek olması ile açıklamışlardır. Hasan et al. (2004), sıcaklık artışının (15, 25, 35 °C) ekmeklik buğdayda sürgün kuru ağırlığını artırdığını, en yüksek kök kuru ağırlığının 25 °C'de olduğunu, Khaskheli et al. (2019) ise sıcaklık artışının (15, 20, 25 °C) kök ve sürgün yaş ağırlıklarını azalttığını belirlemişlerdir.

Çizelge 6. Yüksek sıcaklıkların serin iklim tahıllarında kök yaş ağırlığı ve sürgün yaş ağırlığına etkisi¹

Table 6. Effect of high temperatures on fresh root weight and fresh shoot weight in cool climate-cereals

Genotipler	Kök yaş ağırlığı (mg)					Sürgün yaş ağırlığı (mg)				
	Sıcaklıklar (°C)					Sıcaklıklar (°C)				
	20	25	30	35	Ortalama	20	25	30	35	Ortalama
<i>Triticum monococcum</i>										
Çatalyazı	41.4	28.5	21.1	0.0	22.8 fg	77.9	59.0	28.1	0.0	41.2 h
Musasofular	23.4	19.5	10.9	0.0	13.5 h	72.0	63.9	36.1	0.0	43.0 gh
<i>Triticum dicoccum</i>										
Çağlayan	33.0	49.5	24.3	8.0	28.7 cde	52.7	68.3	67.7	16.2	51.1 f
Şahmelik	33.5	39.7	28.8	7.9	27.5 c-f	81.0	83.0	62.9	13.6	60.1 e
<i>Triticum durum</i>										
Ç 1252	35.0	36.7	41.7	13.3	31.7 bc	99.6	106.2	108.4	28.9	85.8 b
Eminbey	33.7	35.7	24.9	8.3	25.7 d-g	84.5	90.4	52.4	23.1	62.6 e
<i>T. aestivum ssp. vulgare</i>										
Gün 91	29.9	34.2	15.0	8.8	22.0 fg	70.1	55.3	52.9	19.5	49.5 fg
Pehlivan	31.1	26.9	21.0	10.0	22.3 fg	74.6	64.3	44.4	23.9	51.8 f
<i>Hordeum vulgare</i>										
Olgun	30.0	30.9	20.1	8.6	22.4 fg	92.1	73.7	71.3	18.7	64.0 e
Tokak 157/37	24.4	55.1	30.5	11.5	35.4 ab	142.7	129.3	109.6	24.0	101.4 a
<i>Secale cereale</i>										
Aslın 95	29.7	54.7	40.2	15.0	34.9 ab	113.7	97.8	64.3	17.9	73.4 cd
ZFTBB-Hat1	33.5	29.0	25.0	14.2	25.4 d-g	98.4	87.3	61.0	24.8	67.9 de
<i>Avena sativa</i>										
Kahraman	23.1	38.3	22.4	0.0	20.9 g	99.1	92.3	63.2	0.0	63.6 e
Küçükyayla	29.1	44.0	26.7	0.0	25.0 efg	123.7	110.0	73.9	0.0	76.9 c
<i>Triticale</i>										
Karma	43.4	51.0	17.2	12.0	30.9 bcd	109.5	102.6	40.7	20.3	68.3 de
Ümranshanım	51.2	53.2	33.9	14.1	38.1 a	91.3	111.3	82.9	32.5	79.5 bc
Ortalama	34.1 b	39.2 a	25.2 c	8.2 d	26.7	93.0 a	87.2 b	63.7 c	16.5 d	65.1

¹ Aynı harf ile işaretli ortalamalar birbirinden farklıdır. G x S etkileşimini LSD değeri kök yaş ağırlığı için 10.06, sürgün yaş ağırlığı için 15.32'dir.

3.5. Çimlenme Süresi ve Çimlenme Güç İndeksi

Sıcaklıkların ortalaması olarak genotiplerin çimlenme süresi 1.27 ile 2.54 gün arasında değişmiş, en kısa Şahmelik, Olgun, Ümranshanım ve Karma genotiplerinde, en uzun ise Gün 91 ve Pehlivan çeşitlerinde tespit edilmiştir (Çizelge 7). Çimlenme asıl olarak sıcaklık ve nem tarafından kontrol edilmekle birlikte, çimlenme süresi tane iriliği, tane yapısı ve tane renginden de etkilenebilir; küçük, yumuşak yapı ve açık renkli taneler genellikle daha hızlı çimlenir (Jame and Cutroth, 2004). Essemine et al. (2007), 25 °C'de makarnalık buğdayda ekmeklik buğdaya göre daha kısa çimlenme süresi belirlemiştir. Genotiplerin ortalaması olarak çimlenme süresi 20, 25, 30 ve 35 °C'de sırasıyla 2.44, 1.73, 1.50 ve 1.02 gün olarak saptanmış, artan sıcaklığa bağlı olarak önemli oranlarda kısalmıştır (Çizelge 7). Çimlenme süresi 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 °C'de ekmeklik buğdayda sırasıyla 15, 8, 5, 3, 2 ve 2 gün (Khaeim et al., 2022), arpada ise sırasıyla 10, 6, 4, 2, 2 ve 2 gün (Tarnawa et al., 2023) olarak belirlenmiş, yüksek sıcaklıklarda tohumlarda metabolik aktivite ve çimlenme için gerekli sıcaklığın daha kısa sürede karşıladığına dikkat çekilmiştir. Yüksek

sıcaklıklar, alfa amilaz aktivitesini ve buna bağlı olarak tohum rezervlerinin hidrolizini ve taşınmasını artırarak çimlenme süresini kısaltabilir (Hasan et al., 2004).

Çizelge 7. Yüksek sıcaklık stresinin serin iklim tahıllarında çimlenme süresi ve çimlenme güç indeksine etkisi¹

Table 7. Effect of high temperatures on germination duration and germination vigor index in cool climate-cereals

Genotipler	Çimlenme süresi (gün)					Çimlenme güç indeksi				
	Sıcaklıklar (°C)					Sıcaklıklar (°C)				
	20	25	30	35	Ortalama	20	25	30	35	Ortalama
<i>Triticum monococcum</i>										
Çatalyazı	3.03	2.68	1.92	0.00	1.91 b	5027.5	3164.5	1862.9	0.0	2513.7 fg
Musasofular	2.96	2.70	1.87	0.00	1.88 b	2615.1	4133.7	1880.6	0.0	2157.3 gh
<i>Triticum dicoccum</i>										
Çağlayan	2.28	1.19	0.98	1.04	1.38 e	3174.8	6426.3	5261.5	655.3	3879.5 cd
Şahmelik	2.15	0.98	0.98	0.98	1.27 e	5332.3	6842.3	5426.2	536.3	4534.3 ab
<i>Triticum durum</i>										
Ç 1252	2.16	1.19	1.55	1.93	1.71 c	5695.3	7006.7	5213.6	538.2	4613.4 a
Eminbey	2.17	1.73	1.82	1.88	1.90 b	4651.1	6506.5	4151.2	357.9	3916.7 cd
<i>T. aestivum ssp. vulgare</i>										
Gün 91	3.55	2.38	2.12	2.11	2.54 a	3312.3	4865.9	4247.3	260.0	3171.4 e
Pehlivan	3.07	2.17	1.97	2.94	2.54 a	3696.7	5086.7	3633.6	311.4	3182.1 e
<i>Hordeum vulgare</i>										
Olgun	2.05	1.50	1.43	0.20	1.30 e	6091.3	7715.1	4001.8	22.2	4457.6 ab
Tokak 157/37	2.04	1.60	1.51	0.92	1.52 d	5203.3	7283.6	4715.8	195.7	4349.6 ab
<i>Secale cereale</i>										
Aslın 95	2.15	1.76	1.27	0.81	1.50 d	3240.3	4840.6	2371.6	429.6	2720.5 f
ZFTBB-Hat1	1.84	1.12	1.08	1.34	1.35 e	3552.6	4772.3	4238.4	480.5	3261.0 e
<i>Avena sativa</i>										
Kahraman	2.58	2.10	1.48	0.00	1.54 d	2677.8	2996.2	1724.0	0.0	1849.5 h
Küçükyayla	3.00	2.45	1.96	0.00	1.85 b	2547.2	3548.7	2559.3	0.0	2163.8 gh
<i>Triticale</i>										
Karma	2.03	1.12	1.00	1.12	1.32 e	5179.9	5222.8	3536.0	672.7	3652.8 d
Ümrânhanım	2.02	1.09	1.09	1.03	1.31 e	5367.8	6320.0	4251.6	754.3	4173.4 bc
Ortalama	2.44 a	1.73 b	1.50 c	1.02 d	1.67	4210.3 b	5420.7 a	3692.2 c	325.9 d	3412.3

¹ Aynı harf ile işaretli ortalamalar birbirinden farklıdır. G x S etkileşimini LSD değeri çimlenme süresi için 0.20, çimlenme güç indeksi için 728.92'dir.

Çimlenme güç indeksi, tohumun çimlenme süreçlerindeki aktiviteleri ve performansını etkileyen faktörlerin toplamı hakkında fikir veren önemli bir ölçüt olup; genetik yapı, çevre şartları, ana bitkinin beslenme durumu, tanenin hasat olgunluğu, iriliği, yaşı, mekanik zarar ve patojen bulaşma durumuna göre değişebilir (Gupta, 1993). Sıcaklık düzeylerinin ortalaması olarak tahıl genotiplerinin çimlenme güç indeksleri 1849.5 ile 4613.4 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 7). En düşük değerler Karaman, Musasofular ve Küçükyayla, en yüksek değerler ise Ç 1252, Şahmelik ve Olgun genotiplerinde belirlenmiştir. Genotiplerin ortalaması olarak 20, 25, 30 ve 35 °C'de çimlenme güç indeksi sırasıyla 4210.3, 5420.7, 3692.2 ve 325.9 olarak hesaplanmış, 25 °C'de en yüksek olan çimlenme güç indeksi, daha yüksek sıcaklıklarda önemli oranlarda azalmıştır. Çimlenme güç indeksi 20 °C'de Olgun arpa ve Ç 1252 makarnalık buğday çeşitlerinde, 25 °C'de arpa (Olgun, Tokak 157/37) çeşitlerinde, 30 °C'de gernik (Şahmelik, Çağlayan) genotiplerinde, 35 °C'de

ise tritikale (Ümranhanım, Karma) çeşitlerinde en yüksek olmuştur. Çimlenme güç indeksi bakımından ekmeklik buğday genotipleri arasında önemli farkların olduğu ve genotiplerin bu karakter yönünden sıcaklık düzeylerine farklı tepkiler gösterdiği önceki çalışmalarda da belirlenmiştir (Buriro et al., 2011; Sharma et al., 2022). Buriro et al. (2011), artan sıcaklığa (10, 20, 30 °C) bağlı olarak çimlenme güç indeksin de arttığını, Sharma et al. (2022) ise çimlenme güç indeksin 25 °C'de en yüksek olduğunu, daha yüksek sıcaklıklarda (30 ve 35 °C) azaldığını bildirmişlerdir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek sıcaklık koşullarında çimlenme yeteneği bakımından serin iklim tahıl türleri arasında ve türler içerisinde çeşitler arasında önemli farklar bulunmuş, yüksek sıcaklık stresinin çimlenme özelliklerini olumsuz etkilediği ve genotiplerin sıcaklık düzeylerine farklı tepkiler verdiği tespit edilmiştir. Kaplıca ve yulaf genotipleri 35 °C'de hiç çimlenmediğinden, bu türler serin iklim tahılları içerisinde yüksek sıcaklığa en duyarlı olarak belirlenmiştir. En yüksek sıcaklıkta (35 °C), yüksek çimlenme yüzdeleri ve çimlenme güç indeksleri ile dikkat çeken gernik ve tritikale genotipleri, çimlenme dönemindeki yüksek sıcaklıklara diğer serin iklim tahılları türlerine göre daha toleranslı olarak tanımlanabilir. Toleranslı genotipler, ekim zamanında toprak sıcaklığının yüksek olduğu çevrelere önerilebilir, çimlenme dönemindeki yüksek sıcaklığa dayanıklılık ıslahında gen kaynağı olarak kullanılabilir. Yüksek sıcaklığa toleransta 1 °C bile kritik öneme sahiptir ve 30 °C üzeri uygulamalarda sıcaklık test aralığı dar tutularak genotipler arasındaki varyasyonlar daha sağlıklı belirlenebilir.

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), SHO (%70), HK (%20)

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

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

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

KAYNAKLAR

- Anonim, 2024. Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, <https://biruni.tuik.gov.tr> (21.04.2025).
- AOSA, 1993. Rules for Testing Seeds. Published by: Association of Official Seed Analysts and the Society of Commercial Seed Technologists (SCST). Journal of Seed Technology, 16 (3): 1-113.
- 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. "Alınmıştır: Advances in Plant Defense Mechanisms, (ed) Kimatu, J.N., IntechOpen, 1-41. DOI: 10.5772/intechopen.106054.
- Bhandari, K., Sharma, K.D., Rao, B.H., Siddique, K.H.M., Gaur, P., Agrawal, S.K., Nair, R.M., Nayyar, H. 2017. Temperature sensitivity of food legumes: a physiological insight. Acta Physiol Plant, 39 (68): 1-22. DOI: 10.1007/s11738-017-2361-5
- Bojovic, B., 2010. The effects of temperature, length of storage and plant growth regulators on germination of wheat (*Triticum aestivum* L.) and *Triticale* seeds. Biotechnol. & Biotechnol. Eq. 24, 2, 1849-1853. doi.org/10.2478/V10133-010-0027-1.
- Buriro, M., Oad, F.C., Keerio, M.I., Tunio, S., Gandahi, A.W., Hassan, S.W., Oad, S.M., 2011. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes. Sarhad J. Agric. 27, 4, 539-543.
- Butler, T.J., Celen, A.E., Webb, S.L., Krstic, D.B., Interrante, S.M., 2017. Germination in cool-season forage grasses under a range of temperatures. Crop Sci. 57: 1725-1731. doi.org/10.2135/cropsci2015.10.0647.
- 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.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology, 9(2): 373-409.
- Essemine, J., Ammar, S., Jbir, N., Bouzid, S., 2007. Sensitivity of two wheat specie's seeds (*Triticum durum*, variety Karim and *Triticum aestivum*, variety Salambô) to heat constraint during germination. Pakistan J. Biol. Sci. 10, 21: 3762-3768.
- Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S., Ahmed, N., Ali, M.A., Sarwar, G., Haque, E., Iqbal, P., Hussain, S., 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. Scientific Reports 10:18013. doi.org/10.1038/s41598-020-74740-3.
- Gupta, P.C., 1993. Seed vigour testing. "Alınmıştır: Handbook of Seed Testing. (ed) Agrawal, P.K., New Delhi, 242-249.
- 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. J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka 32 (3-4): 97-107.
- Howarth, C.J. 2005. Genetic improvements of tolerance to high temperature. "Alınmıştır: Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. (ed) Ashraf, M., Harris, P.J.C., Howarth Press Inc., New York, USA, 277-300.
- Huang, B.R., Taylor, H.M., McMichael, B.L., 1991. Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. Environmental and Experimental Botany 31, 471-477. doi.org/10.1016/0098-8472(91)90046-Q.
- Iloh, A.C., Omatta, G., Ogbadu, G.H., Onyenekwe, P.C., 2014. Effects of elevated temperature on seed germination and seedling growth on three cereal crops in Nigeria. Scientific Research and Essays 9, 18: 806-813. doi.org/10.5897/SRE2014.5968.
- Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agricultural and Forest Meteorology 124, 207-218. doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012.
- Kader, M.A., 2005. A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, 138: 65-75.
- Khaim, H., Kende, Z., Balla, I., Gyuricza, C., Eser, A., Tarnawa, A., 2022. The Effect of temperature and water stresses on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Sustainability 14, 3887. <https://doi.org/10.3390/su14073887>
- Khan, A., Ahmad, M., Ahmed, M., Iftikhar Hussain, M., 2021. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies. Plants, 10 (1), 43. doi.org/10.3390/plants10010043.
- Khaskheli, N., Laghari, G.M., Hussain, S., Khaskheli, M.A., Laghari, A.H., Buriro, M., Khanzada, A., Kalhor, F.A., 2019. Effect of temperature regimes on seed germination and agronomic features at early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. J. Chem. Bio. Phys. Sci. Sec. B. 9, 4: 603-616. DOI: 10.24214/jcbps.B.9.4.60316.

- Lafond, G.P., Fowler, B.D., 1989. Soil temperature and water content, seeding depth, and simulated rainfall effects on winter wheat emergence. *Agron. J.* 81: 609-614. doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100040012x
- Lei, L., Zhu, X., Wang, S., Zhu, M., Carver, B.F., Yan, L., 2013. TaMFT-A1 is associated with seed germination sensitive to temperature in winter wheat. *Plos One* 8 (9): 1-7. doi.org/10.1371/journal.pone.0073330.
- Li, Y.F., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, N., Pena, R.J., 2013. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *J Cereal Sci* 57(1): 73-78. doi.org/10.1016/j.jcs.2012.09.014.
- Maestri, E., Klueva, N., Perrotta, C., Gulli, M., Nguyen, H.T., Marmioli, N. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Mol Biol*, 48: 667-681.
- Nyachiro, J.M., Clarke, F.R., DePauw, R.M., Knox, R.E., Armstrong, K.C., 2002. Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. *Euphytica* 126: 123-127.
- Öztürk, A., Bayram, S., Haliloğlu, K., Aydın, M., Çağlar, Ö., Bulut, S., 2014. Characterization for drought resistance at early stages of wheat genotypes based on survival, coleoptile length, and seedling vigor. *Turk J Agric For* 38(6): 824-837. doi.org/10.3906/tar-1402-57.
- Öztürk, A., Taşkesenligil, B., Haliloğlu, K., Aydın, M., Çağlar, Ö., 2016. Evaluation of bread wheat genotypes for early drought resistance via germination under osmotic stress, cell membrane damage and paraquat tolerance. *Turk. J. Agric. For.*, 40(2): 146-159. doi.org/10.3906/tar-1501-136.
- Porter, J.R., Gawith, M., 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy* 10 (1): 23-36. doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00047-1.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J., 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34. doi.org/10.3390/plants8020034.
- Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Fischer, V.M., Mickelson, B., 1999. Breeding long coleoptile, reduced height wheats. *Euphytica* 106: 159-168.
- Riedesel, L., Ma, D., Piepho, H.P., Laidig, F., Möller, M., Golla, B., Kautz, T., Feike, T., 2024. Climate change induced heat and drought stress hamper climate change mitigation in German cereal production. *Field Crops Research*, 317, 109551. doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109551.
- RStudio Team, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
- Sesiz, U., 2024. The changes in coleoptile length and root system architecture during wheat polyploidization. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences* 8(1):168-182. doi.org/10.5281/zenodo.10826058.
- Sharma, S., Singh, V., Tanwar, H., Mor, V.S., Kumar, M., Punia, R.C., Dalal, M.S., Khan, M., Sangwan, S., Bhuker, A., Dagar, C.S., Yashveer, S., Singh, J. 2022. Impact of high temperature on germination, seedling growth and enzymatic activity of wheat. *Agriculture*, 12(9):1500. doi.org/10.3390/agriculture12091500.
- Sikder, S., Paul, N.K., 2010. Study of influence of temperature regimes on germination characteristics and seed reserves mobilization in wheat. *African J. Plant Sci.* 4(10): 401-408.
- 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., Hanumantha Rao, 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.org/10.3389/fpls.2017.01658
- Tarnawa, A., Kende, Z., Sghaier, A.H., Kovacs, G.P., Gyuricza, C., 2023. Khaeim, H. Effect of abiotic stresses from drought, temperature, and density on germination and seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plants* 12(9), 1792. doi.org/10.3390/plants12091792.
- Tribouillois, H., Dürr, C., Demilly, D., Wagner, M.H., Justes, E., 2016. Determination of germination response to temperature and water potential for a wide range of cover crop species and related functional groups. *Plos One* 11(8): 1-16. doi.org/10.1371/journal.pone.0161185.
- 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.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.
- Watt, M.S., Bloomberg, M., 2012. Key features of the seed germination response to high temperatures. *The New Phytologist* 196(2): 332-336.