

Tohum Büyüklüğü ve PEG Kaynaklı Osmotik Stresin Tane Sorgumda Çimlenme ve Fide Büyümesi Üzerine Etkileri

Lina ALBAŞAVAT¹, Hasan AKAY^{1*}, Elif ÖZTÜRK¹, İsmail SEZER¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Samsun

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): hasan.akay@omu.edu.tr

Özet

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Gramineae familyasına bağlı tek yıllık, sıcak iklim tahılları içerişimde yer alan bir C4 bitkisidir. Genel olarak, yarı kurak ve kurak bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Araştırmada osmotik stres şartlarında Öğretmenoğlu-77 çeşidine ait tohumlar küçük, orta ve büyük olarak ayrılmıştır. Osmotik stres oluşturmak için yedi farklı PEG 6000 konsantrasyon % 0-5-10-15-20-25-30 oranında kullanılmış olup, tohum çimlenmesi ve fide büyümesine olan etkileri araştırılmıştır. Araştırmada, çimlenme gücü, ortalama çimlenme süresi, kök ve fide uzunluğu, kök ve fide yaş ağırlığı ölçülmüş ve hesaplanmıştır. İncelenen tüm genotiplerde, tohum boyutunun ve osmotik potansiyelin azaltılması ortalama çimlenme süresini arttırmış ve çimlenme gücü, kök ve fide uzunluğunu azaltmıştır. Araştırma sonucunda abiyotik stres ve iyi hazırlanmamış tohum yatağı şartlarında büyük tohumların çimlenme ve fide gelişiminin küçük tohumlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi :27.01.2023

Kabul Tarihi :05.03.2023

Anahtar Kelimeler

Kuraklık
fide gücü
tohum iriliği
vigor indeksi

Effects of Seed Size and PEG Induced Osmotic Stress on Germination and Seedling Growth in Grain Sorghum

Abstract

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a C4 plant of the Gramineae family, included in the content of one-year, warm climate cereals. In general, it is widely cultivated in semi-arid and arid regions. In the study, under osmotic stress conditions, the seeds of the Öğretmenoğlu-77 variety were divided into small, medium and large. Seven different PEG 6000 concentrations of 0-5-10-15-20-25-30% were used to create osmotic stress and their effects on seed germination and seedling growth were investigated. In the study, germination power, average germination time, root and seedling length, root and seedling fresh weight were measured and calculated. In all genotypes studied, decreasing seed size and osmotic potential increased mean germination time and decreased germination vigor, root and seedling length. As a result of the research, it was determined that germination and seedling development of large seeds were better than small seeds under abiotic stress and poorly prepared seedbed conditions.

Research Article

Article History

Received :27.01.2023

Accepted :05.03.2023

Keywords

Drought
seedling vigor
seed size
vigor index

1. Giriş

Dünyada nüfus artışıyla birçok ülkede başta su kıtlığı ve kuraklık gibi tarımsal üretimi ve gıdaya erişimi olumsuz yönde etkileyen küresel iklim değişikliği, tarımsal üretimde önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Arıcı ve Avcı, 2022). Küresel ısınmadaki artış ile sık bir şekilde meydana gelmesi beklenen iklim değişiklikleri nedeniyle artan ve tarımsal üretimi etkileyen en önemli abiyotik stres olan kuraklık stresi, sürdürülebilir tarımın önünde acil çözülmesi gereken en önemli sorun olarak durmaktadır (Akbudak ve ark., 2018).

Tohum çimlenmesi, bitkisel üretimde verim ve kaliteyi etkileyen en önemli aşamalardan biridir (Almansouri ve ark., 2001). Ayrıca, tohum yatağı ortamı ile tohum kalitesi arasındaki etkileşim mahsul oluşumunda önemli bir rol oynar (Brown ve ark., 1989; Khajeh-Hosseini ve ark., 2003). Topraktaki su kıtlığı, tohum çimlenmesinin ertelenmesine ve azalmasına, eşit olmayan fide çıkışına, birim alanda bitki sayısının değişmesine, tohum veriminin ve kalitesinin düşmesine neden olur (Bliss ve ark., 1986; Hampson ve Simpson, 1990; Saxena ve ark., 1993; Gürbüz ve ark., 2009; Uslu ve Gedik, 2020). Tohum çimlenmesi ve fide gelişiminin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi istenilen bitki sıklığının sağlanmasına ve başarılı bir üretimin temelini oluşturmaktadır (Atış, 2011).

Tohum boyutunun çimlenme ve ardından fide çıkışı üzerindeki etkisi, birçok araştırmacı tarafından çeşitli bitki türleri/çeşitlerinde incelenmiş olup, türler arasında büyük farklılıklar göstermiştir (Roy ve ark., 1996; Guberac ve ark., 1998; Larsen ve Andreasen, 2004; Willenborg ve ark., 2005; Kaydan ve Yağmur, 2008). İnci darı (Kawade ve ark., 1987) ve tritikale bitkisinde (Kaydan ve Yağmur, 2008) tohum boyutunun artmasıyla daha yüksek çimlenme ve çıkış tespit edilmiş, ancak bazı yem bitkilerinde yüksek çimlenme yüzdesi

gösterirken, çimlenme süresinde düşüş saptanmıştır (Larsen ve Andreasen, 2004). Bunun tersine, farklı sıcaklık ve nem stresi koşullarında küçük taneli ekmeklik buğday tanelerinde daha hızlı çimlenme elde edilmiştir (Lafond ve Baker, 1986).

Polietilen glikol 6000 (PEG6000) kimyasalı laboratuvar şartlarında çevresel kuraklığı canlandırılması amacıyla çoğunlukla kullanılan ve bitki hücrelerinde ozmotik stresi oluşturması yanı sıra toksiteye neden olmadan ozmotik stres oluşturmak için çözünen madde olarak bulunmuştur (Kaufman ve Eckard, 1971; Çalıkoğlu ve Tilki, 2002; Verslues ve Bray, 2004). Birçok bitkide çimlenme ve fide dönemlerinde kuraklığa tepkilerinin belirlenmesi amacıyla PEG-6000 kullanılarak çok sayıda araştırma yürütülmüştür (Çalıkoğlu ve Tilki, 2002; Van der Berg ve Zeng, 2006; Mut ve Akay, 2010; Piwowarczyk ve ark., 2014; Bilgili ve ark., 2018). Bitkilerin tohum iriliği çimlenme hızı ve gücünün yüksek olmasının yanı sıra homojen bir çıkış ve birim alandan yüksek verim artışının sağlanması gibi üstünlükleri yaygın bir görüş bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda küçük taneli tohumların iri taneli olanlara göre sürme gücü ve hızı değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Graven ve Carter, 1990). Abiyotik stres ve iyi hazırlanmamış tohum yatağı şartlarında büyük tohumların çimlenme ve fide gelişiminin küçük tohumlara göre daha iyi olmaktadır (Kim ve ark., 2002, Akıncı ve Yıldırım, 2007; Kaya ve ark., 2008). Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Gramineae familyasına bağlı tek yıllık, sıcak iklim tahılları içerisinde yer alan bir C4 bitkisidir. Genel olarak, yarı kurak ve kurak bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Sorgum üretimi dünyada Afrika, Asya ve Latin Amerika'nın önemli bir ürünüdür. Ayrıca, buğday, mısır, çeltik ve arpadan sonra Dünya'nın beşinci önemli tahıllıdır (Anglani, 1998; Oyier ve ark., 2016). Sorgum bitkisinin genel olarak kuraklık, sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik

stres şartlarına daha dayanıklı olduğundan genellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde mısır bitkisine alternatif olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ayrıca, abiyotik stres şartları olan kırsal kesimlerde insanların gelir kaynağını ve temel ihtiyaçlarını karşılaması beklenen bir bitki olarak sorgum karşımıza çıkmaktadır (Başaran ve ark., 2017). Bu araştırma, tane sorgum yetiştiriciliği yapılan bölgelerde farklı tohum büyüklüğü ve ozmotik stres altında çimlenme ve fide büyümesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarında 2022 yılında yürütülmüştür. Deneme materyali olarak "Öğretmenoğlu-77" tanelik sorgum çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada, 3 farklı tohum boyutu, 7 farklı ozmotik stres konsantrasyonu, (kontrol, % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30) tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak planlanmıştır. Tohumlar, bin tane ağırlıklarına göre küçük, orta ve büyük olmak üzere sınıflandırılmıştır. Küçük tohumlar, 20.5 g, orta tohumlar 29.05 g ve büyük tohumlar 37.09 g olarak alınmıştır. Çimlendirme öncesinde tohumlar % 5'lik NaClO (sodyum hipoklorit) solüsyonunda 10-12 dakika yüzey sterilizasyonu yapılmıştır (Öztürk ve ark., 2021). Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar kapaklı şeffaf plastik kaplara (10x10x4 cm), 20 adet tohum cımbız ile yerleştirilmiştir. Farklı ozmotik stres konularına göre 10 ml PEG

6000 hazırlanmış solüsyon eklenmiştir. PEG çözeltileri, başka kimyasal maddelerin olumlu ya da olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için saf su ile hazırlanmıştır (Mut ve Akay, 2010). Çimlendirme kapları iklim dolabında $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve % 75 nem olacak şekilde günlük 12 saat 12.000 lüks ışık ile yetiştirme ortamı oluşturulmuş, filtre kâğıtları 2 gün aralıklarla değiştirilmiştir (Öztürk ve ark., 2021). Araştırmada, ilk 10 gün çimlenen tohumlar sayılmış ve 2 mm sapçık ya da kökçük uzunluğuna sahip olan tohumlar, çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (ISTA, 2003). Araştırmada 15. günün sonunda fide uzunluğu, fide çapı, yaprak sayısı, yaprak alanı, kök uzunluğu, kök sayısı, kök ağırlığı, fide ağırlığı, çimlenme gücü, çimlenme indeksi, ortalama çimlenme süresi (Ellis ve Roberts, 1980), vigor indeksi (Butola ve Badola, 2004), kuraklık tolerans indeksi ölçümleri ve hesaplamaları yapılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi JMP istatistik programı aracılığıyla yapılmıştır. Grupların ortalamaları arasındaki farkın önemlilik kontrolü Tukey testi kullanılarak yapılmıştır. İncelenen karakterler arasındaki ilişki için Biplot, Pearson ve Kümeleme analizi (JMP, 2019) yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Tohum büyüklüğü ve PEG kaynaklı ozmotik stresin tane sorgumda çimlenme ve fide büyümesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışmada, incelenen parametreler arasındaki ilişkiler ve varyans analiz sonuçları ve TUKEY gruplandırılması Tablo 1 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 1. Tane sorgumda fide uzunluğu, fide çapı, yaprak sayısı, yaprak alanı, kök uzunluğu ve kök ağırlığına ait varyans analiz sonuçları

| VK | SD | FU | FÇ | YS | YA | KU | KS | KA |
|------------------|----|----------|----------|---------|--------|----------|--------|-----------|
| PEG (P) | 6 | 104.28** | 1.4676** | 14.88** | 7.80** | 761.39** | 3.54** | 0.33051** |
| Tohum Boyutu (B) | 2 | 8.65** | 0.1702** | 0.83** | 1.00** | 96.21** | 0.01 | 0.09840** |
| P x B İnt. | 12 | 1.22** | 0.0186** | 0.34** | 0.24** | 14.35** | 0.09 | 0.01344** |
| Hata | 42 | 0.07 | 0.0005 | 0.03 | 0.02 | 0.36 | 0.08 | 0.00016 |
| VK% | | 6.44 | 3.88 | 9.41 | 15.37 | 6.02 | 3.25 | 5.50 |

(*) $p < 0.05$, (**) $p < 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemli; FU: Fide Uzunluğu, FÇ: Fide Çapı, YS: Yaprak Sayısı, YA: Yaprak Alanı, KU: Kök Uzunluğu, KS: Kök Sayısı, KA: Kök Ağırlığı

Tablo 1 incelendiğinde; fide uzunluğu, fide çapı, yaprak sayısı, yaprak alanı, kök uzunluğu ve kök ağırlığı bakımından değerlendirildiğinde, PEG 6000 uygulamasının, tohum boyutunun ve interaksiyonu arasındaki ilişkilerin istatistiki olarak çok önemli ($p<0.001$) olduğu belirlenmiştir. Kök sayısı bakımından incelendiğinde ise sadece PEG 6000 uygulamasının istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir.

Fide uzunluğu ve fide çapına ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 2’de verilmiştir. Fide uzunluğu bakımından incelendiğinde, en yüksek fide uzunluğu 9.27 cm ile % 5 PEG uygulamasında ve tane boyunun büyük olduğu konuda belirlenmiştir. En düşük fide uzunluğu ise 1.77 cm ile PEG uygulamasının % 20 ve tohum boyutunun küçük olduğu işlemde belirlenmiştir. PEG uygulamasının % 25 ve % 30 olduğu konularda hiçbir tohum boyutunda çimlenme gerçekleşmemiştir. Fide uzunluğu bakımından ortalama tohum boyutları incelendiğinde, en yüksek fide uzunluğu, tohum boyutu büyük (4.77 cm) olan grupta belirlenirken, en düşük fide uzunluğu yaklaşık % 27’lik bir azalış ile tohum boyutunun küçük olduğu işlemde belirlenmiştir. PEG konsantrasyonları incelendiğinde, ortalama fide uzunluğu kontrole göre yaklaşık % 75 azalarak % 20 PEG uygulamasında 2.06 cm olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Araştırmada ozmotik stres seviyesinin artmasıyla fide

uzunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Farklı bitkilerde yapılan çalışmaların sonuçları bulgularımızı desteklemektedir. (Almansouri ve ark., 2001; Berg ve Zeng, 2006; Ahmad ve ark., 2009; Mut ve Akay, 2010; Rouhi ve ark., 2011; Khodarahmpour, 2011; Borawska-Jarmułowicz ve ark., 2017; Nazirzadeh, 2018; Meşe, 2019; Akyürek, 2020).

Fide çapı bakımından incelendiğinde, en yüksek fide çapı 1.193 mm ile kontrol uygulamasında ve tane boyunun büyük olduğu konuda belirlenmiştir. En düşük fide çapı ise 0.597 mm ile PEG uygulamasının % 10 ve tohum boyutunun küçük olduğu işlemde belirlenirken, birçok işlemle aynı istatistiki grupta yer almıştır. PEG uygulamasının % 25 ve % 30 olduğu konularda herhangi bir ölçüm alınamamıştır. Fide çapı bakımından ortalama tohum boyutları incelendiğinde, en yüksek fide çapı tohum boyutu büyük (0.666 mm) olan grupta belirlenirken, en düşük fide uzunluğu yaklaşık % 27’lik bir azalış ile tohum boyutunun küçük (0.486 mm) olduğu işlemde belirlenmiştir. PEG konsantrasyonları incelendiğinde, ortalama fide çapı kontrole göre yaklaşık % 27 azalarak % 20 PEG uygulamasında 0.712 mm olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Fide boyunun azalmasına paralel olarak fide çapı değerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi şartlarında bitkilerde gövde çapı parametresinde azalmanın olduğu bildirilmektedir (Kıpçak ve Erdiñç, 2016).

Tablo 2. Tane sorgumda tohum büyüklüğü ve PEG kaynaklı ozmotik stresin fide uzunluğu ve fide çapına ait ortalama değerler

| PEG | Fide Uzunluğu (cm) | | | | Fide Çapı (mm) | | | |
|-----------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Büyük | Ort. | Küçük | Orta | Büyük | Ort. |
| 0% | 7.50 b | 7.50 b | 9.00 a | 8.00 a | 0.780 fg | 0.940 bc | 1.193 a | 0.971 a |
| 5% | 6.00 cd | 7.50 b | 9.27 a | 7.59 b | 0.790 fg | 0.830 def | 0.957 b | 0.859 b |
| 10% | 4.50 e | 6.27 c | 6.67 bc | 5.81 c | 0.597 h | 0.793 ef | 0.870 cd | 0.753 c |
| 15% | 4.67 e | 5.23 de | 5.97 cd | 5.29 d | 0.600 h | 0.773 fg | 0.863 de | 0.746 cd |
| 20% | 1.77 f | 1.90 f | 2.50 f | 2.06 e | 0.637 h | 0.720 g | 0.780 fg | 0.712 d |
| 25% | 0.00 g | 0.00 g | 0.00 g | 0.00 f | 0.000 ı | 0.000 ı | 0.000 ı | 0.000 e |
| 30% | 0.00g | 0.00 g | 0.00 g | 0.00 f | 0.000 ı | 0.000 ı | 0.000 ı | 0.000 e |
| Ortalama | 3.49 c | 4.06 b | 4.77 a | 4.11 | 0.486 c | 0.580 b | 0.666 a | 0.577 |

** Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Yaprak sayısı ve yaprak alanına ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 3'te verilmiştir. Yaprak sayısı değerleri 2.00 ve 3.00 adet/bitki arasında değişiklik göstermiştir. Yaprak sayısı değerleri, ortalama tohum boyutuna göre incelendiğinde, 2.00 adet/bitki ile orta tohum boyutunda en fazla yaprak sayısı belirlenmiş, büyük tohum boyutunda hesaplanan yaprak sayısı (1.90 adet/bitki) değeri ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Ortalama PEG konsantrasyon değerleri incelendiğinde, en fazla yaprak sayısı kontrol grubunda belirlenirken, en düşük yaprak sayısı % 30'luk bir azalma ile % 20 PEG uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 3). Araştırmada ozmotik strese bağlı olarak yaprak sayısında azalma olması, farklı bitkilerde araştırma yapan birçok araştırmacı bulduğumuz sonuçlara benzer ve destekleyen sonuçları rapor etmişlerdir (Boutraa ve Sanders, 2001; Arpacı, 2003; Doğan, 2006; Kuşvuran, 2010; Mut ve Akay, 2010; Mut ve ark., 2010; Küçükkömürü, 2011; Altunlu, 2011; Kaya, 2011; Kaya ve Daşgan, 2013; Kıpçak ve Erdiñ, 2016; Ünal, 2010).

Yaprak alanı değerleri 0.19 ile 2.65 cm² arasında değişiklik göstermiştir. Yaprak alanı değerleri incelendiğinde, en yüksek yaprak alanı değeri, tohum boyutunun büyük olduğu kontrol grubunda belirlenirken, tohum boyutunun orta ve küçük olduğu uygulamalar ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Yaprak alanı değerleri ortalama tohum boyutuna göre incelendiğinde, 1.14 cm² ile büyük tohum boyutunda en fazla yaprak alanına sahip olarak belirlenmiş olup, 0.71 cm² en düşük yaprak alanına tohum boyutunun küçük olduğu uygulamada belirlenmiştir. Ortalama PEG konsantrasyon değerleri incelendiğinde, en fazla yaprak alanı kontrol grubunda belirlenirken, en düşük yaprak alanı % 91'lik bir azalma ile % 20 PEG uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 3). Araştırma sonucunda ozmotik stres seviyesinin artmasıyla yaprak alanının azalması ve olumsuz yönde etkilenmesi, yapılan birçok çalışma ile benzer sonuçları ortaya koymuştur (Kuşvuran ve ark., 2011; Rostami ve Rahemi, 2013).

Tablo 3. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin yaprak sayısı ve yaprak alanına ait ortalama değerler

| PEG | Yaprak Sayısı (adet) | | | | Yaprak Alanı (cm ²) | | | |
|-----------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Küçük | Ort. | Küçük | Orta | Küçük | Ort. |
| 0% | 3.00 a | 3.00 a | 3.00 a | 3.00 a | 2.63 a | 2.43 ab | 2.65 a | 2.57 a |
| 5% | 2.00 b | 3.00 a | 3.00 a | 2.67 b | 0.77 ef | 1.26 d | 2.06 bc | 1.37 b |
| 10% | 2.00 b | 3.00 a | 3.00 a | 2.67 b | 0.72 fg | 1.27 d | 1.74 c | 1.24 b |
| 15% | 2.00 b | 3.00 a | 2.33 b | 2.44 b | 0.64 fg | 1.14 de | 1.24 d | 1.01 c |
| 20% | 2.33 b | 2.00 b | 2.00 b | 2.11 c | 0.19 h | 0.20 h | 0.31 gh | 0.23 d |
| 25% | 0.00 c | 0.00 c | 0.00 c | 0.00 d | 0.00 i | 0.00 i | 0.00 i | 0.00 e |
| 30% | 0.00 c | 0.00 c | 0.00 c | 0.00 d | 0.00 i | 0.00 i | 0.00 i | 0.00 e |
| Ortalama | 1.62 b | 2.00 a | 1.90 a | 1.84 | 0.71 c | 0.90 b | 1.14 a | 0.92 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Kök uzunluğu kuraklığa karşı önemli bir özelliktir. Kök uzunluğu ve kök sayısına ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 4'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde, tohum boyutları ile PEG uygulamalarının kök uzunluğuna etkisi istatistiki açıdan önemli olarak

belirlenirken, kök sayısı açısından sadece ortalama PEG uygulamalarının arasındaki ilişki istatistiki açıdan önemli olarak belirlenmiştir. Kök uzunluğu değerleri incelendiğinde, en fazla kök uzunluğu kontrol uygulamasında ve tohum boyutu büyük olan uygulamada 27.67 cm olarak

belirlenmiş olup, en düşük kök uzunluğu % 20 PEG uygulamasında ve tohum boyutu küçük olan uygulamada 4 cm olarak belirlenmiştir. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, 23.28 cm ile kontrol uygulamasında belirlenmiş olup, en düşük kök uzunluğu % 89 azalış ile % 20 PEG konsantrasyonunda belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla kök uzunluğu 11.94 cm ile tane boyutu büyük olan uygulamada belirlenmiş olup, en düşük kök uzunluğu % 36'lık azalış ile tane boyutu küçük olan uygulamada belirlenmiştir (Tablo 4). Kuraklık stres düzeyindeki artış kök uzunluğunda azalmaya neden olmuştur. Benzer bulgular Gürbüz ve ark. (2009), Mut ve Akay (2010), Mut ve ark. (2010),

Khodarahmpour (2011), Balkan ve Gençtan (2013), Borawska-Jarmułowicz ve ark. (2017), Banniabbas ve ark. (2012) tarafından bildirilmiştir. Farklı bitki tür/çeşitlerinde yapılan çalışmalarda; yem bezelyesinde (Gamze ve ark., 2005), buğday ve mısırdaki (Nayar ve Gupta, 2006), yoncada (Safarnejad, 2008), maş fasulyesinde (Priyanka ve ark., 2011), darıda (Radhouane, 2007), kolzada (Toosi ve ark., 2014) ve sorgumda (Avcı ve ark., 2015) elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Ozmotik stres seviyesinin artmasıyla fide ve kök uzunluğu azalmıştır. Kuraklığın ilk olumsuz tepkisi hücrenin gelişmesi ve büyümesinin gerilemeye başlamasıyla ortaya çıkmaktadır. (Kramer, 1983; Toosi ve ark., 2014; Avcı ve ark., 2018).

Tablo 4. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin kök uzunluğu ve kök sayısına ait ortalama değerler

| PEG | Kök Uzunluğu (cm) | | | | Kök Sayısı (adet) | | | |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------|-------------|---------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Büyük | Ort. | Küçük | Orta | Büyük | Ort. |
| 0% | 18.17 d | 24.00 b | 27.67 a | 23.28 a | 2.00 | 1.33 | 1.67 | 1.67 a |
| 5% | 14.17 e | 21.50 c | 23.50 b | 19.72 b | 1.00 | 1.33 | 1.00 | 1.11 b |
| 10% | 9.50 gh | 11.87 f | 15.70 e | 12.36 c | 1.00 | 1.33 | 1.33 | 1.22 b |
| 15% | 8.00 h | 10.00 fg | 11.83 f | 9.94 d | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 b |
| 20% | 4.00 ı | 4.33 ı | 4.90 ı | 4.41 e | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 b |
| 25% | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 f | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 c |
| 30% | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 f | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 c |
| Ortalama | 7.69 c | 10.24 b | 11.94 a | 9.96 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur.

Kök sayısı değerleri incelendiğinde, 1 ile 2 adet arasında değişmiştir. Ortalama PEG uygulama değerleri incelendiğinde ise en fazla kök sayısı kontrol işleminde 1.67 adet

olarak belirlenirken, en düşük kök sayısı 1 adet olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Kök sayısının azalması ozmotik stresin artmasıyla ters orantılıdır.

Tablo 5. Tane sorgumda fide ağırlığı, çimlenme gücü, çimlenme indeksi, ortalama çimlenme hızı, vigor indeksi, kuraklık tolerans indeksine ait varyans analiz sonuçları

| VK | SD | FA | ÇG | Çİ | OÇH | Vİ | KTİ |
|------------------|----|----------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| PEG (P) | 6 | 0.35180** | 14797.94** | 434.81** | 79.9740** | 13259580** | 13626.11** |
| Tohum Boyutu (B) | 2 | 0.07596** | 382.11** | 5.70** | 0.0059** | 2078106** | 104.02** |
| P x B İnt. | 12 | 0.01035** | 49.70** | 0.78** | 0.0252** | 296013** | 80.99** |
| Hata | 42 | 0.00009 | 0.59 | 0.005 | 0.0006 | 2872 | 3.05 |
| VK% | | | 1.40 | 1.84 | 5.66 | 4.50 | 3.62 |

(*) p<0.05, (**) p < 0.01 hata sınırları içerisinde istatistiki olarak önemli; FA: Fide Ağırlığı, ÇG: Çimlenme Gücü, Çİ: Çimlenme İndeksi, OÇH: Ortalama Çimlenme Hızı, Vİ: Vigor İndeksi, KTİ: Kuraklık Tolerans İndeksi

Tablo 5 incelendiğinde; fide ağırlığı, çimlenme gücü, çimlenme indeksi, ortalama çimlenme hızı, vigor indeksi, kuraklık tolerans indeksi bakımından değerlendirildiğinde, PEG 6000 uygulamasının, tohum boyutunun ve interaksiyonu arasındaki ilişkilerin

istatistiki olarak çok önemli ($p < 0.01$) olduğu belirlenmiştir.

Kök ağırlığı ve fide ağırlığına ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin kök ağırlığı ve fide ağırlığına ait ortalama değerler

| PEG | Kök Ağırlığı (g) | | | | Fide Ağırlığı (g) | | | |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Küçük | Ort. | Küçük | Orta | Küçük | Ort. |
| 0% | 0.36 cd | 0.48 b | 0.70 a | 0.51 a | 0.39 e | 0.46 c | 0.54 b | 0.47 a |
| 5% | 0.26 e | 0.34 d | 0.40 c | 0.33 b | 0.35 f | 0.43 d | 0.63 a | 0.47 a |
| 10% | 0.12 fg | 0.28 e | 0.36 cd | 0.26 c | 0.21 h | 0.36 f | 0.46 cd | 0.34 b |
| 15% | 0.24 e | 0.34 d | 0.46 b | 0.35 b | 0.21h | 0.30 g | 0.33 f | 0.28 c |
| 20% | 0.11 g | 0.14 fg | 0.15 f | 0.13 d | 0.15 ı | 0.19 h | 0.20 h | 0.18 d |
| 25% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 e | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 e |
| 30% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 e | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 e |
| Ortalama | 0.16 c | 0.23 b | 0.29 a | 0.23 | 0.19 c | 0.25 b | 0.31 a | 0.25 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Kök ağırlığı değerleri incelendiğinde, en fazla kök ağırlığı kontrol uygulamasında ve tohum boyutu büyük olan uygulamada 0.70 g olarak belirlenmiş olup, en düşük kök ağırlığı % 20 PEG uygulamasında ve tohum boyutu küçük olan uygulamada 0.11 g olarak belirlenmiştir. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, 0.51 g ile kontrol uygulamasında belirlenmiş olup, en düşük kök ağırlığı % 75 azalış ile % 20 PEG konsantrasyonunda belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla kök ağırlığı 0.29 g ile tane boyutu büyük olan uygulamada belirlenmiş olup, en düşük kök ağırlığı % 45’lik azalış ile tane boyutu küçük olan uygulamada belirlenmiştir (Tablo 6). Fide ağırlığı değerleri incelendiğinde, en fazla fide ağırlığı % 5’lik PEG uygulamasında ve tohum boyutunun büyük olduğu işlemde 0.63 g olarak belirlenirken, en düşük fide ağırlığı değeri % 20 PEG uygulamasında ve tane boyutu küçük olan işlemde 0.15 g olarak belirlenmiştir. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, 0.47 g ile kontrol uygulaması ve % 5 PEG uygulamasında belirlenmiş olup istatistiki

olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük kök ağırlığı % 62 azalış ile % 20 PEG konsantrasyonunda 0.18 g olarak belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla fide ağırlığı 0.31 g ile tane boyutu büyük olan uygulamada belirlenmiş olup, en düşük fide ağırlığı % 39’luk azalış ile tane boyutu küçük olan uygulamada belirlenmiştir (Tablo 6). Araştırma sonucunda artan ozmotik stres sebebiyle kök ve fide yaş ağırlıklarında azalma görüldüğünü ve bu sonuçları farklı bitki tür/çeşitlerinde çalışan araştırmacıların araştırma sonuçları desteklemektedir (Mut ve Akay, 2010; Mut ve ark., 2010; Rouhi ve ark., 2011; Banniabbas ve ark., 2012; Castroluna ve ark., 2014; Bilgili, 2016; Dimpka ve ark., 2017; Borawska-Jarmułowicz ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2018; Akyürek, 2020). Ozmotik stres artışı soucunda buğdayda (Khan ve ark., 2013; Khan ve ark., 2019), sorgumda (Bibi ve ark., 2012), çeltikte (Anaytullah, 2007) ve mısırdada (Dezfuli ve ark., 2008; Toosi ve ark., 2014) fide yaş ağırlıkları azaldığı tespit etmişlerdir.

Tablo 7. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin çimlenme gücü ve çimlenme indeksine ait ortalama değerler

| PEG | Çimlenme Gücü (%) | | | | Çimlenme İndeksi | | | |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Büyük | Ort. | Küçük | Orta | Büyük | Ort. |
| 0% | 97.33 abc | 98.33 ab | 99.67 a | 98.44 a | 18.83 ab | 18.72 b | 19.03 a | 18.86 a |
| 5% | 81.00 e | 84.67 d | 97.00 bc | 87.56 b | 13.18 e | 13.96 d | 15.30 c | 14.15 b |
| 10% | 76.00 f | 81.00 e | 95.00 c | 84.00 c | 9.76 h | 10.02 g | 11.53 f | 10.44 c |
| 15% | 54.00 ı | 60.33 h | 66.00 g | 60.11 d | 6.84 l | 8.27 j | 8.56 ı | 7.89 d |
| 20% | 49.67 j | 53.33 ı | 59.00 h | 54.00 e | 6.41 m | 6.86 l | 7.83 k | 7.04 e |
| 25% | 0.00 k | 0.00 k | 0.00 k | 0.00 f | 0.00 n | 0.00 n | 0.00 n | 0.00 f |
| 30% | 0.00 k | 0.00 k | 0.00 k | 0.00 f | 0.00 n | 0.00 n | 0.00 n | 0.00 f |
| Ortalama | 51.14 c | 53.95 b | 59.52 a | 54.87 | 7.86 c | 8.26 b | 8.89 a | 8.34 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Çimlenme gücü ve çimlenme indeksine ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 7’de verilmiştir. Çimlenme gücü değerleri incelendiğinde, en fazla çimlenme oranı kontrol uygulamasında ve tohum boyutunun büyük olduğu işlemde % 99.67 olarak belirlenmiş olup tohum boyutunun orta ve küçük olduğu işlemler ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Çimlenme gücü değerleri PEG uygulama dozlarının artmasıyla azalmış % 25 ve % 30 uygulamalarında çimlenme gücü hesaplanmamıştır. En düşük çimlenme oranı % 20 PEG uygulamasında ve tohum boyutunun küçük olduğu işlemde % 49.67 olarak hesaplanmıştır. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, en yüksek çimlenme gücü kontrol uygulamasında % 98.44 olarak belirlenmiş olup, en düşük çimlenme gücü değeri yaklaşık % 46’lık azalış ile % 20 PEG uygulamasında belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla çimlenme gücü değeri % 59.52 ile tohum boyutunun büyük olduğu işlemde belirlenmiş olup, en düşük çimlenme gücü değeri % 14’lük azalış ile tohum boyutunun küçük olduğu uygulamada belirlenmiştir (Tablo 7). Tüm çeşitlerde kuraklık stresinin artmasına bağlı olarak çimlenme oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Farklı bitki tür ve çeşitlerinde yürütülen araştırmalarda (Ahmad ve ark., 2009; Gürbüz ve ark., 2009; Mut ve Akay, 2010;

Mut ve ark., 2010; Khayatnezhad ve Gholamin, 2011; Khodarahmpour, 2011; Castroluna ve ark., 2014; Çarpıcı ve Erdel, 2015; Borawska-Jarmulowicz ve ark., 2017) kuraklık stresine bağlı olarak çimlenme oranında azalma olduğu bildirilmiştir.

Çimlenme indeksi değerleri incelendiğinde, 6.41 ile 19.03 arasında değişmiştir. En yüksek çimlenme indeksi kontrol uygulamasında ve tohum boyutunun büyük olduğu işlemde belirlenmiş olup, tohum boyutunun küçük olduğu işlemle aynı istatistiki grupta yer almıştır. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, en yüksek çimlenme indeksi değeri kontrol uygulamasında 18.86 olarak belirlenmiş olup, en düşük çimlenme indeksi değeri yaklaşık % 63’lük bir azalış ile % 20 PEG uygulamasında belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla çimlenme indeksi değeri 8.89 ile tohum boyutunun büyük olduğu işlemde belirlenmiş olup, en düşük çimlenme gücü değeri % 12’lik bir azalış ile tohum boyutunun küçük olduğu uygulamada 7.86 olarak belirlenmiştir (Tablo 7). Elde edilen sonuçlar, çeşitli araştırmalar ile benzerlik göstermektedir. (Balkan ve Gençtan, 2013; Gürbüz ve ark., 2015; Borawska-Jarmulowicz ve ark., 2017; Aslan, 2018; Harmancı, 2020).

Tablo 8. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin ortalama çimlenme süresi ve fide gücü indeksine ait ortalama değerleri

| PEG | Ortalama Çimlenme Süresi (gün) | | | | Vigor İndeksi | | | |
|-----------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | Tohum Boyutu | | | | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Büyük | Ort. | Küçük | Orta | Büyük | Ort. |
| 0% | 5.53 f | 5.49 fg | 5.44 g | 5.49 e | 2498.50 c | 3097.33 b | 3654.50 a | 3083.44 a |
| 5% | 5.67 e | 5.61 e | 5.62 e | 5.63 d | 1633.00 e | 2455.33 c | 3178.13 b | 2422.16 b |
| 10% | 6.38 b | 6.27 c | 6.18 d | 6.27 c | 1064.00 fg | 1469.47 e | 2125.37 d | 1552.94 c |
| 15% | 6.40 b | 6.38 b | 6.39 b | 6.39 b | 684.50 h | 918.73 g | 1174.37 f | 925.87 d |
| 20% | 6.38 b | 6.42 b | 6.74 a | 6.51 a | 286.27 ı | 332.33 ı | 436.60 ı | 351.73 e |
| 25% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 f | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 f |
| 30% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 f | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 j | 0.00 f |
| Ortalama | 4.34 a | 4.31 b | 4.34 a | 4.33 | 880.90 c | 1181.89 b | 1509.85 a | 1190.88 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Ortalama çimlenme süresi ve fide gücü indeksine ait ortalama değerler ve TUKEY gruplandırılması Tablo 8’de verilmiştir. Ortalama çimlenme süreleri incelendiğinde PEG kaynaklı ozmotik stres uygulamalarının artmasıyla çimlenme süresinin uzadığı Tablo 8’de görülmektedir. Ortalama çimlenme süresi 6.74 ile 5.44 arasında değişmiş, en uzun çimlenme süresi % 20 PEG uygulamasında ve tohum boyutunun büyük olduğu grupta belirlenmiştir. Ortalama tohum boyutunun çimlenme süresi tohum boyutunun büyük ve küçük olduğu işlemlerde 4.34 olarak

bulunmuş ve istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, en yüksek çimlenme süresi % 20 PEG uygulamasında 6.51 olarak belirlenmiş olup, en düşük çimlenme süresi kontrol uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 8). Ozmotik stres seviyesindeki artış ile ortalama çimlenme süresinde artışa neden olmuştur (Okçu ve ark., 2005; Gürbüz ve ark., 2009; Khodarahmpour, 2011; Balkan ve Gençtan, 2013; Borawska-Jarmułowicz ve ark., 2017; Yurgiden, 2019).

Tablo 9. Tane sorgumda tohum boyutu ve PEG kaynaklı ozmotik stresin kuraklık tolerans indeksine ait ortalama değerleri

| PEG | Kuraklık Tolerans İndeksi | | | |
|-----------------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Tohum Boyutu | | | |
| | Küçük | Orta | Büyük | Ortalama |
| 0% | 100.00 a | 100.00 a | 100.00 a | 100.00 a |
| 5% | 81.29 b | 81.59 b | 82.55 b | 81.81 b |
| 10% | 44.56 e | 67.83 c | 65.86 c | 59.41 d |
| 15% | 60.15 d | 68.02 c | 64.13 cd | 64.10 c |
| 20% | 35.04 f | 34.29 f | 28.18 g | 32.50 e |
| 25% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 f |
| 30% | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 h | 0.00 f |
| Ortalama | 45.86 c | 50.25 a | 48.67 b | 48.26 |

** : Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur

Fide gücü indeksi değerleri incelendiğinde, en fazla fide gücü indeksi değeri kontrol uygulamasında ve tohum boyutunun büyük olduğu işlemde 3654.50 olarak belirlenmiş olup, en düşük fide gücü

indeksi değeri, % 20 PEG uygulamasında tohum boyutunun küçük olduğu işlemde 286.27 olarak belirlenmiştir. En düşük fide gücü indeksi değerleri incelendiğinde % 20 PEG uygulaması ve tohum boyutunun orta

ve büyük olduğu işlemler ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Ortalama PEG uygulamaları incelendiğinde, en yüksek fide gücü indeksi değeri kontrol uygulamasında 3083.44 olarak belirlenmiş olup, en düşük çimlenme gücü değeri yaklaşık % 89'luk bir azalış ile % 20 PEG uygulamasında 351.73 olarak belirlenmiştir. Ortalama tane boyutu değerleri incelendiğinde ise, en fazla fide gücü indeksi değeri 1509.85 ile tohum boyutunun büyük olduğu işlemde belirlenmiş olup, en düşük çimlenme gücü değeri % 42'lik bir azalış ile tohum boyutunun küçük olduğu uygulamada belirlenmiştir (Tablo 8). Özellikle sıcaklık ve ozmotik stres şartlarında vigor indeksi testi bir tohum potansiyelini doğru şekilde yansıtan bir fizyolojik test yöntemidir. Vigor indeksi tohumun canlılığı ve gücü ozmotik strese karşı oldukça hassastır. (Uslu ve Gedik, 2019). Ozmotik stresin artmasıyla fidenin oksijen açığı arttığı için vigor indeksi olumsuz etkilenmektedir (Gongping ve ark., 2000; Lo'pez ve ark., 2009; Ahmadloo ve ark., 2011).

Farklı PEG-6000 konsantrasyonlarına bağlı olarak kuraklık tolerans indeksleri arasında önemli derecede varyasyon saptanmıştır. PEG kaynaklı ozmotik stres uygulamalarının artmasıyla kuraklık tolerans indeksi değerlerinin azaldığı Tablo 8'de görülmektedir. PEG 6000 uygulamasının % 5 olduğu konsantrasyonunda, tohum boyutlarının küçük, orta ve büyük olduğu tüm işlemlerde istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük kuraklık tolerans indeksi 28.18 değeri ile tohum boyutunun büyük ve PEG 6000 uygulamasının % 20 olduğu işlemde belirlenmiştir. Kontrol uygulaması hariç, ortalama PEG 6000 konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek kuraklık tolerans indeksi % 5 PEG konsantrasyonunda belirlenmiş olup, % 60'lık bir azalış ile % 20 PEG konsantrasyonunda belirlenmiştir (Tablo 8). Ortalama tohum büyükleri bakımından incelendiğinde, en yüksek

kuraklık tolerans indeksi tohum boyutunun orta olduğu işlemde 50.25 olarak belirlenmiş, en düşük kuraklık tolerans indeksi değeri ise tohum boyutunun küçük olduğu işlemde 45.86 olarak belirlenmiştir. Kuraklık tolerans indeksi şiddetiyle çimlenme tolerans indeksinin azaldığı Harmancı (2020), Aslan (2018), Ahmad ve ark. (2009) ayçiçeğinde, Datta ve ark. (2011) buğdayda ve Tsago ve ark. (2013) artan kuraklık sorgumunda yaptığı çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

4. Sonuç

Ozmotik stres, tohum çimlenmesinin engellenmesi ya da gecikmesi, zayıf fide büyümesi ve gelişmesine sebep olabilecek ciddi bir kısıttır. Araştırma sonucunda, incelenen tüm özellikler açısından artan kuraklık şiddetinin olumsuz etkiye neden olduğu belirlenmiştir. Çimlenme ve fide gelişimi açısından tohum iriliğinin kuraklığa karşı toleransı farklılık göstermiştir. Bu araştırmanın sonuçları sorgum bitkisi yetiştirilen ve ozmotik stres olan bölgelerde ekime uygun iri tohumların kullanılması ve düzensiz yağış koşulları olan bölgelerde homojen büyüme sağlayacak tohum iriliği tespit edilmiştir. Çünkü küçük tohumların çimlenme gücü ve hızı yanı sıra fide gelişim ve büyümesi daha iri olan tohumlardan daha düşük olmaktadır. Araştırma sonucunda aynı tür ya da çeşit içerisinde daha küçük tohumların ozmotik stres faktöründe sorgum yetiştiriciliği yapılacak bölgeler de ekimde kullanılması önerilebilir. Bu nedenle küçük tohumlardan uzaklaştırılarak kullanılması önerilebilir. Yetiştiriciler, tarla koşullarında daha yüksek çimlenme ve üniform çıkış elde etmek için tohum iriliğine dikkat edilmesi gereklidir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son

halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Ahmad, S., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Waraich, E.A., 2009. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Pakistan Journal of Botany*, 41: 647–654.

Ahmadloo, F., Tabari, M., Behtari, B., 2011. Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 1(1): 11-17.

Akbudak, M.A., Filiz, E., Vatansever, R., Kontbay, K., 2018. Genome-Wide identification and expression profiling of ascorbate peroxidase (APX) and Glutathione peroxidase (GPX) genes under drought stress in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 37: 925-936.

Akıncı, C., Yıldırım, M., 2007. Tohum iriliğinin makarnalık buğdayın verim ve kalitesi üzerine etkisi. TOGAV-TÜBİTAK Araştırma Raporu, Diyarbakır.

Akyürek, G., 2020. Bazı egzotik sebze türlerinin kuraklığa toleransının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Almansouri, M., Kinet, J.M., Lutts, S., 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231: 243-254.

Altunlu, H., 2011. Aşılamanın domateste kuraklık stresine etkileri. Doktora Tezi.

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Anglani, C., 1998. Sorghum for human food—A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52: 85-95.

Arıcı, R.Ç., Avcı, M.A., 2022. Determination of forage yield and some quality characteristics of silage Sorghum Genotypes at different water stress levels. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36(1): 1-7.

Arpacı, B.B., 2003. Farklı su düzeyi uygulamalarının kavunda verim, bitki gelişimi ve meyve kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Aslan, H., 2018. Bazı yaygın mürdümük çeşitlerinde kuraklık stresinin çimlenme ve fide gelişimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Atış, İ., 2011. Bazı silajlık Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) çeşitlerinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2): 58-67.

Avcı, S., İleri, O., Kaya, M.D., 2015. Determination of genotypic variation among sorghum cultivars for seed vigor, salt and drought stresses. *Journal of Agricultural Science*, 23: 335-343.

Avcı, S., Şahan, S., Kaya, M.D., 2018. Determination of salt-stress response in forage pea cultivars during germination and early seedling growth. *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies*, Conference Proceedings Book, 2-5 April, İzmir, s. 88-94.

- Balkan, A., Gençtan, T., 2013. Ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L.) osmotik stresin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2): 44-52.
- Baniabbass, Z., Zamani, G., Sayyari, M., 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology*, 6: 518-525.
- Başaran, U., Gülümser, E., Doğrusöz, M.Ç., Mut, H., Şahin, A., 2017. Farklı silajlık mısır çeşitlerinin hamur olum döneminde silaj ve tane özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 20: 1-5.
- Bergvanden, L., Zeng, Y.J., 2006. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by Polyethylene Glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Botany*, 72: 284-286.
- Bibi, H., Sadaqat, A., Tahir, M.H.N., Akram, H.M., 2012. Screening of Sorghum (*Sorghum bicolor* var moench) for drought tolerance at seedling stage in polyethylene glycol. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(3): 671-678.
- Bilgili, D., 2016. Bazı Ekmeklik Buğday genotiplerinde tuz ve kuraklık stresinin çimlenme ve fide gelişimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, s. 91.
- Bilgili, D., Atak, M., Mavi, K., 2018. Bazı ekmeklik buğday genotiplerinde tuz ve kuraklık stresinin çimlenme ve fide gelişimine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1): 85-96.
- Bliss, R.D., Plat-Alola, K.A., Thomson, W.W., 1986. Osmotic sensitivity in relation to salt sensitivity in germinating barley seeds. *Plant, Cell & Environment*, 9: 721-725.
- Borawska-Jarmułowicz, B., Mastalerczuk, G., Gozdowski, D., Małuszyńska, E., Szydłowska, A., 2017. The Sensitivity of *Lolium perenne* and *Poa pratensis* to salinity and drought during the seed germination and under different photoperiod conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1): 71-78
- Boutraa, T., Sanders, F.E., 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187: 251-257.
- Brown, S.C., Gregory, P.J., Cooper, M., Keatinge, D.H., 1989. Root and shoot growth and water use of Chickpea (*Cicer arietinum*) grown in dryland conditions: effects of sowing date and genotype. *Journal of Agricultural Science*, 113: 41-49.
- Butola, J.S., Badola, H.K., 2004. Seed germination improvement using chemicals in heracleum candicans wall, a threatened medicinal herb of Himalaya. *Indian Forester*, 130(5): 565-572.
- Castroluna, A., Ruiz, O.M., Quiroga, A.M., Pedranzani, H.E., 2014. Effects of salinity and drought stress on germination, biomass and growth in three varieties of *Medicago sativa* L. Avences. *En Investigacion Agropecuaria*, 18(1): 39-50
- Çalikoğlu, M., Tilki, F., 2002. Orman ağacı tohumlarında çimlenme-su stresi ilişkisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 52(1): 77-88.
- Çarpıcı, E.B., Erdel, B., 2015. Bazı yonca çeşitlerinde (*Medicago sativa* L.) kuraklık stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi, *Derim*, 32(2): 201-210.

- Datta, J.K., Mondal, T., Banerjee, A., Mondal, N.K., 2011. Assessment of drought tolerance of selected wheat cultivars under laboratory condition. *International Journal of Agricultural Technology*, 7(2): 383-393.
- Dezfuli, P.M., Sharif-zadeh, F., Janmohammadi, M., 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3: 22-25.
- Dimkpa, C.O., Bindraban, P.S., Fugice, J., AgyinBirikorang, S., Singh, U., Hellums, D., 2017. Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in Soybean. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5): 1-13.
- Doğan, N., 2006. Su stresi altındaki fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinin iyon alım mekanizmasının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ellis, R.H., Roberts, E.H., 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. London.
- Gamze, O., Mehmet, D.K., Mehmet, A., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture*, 29: 237-242.
- Gongping, G.U., GuoRong, W.U., ChangMei, L., ChangFang, Z., 2000. Effects of PEG priming on vigor index and activated oxygen metabolism in soybean seedlings. *Chinese Journal Of Oil Crop Sciences*, 22(2): 26-30.
- Graven, L.M., Carter, P.R., 1990. Seed size/shape and tillage system effects on corn growth and grain yield. *Published in Journal Production Agriculture*, 3: 445- 452.
- Guberac, V., Martincic, J., Maric, S., 1998. Influence of seed size on germinability, germ length, rootlet length and grain yield in spring oat. *Bodenkultur*, 49: 1318.
- Gürbüz, A., Kaya, M., Türkan, A.D., Kaya, G., Kaya, M.D., Çiftçi, C.Y., 2009. Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde tane iriliği ve kuraklık stresinin çimlenme özelliklerine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 69-74.
- Hampson, C.R., Simpson, G.M., 1990. Effects of temperature, salt, and osmotic potential on early growth of wheat (*Triticum aestivum*). I. Germination. *Canadian Journal of Botany*, 68(3): 524-528.
- Harmancı, P., 2020. Farklı abiyotik stres koşullarında haşhaş tohumlarının çimlenme ve çıkış performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- ISTA, 2003. Handbook of Vigour Test Methods (2nd Edition). International Seed Testing Association, Zürich, Switzerland.
- JMP, 2019. JMP Users Guide. Version 13.0.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Kaufman, M.R., Eckard, A.N., 1971. Evolution of stress control by polyethylene glycols by analysis of gulation. *Plant Physiology*, 47: 453- 456.
- Kawade, R.M., Ugale, S.D., Patil, R.B., 1987. Effect of seed size on germination, seedling vigor, and test weight of pearl millet. *Seed Science Research*, 15: 210-213.

- Kaya, E., 2011. Erken bitki gelişme aşamasında kuraklık ve tuzluluk streslerine tolerans bakımından fasulye genotipinin taranması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kaya, E., Daşgan, H.Y., 2013. Erken bitki gelişme aşamasında kuraklık ve tuzluluk streslerine tolerans bakımından fasulye genotiplerinin taranması. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2): 39-48.
- Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Çıkılı Y., Kolsarıcı, Ö., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291- 295.
- Kaydan, D., Yagmur, M., 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology*, 7: 2862-2868.
- Khajeh-Hosseini, M., Powell, A.A., Bingham, I.J., 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. *Seed Science and Technology*, 31: 715-725.
- Khan, M.A., Kashmir, S., Ali, H.H., Gul, B., Raza, A., Umm-E-Kulsoom, U., Uslu, O.S., Waheed, H., 2019. Environmental factors can affect the germination and growth of *Parthenium hysterophorus* and *Rumex crispus*. *Pakistan Journal of Botany*, 51(6).
- Khan, M.I., Shabbir, G., Akram, Z., Shah, M.K.N., Ansar, M., Cheema, N.M., Iqbal, M.S., 2013. Character association studies of seedling traits in different wheat genotypes under moisture stress conditions. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 45(3): 458-467.
- Khayatnezhad, M., Gholamin, R., 2011. Effects of water and salt stresses on germination and seedling growth in two durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6(21): 4597-4603.
- Khodarahmpour, Z., 2011. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in Corn (*Zea mays* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology*, 10(79): 18222- 18227.
- Kıpçak, S., Erdiñç, Ç., 2016. Van Gölü Havzası'nda yetiştirilen bazı fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L.) genotiplerinin tuza tolerans seviyelerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3): 421-429.
- Kim, K.S., Kim, J.H., Bae, T.J., Park, C.K., Kim, M.H., 2002. Characteristics of food components in Granular Ark and Ark Shell. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(5): 512-518.
- Kramer, P.J., 1983. Water relations of plants. *International Review of Cytology*, 85: 253-286.
- Kuşvuran, Ş., Daşgan, H.Y., Abak, K., 2011. Farklı kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 21(3): 209-219.
- Küçükkömürçü, S., 2011. Tuzluluk ve kuraklık streslerine tolerans bakımından bamya genotiplerinin taranması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Lafond, G.P., Baker, R.J., 1986. Effects of temperature, moisture stress, and seed size on germination of nine spring wheat cultivars 1. *Crop science*, 26(3): 563-567.

- Larsen, S.U., Andreassen, C., 2004. Light and heavy seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Science*, 44: 1710-1720.
- López, R., Aranda, I., Gil, L., 2009. Osmotic adjustment is a significant mechanism of drought resistance in *Pinus pinaster* and *Pinus canariensis*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 18(2): 159-166.
- Meşe, N., 2019. Amerikan asma anaçlarında kurağa dayanımın erken belirlenmesinde in vitro bir yöntem geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Mut, Z., Akay, H., 2010. Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(4): 459-467.
- Mut, Z., Akay, H., Aydın, N., 2010. Effects of seed size and drought stress on germination and seedling growth of some oat genotypes (*Avena sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 5(10): 1101-1107.
- Nayar, H., Gupta, D., 2006. Differential Sensitivity of C3 and C4 Plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58: 106-113.
- Nazirzadeh, A., 2018. Farklı patates (*Solanum Tuberosum* L.) çeşitlerinin In Vitro kuraklık ve tuzluluk stresine tepkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Okçu, G., Kaya, D., Atak, M., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(4).
- Oyier, M., Owuochi, J., Cheruiyot, E., Oyoo, M., Rono, J., 2016. Utilization of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) Hybrids in Kenya: A review. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9: 65-76.
- Öztürk, E., Akay H., Sezer, İ., 2021. Şeker mısırda çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde tuz stresine karşı salisilik asit ön uygulamasının etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4): 3213-3221.
- Piwowarczyk, B., Kaminska, I., Rybinski, W., 2014. Influence of PEG generated osmotic stress on shoot regeneration and some biochemical parameters in lathyrus culture. *Czech Journal Genetic Plant Breed*, 50(2): 77-83.
- Priyanka, S., Rizwan, M., Bhatt, K.V., Mohapatra, T., Govind S., 2011. In-vitro Response of *Vigna aconitifolia* to drought stress induced by PEG6000. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(3): 108-121.
- Radhouane, L., 2007. Response of tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) to drought stress induced by Polyethylene Glycol (PEG) 6000. *African Journal of Biotechnology*, 6: 1102-1105.
- Rostami, A.A., Rahemi, M., 2013. Responses of caprifig genotypes to water stress and recovery. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 7(21).
- Rouhi, H.R., Aboutalebian, M.A., Sharif-Zadeh, F., 2011. Effects of hydro and osmopriming on drought stress tolerance during germination in four grass species. *International Journal of Agricultural Science*, 1(2): 701-774.

- Roy, S.K.S., Hamid, A., Giashuddin Miah, M., Hashem, A., 1996. Seed size variation and its effects on germination and seedling vigour in rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 176: 7982.
- Saxena, N.P., Johansen, C., Saxena, M.C., Silim, S.N., 1993. Selection for drought and salinity tolerance in cool-season food legumes. In: K.B. Singh, M.C. Saxena (Eds), *Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes*. United Kingdom, pp. 245-270.
- Toosi, A.F., Bakar, B., Azizi, M., 2014. Effect of drought stress by using PEG 6000 on germination and early seedling growth of brassica juncea var. Ensabi. *Agronomy*, 360-363.
- Tsago, Y., Andargie, M., Takele, A., 2013. In Vitro screening for drought tolerance in different sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Varieties. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(3): 72-83.
- Uslu, Ö.S., Gedik, O., 2019. Akdeniz ikliminde yetiştirilen tritikalenin tuzluluğa karşı toleransının araştırılması. *III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium*, Kongre Bildiriler Kitabı, 3-5 Ekim, Kahramanmaraş, s. 191-196.
- Ünal, H., 2010. Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) fide aşamasında kuraklığa tepkisi ve toleranslı genotiplerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Van der Berg, L., Zeng, Y.J., 2006. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by Polyethylene Glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Botany*, 72: 284- 286.
- Verslues, P.E., Bray, E.A., 2004. LWR1 and LWR2 are required for osmo regulation and osmotic adjustment in arabidopsis. *Plant Physiology*, 136: 761-764.
- Willenborg, C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rosnaged, B.G., Shirliffe, S.J., 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science*, 45: 2023-2029.
- Yurgiden, B., 2019. Farklı abiyotik stres koşullarında çörek otu genotiplerinin çimlenme ve çıkış performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Zhang, Q., Yang, L., Rue, K., 2018. Differences in seedling growth of 23 creeping bentgrass cultivars under polyethylene glycol-induced drought conditions, *Horttech*, 28(3): 327-331.

Atıf Şekli

Albaşavat, L., Akay, H., Öztürk, E., Sezer, İ., 2023. Tohum Büyüklüğü ve PEG Kaynaklı Ozmotik Stresin Tane Sorgumda Çimlenme ve Fide Büyümesi Üzerine Etkileri. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(2): 407-422.
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8063306>.

To Cite

Albaşavat, L., Akay, H., Öztürk, E., Sezer, İ., 2023. Effects of Seed Size and PEG Induced Osmotic Stress on Germination and Seedling Growth in Grain Sorghum. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(2): 407-422.
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8063306>.