
Araştırma Makalesi / Research Article

Yerel (Artvin-Şavşat) ve Tescilli Domates Çeşitlerinde Kuraklık Stresine Karşı Tolerans Seviyelerinin Araştırılması

Mehmet DEMİRALAY*

*Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 0800, Artvin, Türkiye
(ORCID: [0000-0001-6528-4591](https://orcid.org/0000-0001-6528-4591))*

Öz

Kuraklığın artmasıyla birlikte domates ürün kalitesinde ve ürün veriminde ciddi düşüşler meydana gelmektedir. Stresin sebep olduğu verim ve kalitedeki düşüşleri azaltmanın en önemli yollarından biri de bitkilerin kuraklıktan etkilenme şeklinin bilinmesi ve kuraklığa toleranslı çeşitlerin belirlenmesidir. Bu nedenle mevcut çalışmada Artvin-Şavşat (yerel) ve SC2121 (tescilli) domates çeşitlerinin farklı kuraklık uygulamalarına karşı oluşturdukları toleranslarının yanıtlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, domates çeşitlerinde çimlenme oranı, kök uzunluğu, nispi su içeriği (NSİ), lipid peroksidasyonu (TBARS), hidrojen peroksit (H₂O₂), prolin, toplam klorofil ve karotenoid içerikleri gibi temel stres parametreleri incelenmiştir. Bulgulara göre, Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde çimlenme oranı, kök boyu ve NSİ tüm polietilen glikol 6000 (PEG₆₀₀₀) uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla önemli derecede azaldığı ve bu azalışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu saptanmıştır. Şavşat ve SC2121'in TBARS ve H₂O₂ içeriklerinin artan PEG konsantrasyonuna bağlı olarak önemli derecede arttığı, bu artışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Prolin içeriği tüm PEG uygulamalarıyla birlikte her iki domates çeşidinde kontrole göre arttığı görülmüştür. Bu artışın ise Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Domates çeşitlerinin toplam klorofil ve karotenoid içerikleri %10 PEG uygulamasıyla önemli derecede azaldığı ve bu azalışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında, Artvin-Şavşat domates çeşidinin kuraklığa daha toleranslı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler Kuraklık stresi, *Solanum lycopersicum*, SC2121

Investigation of Tolerance Levels Against Drought Stress in Local (Artvin-Şavşat) and Registered Tomato Varieties

Abstract

Remarkable decreases perform in tomato product quality and product yield with the increasing of drought. One of the most important way to reduce the decreases in yield and quality caused by stress is to know the plants are affected by drought and to determine drought-tolerant cultivars. Therefore, in the present study, it was aimed to investigate the tolerances of Artvin-Şavşat (landrace) and SC2121 (commercial) tomato cultivars in different drought applications. For this purpose, changes in basic stress parameters such as germination rate, root length, relative water content (RWC), lipid peroxidation (TBARS), hydrogen peroxide (H₂O₂), proline, total chlorophyll and carotenoid contents were determined in tomato cultivars. According to the findings, it was determined that the germination rate, root length and RWC significantly decreased with all polyethylene glycol 6000 (PEG₆₀₀₀) applications in Şavşat and SC2121 cultivars compared to the control, and the decrease was lower in Şavşat cultivar. It was detected that TBARS and H₂O₂ contents of Şavşat and SC2121 significantly increased due to increasing PEG concentration, and the increase was lower in Şavşat cultivar. It was observed that the proline content increased with all PEG applications in both tomato cultivars compared to the control. It was determined that the increase was lower in Şavşat cultivar. In the light of the obtained data, it was determined that SC2121 was drought-sensitive and Artvin-Şavşat tomato cultivar was more drought-tolerant.

Keywords: Drought stress, *Solanum lycopersicum*, SC2121

*Sorumlu yazar: mdemiralay@artvin.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.07.2021, Kabul Tarihi: 01.07.2021

1. Giriş

Sürdürülebilir tarım, artan insan nüfusu için gıda sağlamada en önemli küresel hedefdir [1]. Yakın bir gelecekte dünyanın çoğu bölgesinde tarım doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, küresel ısınmanın etkileri ve bunu izleyen iklim değişiklikleri ve artan nüfus nedeniyle daha fazla etkilenecektir [2]. Bu yüzden insanlık için yeterli miktarda gıda tedariği giderek zorlaşabilir [3, 4]. Kuraklık, büyük mahsullerin küresel üretkenliğini sınırlayan ana abiyotik faktördür ve bu nedenle bitki araştırmalarının ana hedefi haline gelmiştir [5, 6, 7]. Nihai hedef, kuraklığın neden olduğu verim kayıplarının en aza indirilebilmesi için suyu etkili bir şekilde kullanan ekin bitkileri geliştirmektir. Bu durumda öncelikle bitkilerin kuraklık stresine karşı verecekleri cevapları anlamak ve kuraklığa toleranslı çeşitleri belirlemek, sürdürülebilir bir tarım için oldukça önemlidir [8].

Kuraklık stresi, bitkilerin büyümesini, üretkenliğini ve mahsul verimini sınırlayan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Kuraklık bitkinin morfolojik, metabolik ve fizyolojik işlevlerinde çeşitli değişikliklere neden olur. Bitki büyümesinin ve oluşumunun ilk aşamasında kuraklık stresi tohum çimlenmesini olumsuz yönden etkilemektedir [9]. Tohum çimlenmesi, fide oluşumunda başarılı mahsul üretimini belirleyen en kritik aşamadır [10]. Bitkilerde tohum çimlenmesinden hasada kadar tüm aşamalar kuraklık stresine karşı oldukça hassastır ve kuraklık koşullarında bitki tohumlarının çimlenmesi etkilenmektedir [11, 12]. Dahası, kuraklık stresi bitkilerin klorofil içeriğinde önemli bir azalma meydana getirmektedir ve kloroplast hasarına bağlı olarak meydana gelen oksidatif stres reaktif oksijen türlerinin (ROT) artışı tetiklemektedir [13]. Süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\cdot OH$) gibi ROT'lar, doğrudan membran lipidlerine saldırabilir, metabolik enzimleri inaktive edebilir ve hücre ölümüne yol açan nükleik asitlere zarar verebilir [14].

Bitkiler, kuraklık stresini önlemek veya tolere etmek için bir dizi strateji geliştirmiştir. Kuraklığa dayanıklı bitkiler, ozmolitlerin veya uyumlu çözünenlerin senteziyle düşük su potansiyelinde bile turgoru korur ve metabolizmanın devam etmesini sağlar. Bitkiler kuraklığın neden olduğu oksidatif stresi temizlemek için prolin, glisin betain vb. gibi ozmoprotektanları biriktirir [15]. Birçok bitkide, biyotik ve abiyotik strese yanıt olarak serbest prolin birikir. Prolin kuraklık stresinin neden olduğu su eksikliğine karşı bitki stres toleransını artırmada etkili bir bileşiktir [16, 17].

Solanaceae ailesinin bir üyesi olan domates (*Solanum lycopersicum* L.), endüstriyel ürünleri ve besin içeriği nedeniyle dünya çapında en önemli tarım bitkilerinden biridir [18, 19]. Ülkemizde de üretimiyle ilk sıralarda yer alan ve ihracatı ile ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan domatesin hem vejetatif ve hem de üreme süreçlerinde özellikle kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklıklar gibi çevresel strese karşı oldukça hassastır [18]. Vejetatif büyüme sırasında kuraklık stresine maruz kalmış domates bitkileri kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında, yaprak sayısında azalma, bitki boyunda kısalma ile ilişkili biyokütlede bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Sadece yaprak sayısının azalması değil, aynı zamanda yaprak alanındaki azalma da fotosentez verimini düşürebilmektedir [20]. Ayrıca, tohum gelişimi sırasında kuraklık stresi tohum doldurma sürelerini kısaltarak tohum verimini azaltmaktadır. Bu durum, fide kuvvetinin azalmasına ve tohum çimlenmesinin düşmesine neden olmaktadır. Verime ek olarak, kuraklık stresi domates meyvelerinin hacmini, çapını ve bileşimini de (likopen ve toplam çözünür şekerler) etkilemektedir [21]. Tüm bu parametreler kuraklığa toleransın ya da duyarlılığın önemli göstergeleridir.

En önemli abiyotik stres olan kuraklık stresi, bitkiler üzerinde zararlı etkilere sahiptir; bu nedenle kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir üretimlerine yardımcı olacaktır. Bugüne kadar farklı domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevapları ile ilgili araştırmalar literatürde mevcuttur [22, 23, 24]. Fakat Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklık toleranslarının belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, farklı kuraklık (%5 ve %10) uygulamalarına karşı Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevaplarının araştırılması amaçlanmıştır. Kuraklığa toleransı yüksek bir bitki çeşidi geliştirmek ancak bitkinin kuraklığa toleransının yüksek olmasına neden olan faktörlerin ortaya konması ile mümkündür. Bu nedenle Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevaplarını belirlemek için çimlenme oranı, kök uzunluğu, nispi su içeriği, lipid peroksidasyonu, hidrojen peroksit, prolin, toplam klorofil ve karotenoid içeriği gibi temel stres parametrelerindeki değişimler ortaya koyulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tohum Materyalinin Temin Edilmesi ve Deney Tasarımı

Kuraklık stresine karşı tolerans cevaplarının karşılaştırılmasında Şavşat (yerel) ve SC2121 (tescilli) domates tohumları kullanılmıştır. Şavşat domatesi aynı atadan yetiştiriciliği yapılan, hibridize edilmemiş ve tescilli olmayan bir çeşit olup, tohumları Artvin Şavşat ilçesinde yetiştiricilik yapan bir çiftçiden temin edilmiştir. SC2121 domates çeşidi ise ithal menşeli olup, tohumları zirai tohum satan ticari işletmelerden temin edilmiştir. Ekim işleminden önce tohumların yüzey sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için tohumlar, %5'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) ile 3 dakika boyunca muamele edilmiştir. Yüzey sterilizasyonundan sonra tohumlar steril distile su ile 3-4 kez yıkanmıştır. Her bir domates çeşidi için elli tohum, içerisinde filtre kağıdı bulunan steril petri kaplarında sırasıyla: %0 (saf su, kontrol), %5 polietilen glikol 6000 (PEG₆₀₀₀) ve %10 PEG₆₀₀₀ ile muamele edilerek çimlendirilmiştir. Tohumlar, 24±2 °C'de, ışık yoğunluğu 400-430 µmol m⁻²s⁻¹ olan, 16 saat gündüz /8 saat gece fotoperiyotta yaklaşık %60 nem içeren bitki büyütme kabiniinde 10 gün boyunca inkübe edilerek deney düzeneği 10 gün sonra fidelerin toplanmasıyla sona erdirilmiş ve planlanan analizler için kullanılacak örnekler sıvı azottan geçirildikten sonra -20°C'de saklanmıştır.

2.2. Çimlenme Oranının (%) Belirlenmesi

Çimlenme yüzdesi, normal fidan sayısına göre hesaplanmıştır [25]. On gün sonra Şavşat ve SC2121 domates çeşitleri çimlenme yüzdeleri açısından 50'şer tohum üzerinden analiz edilmiştir. Radikula uzunluğu 2 mm'den fazla olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiş ve analize dâhil edilmiştir.

2.3. Kök Uzunluğunun Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde çimlenen tohumlarda kök boyu ölçümleri dijital kumpas ile gerçekleştirilmiştir ve çimlenme kriteri olarak radikula uzunluğunun en az 2 mm olmasına dikkat edilmiştir [26].

2.4. Nispi Su İçeriğinin (NSİ) Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin sürgün taze ağırlıkları tartılarak veriler kaydedilmiştir. Daha sonra turgit ağırlık ölçümü için saf su içeren tüplerde örnekler 16 saat boyunca +4 °C'de bekletilmiştir ve örneklerin turgit ağırlıkları kaydedilmiştir. Kuru ağırlık hesabı için de turgit ağırlıkları belirlenen örnekler 70 °C'de 48 saat boyunca etüvde bekletilmiştir ve aşağıda belirtilen formüle göre tüm sayısal veriler yerine koyularak örneklerin NSİ'si hesaplanmıştır [27].

Nispi Su İçeriği (%) = (Taze ağırlık-Kuru ağırlık/Turgid ağırlık-Kuru ağırlık) x100

2.5. Tiobarbitürik Asit Reaktif Maddeler (TBARS) İçeriğinin Belirlenmesi

Lipid peroksidasyon seviyesi tiobarbitürik asit reaktif maddelerin (TBARS) içerikleri cinsinden ölçülmüştür [28]. Örnekler (0,1 g) %0,1 (w/v) trikloro asetik asit (TCA) ile homojenize edilmiştir ve homojenat +4°C'de 15000 g'de 10 dakika ile santrifüj edilmiştir. Süpernatant 1ml'sine %20 TCA içinde % 5 tiobarbitürik asit (TBA) içeren çözeltiden 4 ml eklenmiştir. Elde edilen karışım 95°C de 30 dakika inkübe edilmiştir. Süpernatantların absorbsansları 532 nm (spesifik) ve 600 nm (spesifik olmayan) dalga boylarında ölçümler yapılmıştır. Delta absorbsans (spesifik – spesifik olmayan ölçümler) değerleri; $\Delta = \epsilon.c.l$ formülünde kullanılarak TBARS yani MDA değerleri hesaplandı ($\Delta=A_{532}-A_{600}$, ϵ : Absorbsiyon katsayısı = 155 mmol⁻¹ cm⁻¹, c: konsantrasyon)

2.6. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) içeriğinin belirlenmesi

Hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği modifiye method kullanılarak belirlenmiştir [29]. Şavşat ve SC2121 domates örnekleri (0,1 g) örnekleri sıvı azot ile homojenize edilmiştir. Örnekler %0,1 TCA eklenerek

15000 g'de +4°C'de 10 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 1 ml alınarak üzerine 1 ml 10 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) ve 1,5 ml 1 M potasyum iyodür eklenmiştir. Karışım spektrofotometrede 0-100 µmol arasında değişen H₂O₂ konsantrasyon aralığında hazırlanan standartlara karşı 390 nm'de ölçülmüştür.

2.7. Prolin İçeriğinin Belirlenmesi

Prolin içeriği modifiye method kullanılarak belirlenmiştir [30]. Örneklerden 0,1 g taze numune alınmıştır ve 1,8 ml %40'lık etanolde homojenize edilmiştir. Homojenat +4°C'de 1 gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Ertesi gün 15000 g'de 15 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. Örneklerden 1 ml süpernatant alınmıştır ve üzerine asit ninhidrin çözeltisinden 2 ml eklenmiştir. Elde edilen karışım 95°C'de 20 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra soğutulan örnekler spektrofotometrede 520 nm dalga boyunda absorbans olarak okutulmuştur. Sonuçlar önceden okutulmuş standartlara göre hesaplanarak mg ml⁻¹ olarak verilmiştir.

2.8. Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriklerinin Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 örneklerinden toplam klorofil ve karotenoid içeriğinin belirlenmesi için gruplardan 0,1 g numune alınmıştır ve %80 soğuk aseton ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar +4°C'de 10 dakika süre ile 3000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Süpernatantların absorbans değerleri spektrofotometrede 450, 645 ve 663 nm dalga boylarında ölçülmüştür [30]. Toplam klorofil ve karotenoid miktarının ölçümü [32] metoduna göre belirlenmiştir.

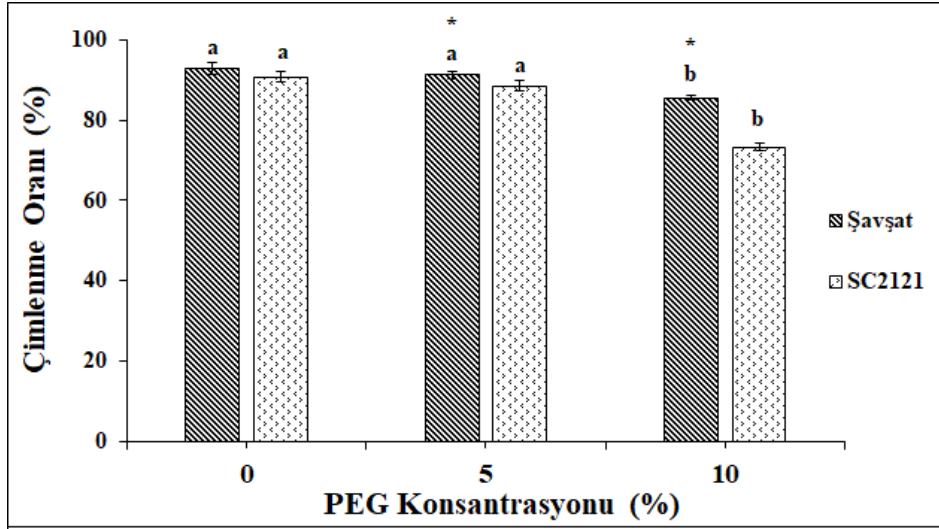
2.9. İstatistiksel Analizler

Her bir deneme en az 3 kez tekrar edilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak yapılan örnekleme ve ekstraksiyonlar sonucu elde edilen veriler, Windows tabanlı, lisanslı bir paket program olan Statistic Package for Social Sciences (SPSS) ile bilgisayar ortamında one-way ANOVA varyans analiz testleri (Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi) ile değerlendirilmiştir. p≤0.05 olan değerler istatistiksel bakımdan anlamlı kabul edilmiştir. Bütün şekillerdeki hata çubukları ortalama ± standart sapma (S.S.)'yi göstermektedir ve çizelgelerdeki değerler ortalama ± S.S. şeklinde verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kuraklık Stresinin Çimlenme Oranı (%) Üzerine Etkisi

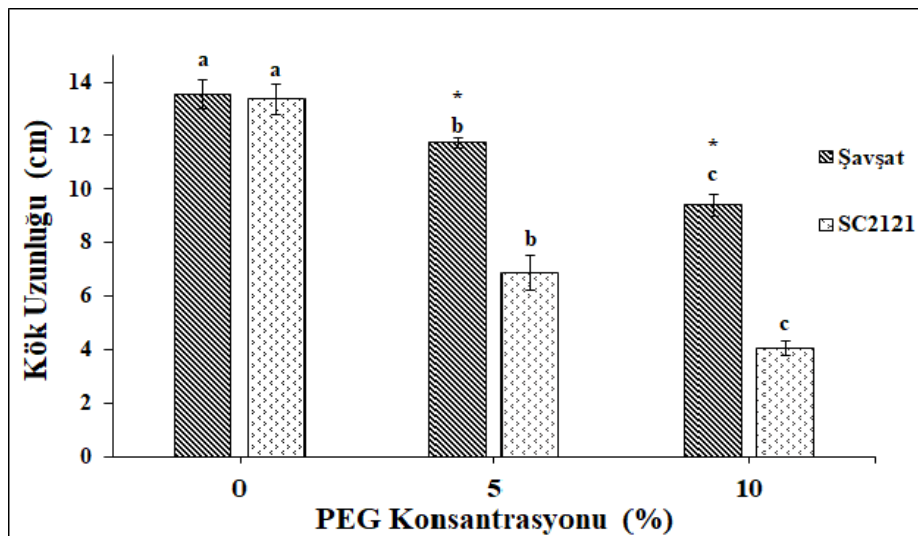
Kuraklık stresi, tohum çimlenmesini, mahsul büyümesini ve gelişimini etkileyen en ciddi çevresel faktörlerden biridir [33,26]. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin çimlenme oranı %5 PEG uygulamasıyla birlikte kontrole kıyasla anlamlı bir fark olmadığı, ancak %10 PEG uygulamasıyla birlikte çimlenme oranının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, %10 PEG uygulamalarıyla Şavşat ve SC2121 çeşidinde çimlenme oranlarında sırasıyla % 7.8 kat ve % 19.3 kat azalışlar belirlenmiştir (Şekil 1.). Yapılan çalışmada, çimlenme aşamasındaki kuraklık stresinin çimlenmeyi geciktirdiğini, azalttığını veya tamamen engellediğini rapor edilmiştir [34]. Kuraklık stresi altında Şavşat ile ilgili verilerimizle benzer olarak, *Vigna aconitifolia*'nın kuraklığa toleranslı olmasından dolayı daha yüksek oranda çimlenme gösterdiği rapor edilmiştir [35]. Verilere göre, Şavşat çeşidinin kuraklığa toleransının daha yüksek olmasından dolayı yüksek çimlenme oranına sahip olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 1. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının çimlenme oranı üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

3.2. Kuraklık Stresinin Kök Uzunluğu Üzerine Etkisi

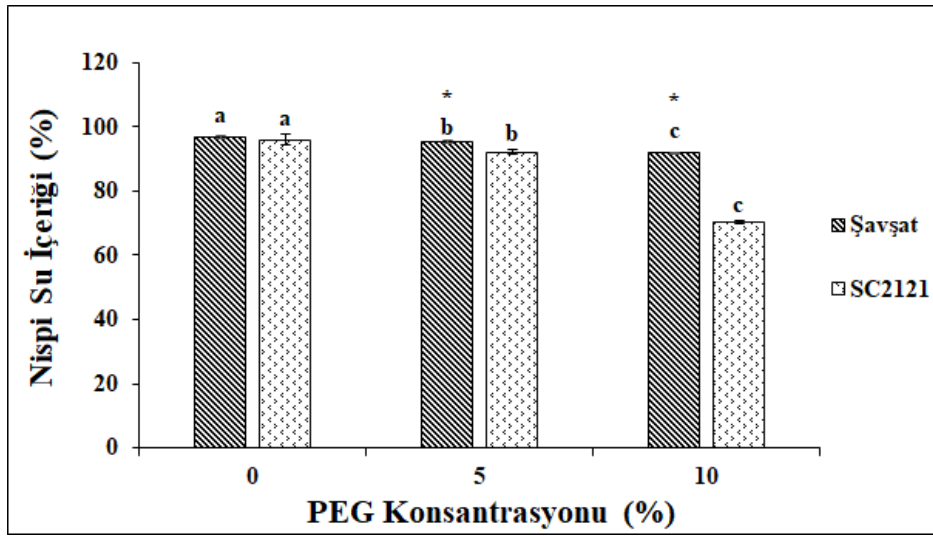
Kuraklık stresi altında genellikle önce kökler daha sonra bitkinin diğer kısımları etkilenir [36]. Artan kuraklık stresine bağlı olarak Şavşat ve SC2121’de kök uzunluğu kademeli olarak azalmıştır. Bununla birlikte, SC2121’de gözlenen azalış oranları Şavşat çeşidine göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Örneğin, kontrole kıyasla %5 PEG uygulanmış Şavşat çeşidinde 1.2 kat ve SC2121’de ise 1.9 kat azalış gözlenmiştir. Benzer şekilde %10 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinin kök boyunda sırasıyla 1.4 kat ve 3.3 kat azalışlar kaydedilmiştir (Şekil 2.). Sonuçlarımıza benzer olarak yapılan bir çalışmada, farklı domates çeşitlerinin kök uzunluklarının farklı PEG uygulamalarıyla birlikte önemli derecede azaldığını belirtmiştir [26]. Dahası, diğer domates çeşitlerine göre PEG uygulamasıyla birlikte Arka Rakshak (AR) domates çeşidinin kök uzunluğunda daha düşük bir azalma meydana geldiği ve AR’nin kuraklık stresine daha toleranslı olduğu gösterilmiştir. Mevcut çalışmada ortaya çıkan durum Şavşat’ın PEG stresine karşı daha iyi direnç gösterdiği yönündedir.



Şekil 2. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının kök boyu üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

3.3 Kuraklık Stresinin Nispi Su İçeriği Üzerine Etkisi

Fizyolojik özellikler, özellikle nispi su içeriği bitkilerdeki metabolik aktivitenin bir göstergesidir ve kuraklık dahil farklı abiyotik streslere karşı bitki toleransının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır [37]. Mevcut çalışmada, hem Şavşat hem de SC2121'in nispi su içeriği kontrole kıyasla tüm PEG uygulamalarıyla birlikte azaldığı belirlenmiştir. Her iki çeşitte nispi su içeriğinin azalış oranları, % 5 PEG uygulamalarıyla aynı olduğu görülmüştür (1 kat). Ancak %10 PEG uygulamasıyla SC2121'de gözlenen nispi su içeriğindeki azalış oranı Şavşat çeşidine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin kontrole kıyasla Şavşat ve SC2121'de sırasıyla 1.1 kat ve 1.4 katlık azalışlar kaydedilmiştir (Şekil 3.). Benzer şekilde yapılan bir çalışmada 5MX12956 (kuraklığa toleranslı) ve X5671R (kuraklığa hassas) domates çeşitlerinin nispi su içeriklerinin PEG uygulamasıyla birlikte önemli derecede azaldığını, bu düşüşün 5MX12956 çeşidinde daha az olduğunu rapor edilmiştir [24].



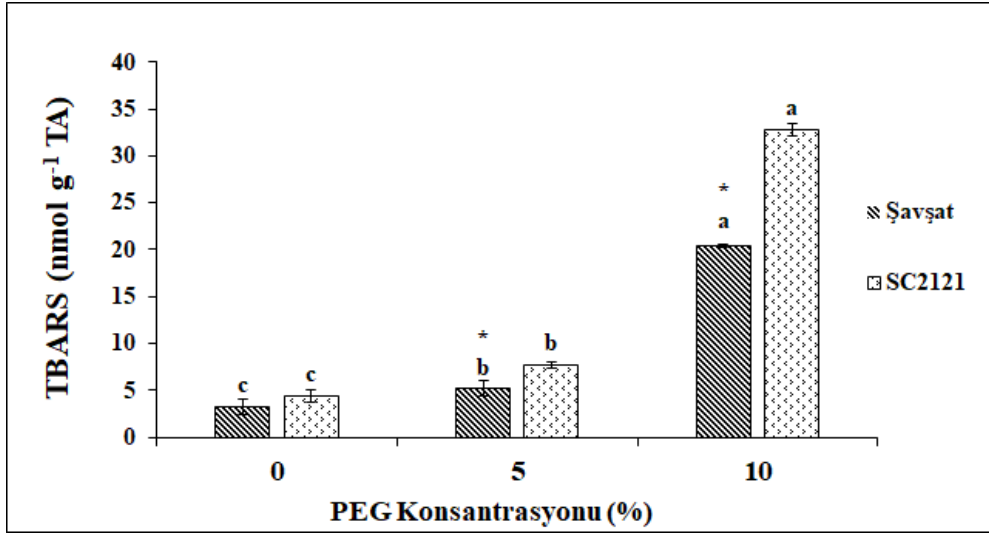
Şekil 3. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının NSİ üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

3.4 Kuraklık Stresinin TBARS ve H₂O₂ İçeriği Üzerine Etkisi

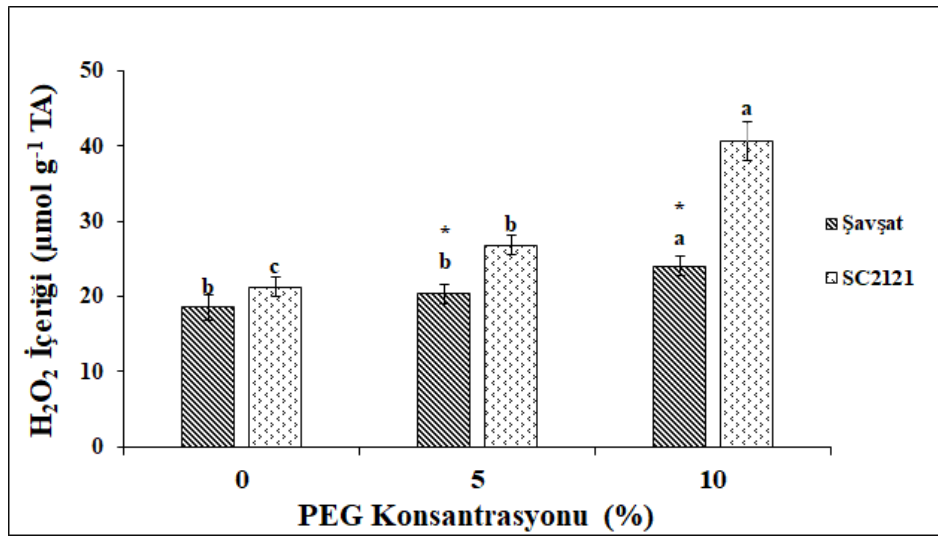
Lipid peroksidasyon ürünü olan tiyobarbitürik asit reaktif maddelerin (TBARS) miktarı ve bitki dokularındaki ROT içeriği, bitkilerin stres hasarını gösteren önemli parametrelerdir [38]. Mevcut çalışmada Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin TBARS içeriği tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, TBARS içeriğindeki artış oranlarının Şavşat'a göre SC2121'de daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin, kontrol grubuna göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121'in TBARS içeriğinde sırasıyla 1.6 kat ve 1.8 kat artışlar kaydedilmiştir. Benzer şekilde %10 PEG uygulanmış SC2121 ve Şavşat çeşitlerinde sırasıyla 8 kat ve 6,3 kat artışlar kaydedilmiştir (Şekil 4.). Stres koşulları altında TBARS içeriğindeki artış, kuraklık stresinin ROT aracılığıyla membran lipid peroksidasyonunu indükleyebileceğini göstermektedir [39].

Hidrojen peroksit içeriği ise, tüm PEG uygulamalarıyla birlikte Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde kontrole göre arttığı belirlenmiştir. % 5 PEG uygulanmış Şavşat çeşidinde H₂O₂ içeriği kontrole kıyasla değişmediği, ancak SC2121'de ise 1.2 kat bir artış görülmüştür. Özellikle %10 PEG uygulanmış SC2121 fidelerinde bu artış oranı Şavşat'a göre önemli derecede olduğu kaydedilmiştir. Örneğin, kontrol grubuna kıyasla %10 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerindeki artış oranları sırasıyla 1.3 kat ve 2 kat olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.). Çalışmamıza benzer şekilde, kuraklık koşullarında iki farklı endüstriyel domates çeşidinde (*Solanum lycopersicum*) yapılan bir çalışmada, toleranslı olan çeşidin (5MX12956) hassas olana göre (X5671R) TBARS içeriğinin daha düşük olduğu rapor edilmiştir [23]. Kuraklık stresi altında iki farklı mısır genotipinde yapılan bir çalışmada, Giza 2 çeşidinin

(kuraklığa toleranslı) Trihibrit 321 (kuraklığa hassas) çeşidine göre H_2O_2 seviyesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir [40]. Verilere göre, bu çalışmada Şavşat domates çeşidinde TBARS ve H_2O_2 'nin daha düşük değerleri, hücresel düzeyde bu çeşidin oksidatif strese karşı koruma sağlayan serbest radikal temizleme sistemi ile daha donanımlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının TBARS içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

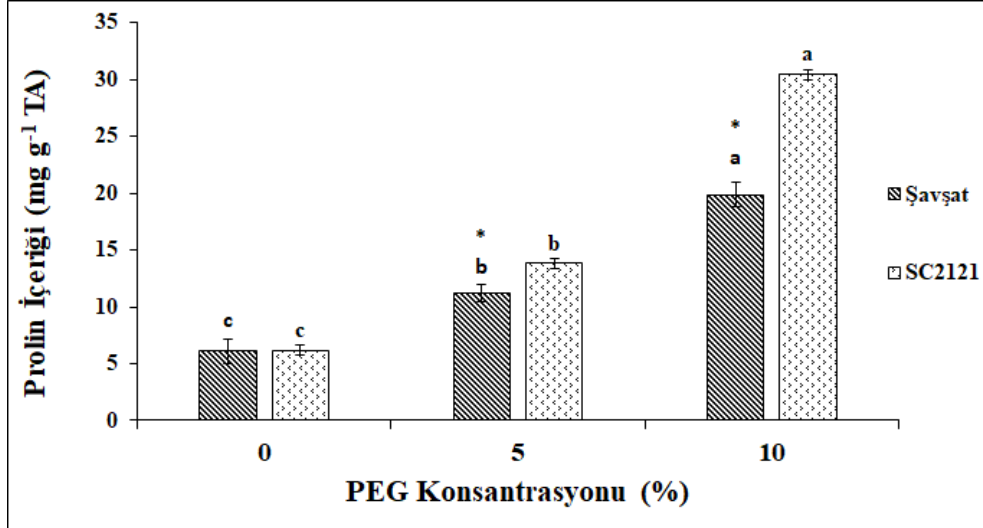


Şekil 5. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının H_2O_2 içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

3.5. Kuraklık Stresinin Prolin Seviyesi Üzerine Etkisi

Bitkiler, stres koşulları altında ozmolit birikimi ile tolerans kazanır. Prolin su eksikliği sırasında ozmotik düzenleyici olarak bitkilerde rol oynayan uyumlu çözünenlerden biridir ve ayrıca diğer çevresel stres faktörlerine karşı savunma sistemlerinde yer alır [17]. Her iki domates çeşidinin prolin seviyesi tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrol grubuna kıyasla arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte prolin içeriğindeki artış oranları SC2121'e göre Şavşat çeşidinde daha az olduğu görülmüştür. Örneğin, %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121'deki artış oranları sırasıyla 1.8 kat ve 2.2 kat olduğu,

uygulanmasıyla ile de 3.3 kat ve 5 kat artış oranı belirlenmiştir (Şekil 6.). Benzer şekilde birçok çalışma kuraklık sırasındaki ozmotik düzenleme işlevi nedeniyle, kuraklık kaynaklı prolin birikimini bildirmiştir [42,43]. Örneğin, kuraklığa cevapları farklı olan domates çeşitlerinde yapılan çalışmalarda, kuraklığa hassas çeşitlerin toleranslı olanlara göre içsel prolin seviyesi daha fazla olduğu rapor edilmiştir [43,44,24].

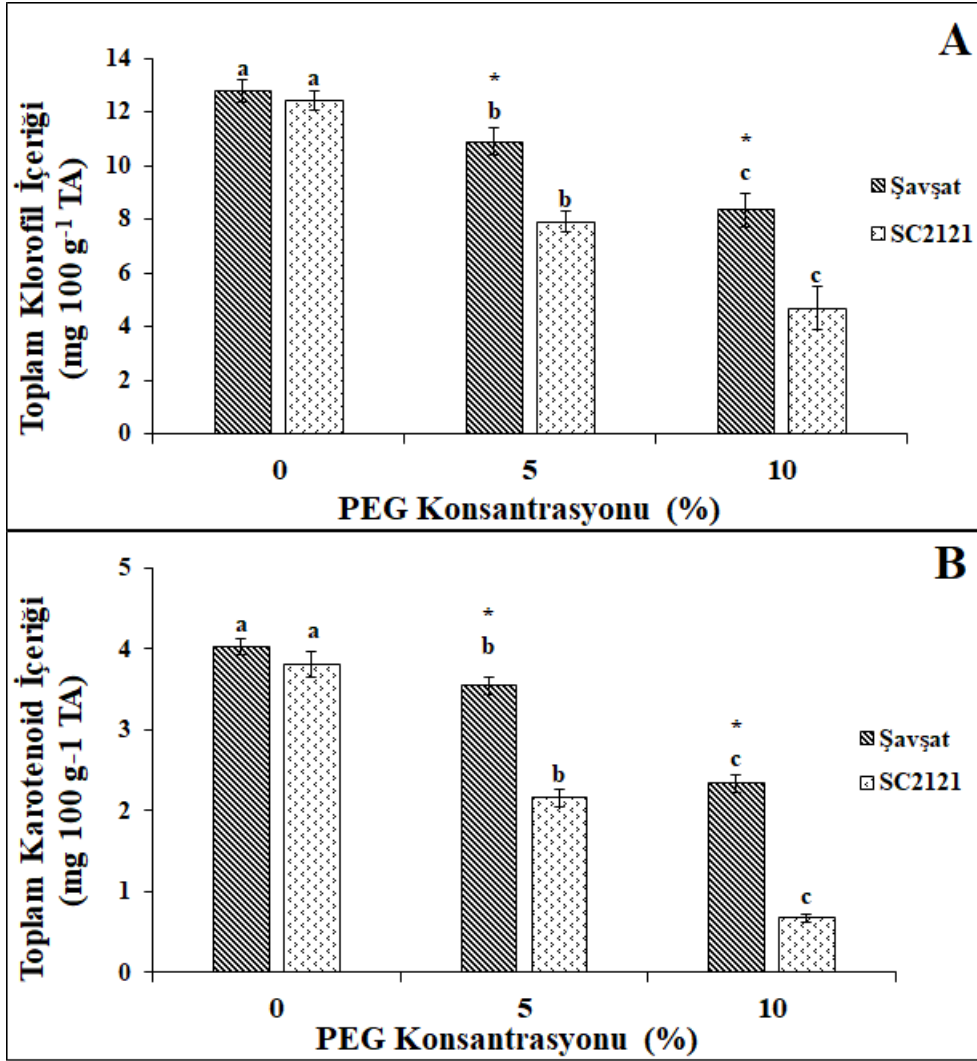


Şekil 6. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

3.6. Kuraklık Stresinin Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği Üzerine Etkisi

Her iki domates çeşidinin toplam klorofil ve karotenoid içerikleri tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, toplam klorofil içeriğindeki azalış oranları Şavşat'a göre SC2121'de daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, kontrole göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde azalış oranları sırasıyla 1.2 kat ve 1.6 kat iken, %10 PEG uygulamasıyla ise 1.5 kat ve 2.7 kat olduğu görülmüştür. En fazla azalış %10 PEG uygulanmış SC2121 çeşitlerinde görülmüştür (Şekil 7a.).

Benzer şekilde, toplam karotenoid içeriğindeki azalış oranları Şavşat çeşidine göre SC2121'de daha fazla olduğu kaydedilmiştir. Örneğin kontrole göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinin azalış oranları sırasıyla 1.1 kat ve 1.8 kat olduğu belirlenmiştir. %10 PEG uygulamasıyla Şavşat ve SC2121'de ki azalış oranlarının ise sırasıyla 1.7 kat ve 5.7 kat olduğu görülmüştür. Toplam karotenoid içeriğindeki en fazla düşüş % 10 PEG uygulanmış SC2121 fidelerinde kaydedilmiştir (Şekil 7b.). Sonuçlarla benzer olarak, kuraklığa tolerans cevapları farklı tüm domates genotiplerinde klorofil ve karotenoid miktarının düştüğü, ancak bu düşüşlerin toleranslı çeşitlerde daha az olduğu rapor edilmiştir [21, 24]. Veriler ışığında, fotosentetik pigmentlerin miktarındaki azalma, muhtemelen kuraklık stresi durumunda turgor kaybı nedeniyle hücrelerdeki büyüme ve metabolik sürecin yavaşlamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının toplam klorofil (A) ve toplam karotenoid (B) içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ($p \leq 0.05$). (*) Bitkiler arasında istatistik açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde kuraklığa tolerans cevaplarının araştırılmasında ölçülen tüm parametreler arasında ciddi farklar görüldü. Kuraklık stresindeki domates çeşitlerinde çimlenme oranı, kök boyu, RWC, klorofil ve karotenoid miktarlarında azalma olduğu görülmektedir. Ancak SC2121 domates çeşidindeki azalma Şavşat çeşidine göre daha fazla olduğu tespit edildi. Bununla birlikte, her iki domates çeşidinde TBARS, H₂O₂ ve prolin içeriklerinin arttığı görülmektedir. Bu artışların SC2121 domates çeşidinde daha fazla olduğu belirlendi. Çalışmamızın sonunda, Şavşat domates çeşidinin kuraklığa toleranslı, SC2121 domates çeşidinin ise kuraklığa hassas olduğu sonucuna varıldı. Çalışmanın ilerleyen dönemlerde moleküler ve proteomik analizler ile daha ileri bir aşamaya taşınması bilimsel literatür açısından daha iyi bir altlık oluşturacaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yordanov I., Velikova V., Tsonev, T. 2000. Plant responses of drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*, 38 (2): 71-186.
- [2] Saruhan Guler N., Ozturk K., Sezgin A., Altuntas C., Kadioglu A., Terzi, R. 2021. Alpha lipoic acid application promotes water-deficit tolerance by modulating osmoprotectant metabolism-related genes in maize. *Russian Journal of Plant Physiology*, DOI: 10.1134/S1021443721060042.
- [3] Talbi S., Romero-Puertas M.C., Hernandez A., Terron L., Ferchichi, A., Sandalio L.M. 2004. Drought tolerance in a saharian plant *Oudneya africana*: role of antioxidant defences. *Environmental and experimental botany*, 111: 114-126.
- [4] Jaleel C.A., Manivannan P., Lakshmanan G.M.A., Gomathinayagam M., Panneerselvam, R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and surfaces B: biointerfaces*, 61 (2): 298-303.
- [5] Chaves M.M., Oliveira M.M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of experimental botany*, 55 (407): 2365-2384.
- [6] Sofo A., Tuzio A.C., Dichio B., Xiloyannis C. 2005. Influence of water deficit and rewatering in the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant science*, 169 (2): 403-412.
- [7] Morales C.G., Pino M.T., Del Pozo A. 2013. Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 162: 234-241.
- [8] Reddy A.R., Chaitany K.V., Vivekanandan M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161 (11): 1189-1202.
- [9] Yordanov I., Velikova V., Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, (Special Issue), 187-206.
- [10] Almansouri M., Kinet J.M., Lutts S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant Soil*, 231 (2): 243-254.
- [11] Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24 (1): 519-570.
- [12] Foolad M.R., Lin G.Y. 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience*, 32 (2): 296-300.
- [13] Mohaewsh O. 2016. Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water use efficiency of eggplant in arid environments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18 (1): 265-276.
- [14] Gharibi S., Tabatabaei B.E.S., Saeid G., Goli S.A.H. 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178 (4): 796-809.
- [15] Altuntaş C., Terzi R. 2020. Dithiothreitol and PEG induced combined stress may affect the expressions of ABA aldehyde oxidase, sucrose synthase and proline metabolic genes in maize seedlings. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, DOI: 10.32604/phyton.2020.08919.
- [16] Moustakas M., Sperdouli I., Kouna T., Antonopoulou C.I., Therios I. 2011. Exogenous proline induces soluble sugar accumulation and alleviates drought stress effects on photosystem II functioning of *Arabidopsis thaliana* leaves. *Plant Growth Regulation*, 65 (2): 315-325.
- [17] Demiralay M., Altuntaş C., Sezgin A., Terzi R., Kadioğlu A. 2017. Application of proline to root medium is more effective for amelioration of photosynthetic damages as compared to foliar spraying or seed soaking in maize seedlings under short-term drought. *Turkish Journal of Botany*, 41: 649-660.
- [18] George S., Jato S.A., Siddiqui S.U. 2013. Genotypic differences against PEG simulated drought stress in tomato. *Pakistan Journal of Botany*, 45 (5): 1551-1556.
- [19] Zdravkovic J., Jovanovic Z., Djordjevic M., Girek Z., Zdravkovic M., Stikic R. 2013. Application of stress susceptibility index for drought tolerance screening of tomato populations. *Genetika*, 45 (3): 679-689.

- [20] Pervez M.A., Ayub C.M., Khan H.A., Shahid M.A., Ashraf I. 2009. Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 46 (3): 174-178.
- [21] Sivakumar R., Srividhya S. 2016. Impact of drought on flowering, yield and quality parameters in diverse genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Advances in Horticultural Science, 30 (1): 3-11.
- [22] Ghorbanli M., Bakhshi Khanik G., Zakeri A. 2012. Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27 (4): 647-658.
- [23] Kabay T., Yekbun A.L.P. 2017. Kuraklık stresinin bazı yerli ve ticari domates çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (3): 387-395.
- [24] Çelik Ö., Aya A., Atak Ç. 2017. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. Botanical Studies, 58 (1): 1-13.
- [25] Anonymous, 1993. "International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing", Seed Science and Technology, 21 supplement.
- [26] Basha P.O., Sudarsanam G., Reddy M.M.S., Sankar S. 2015. Effect of PEG induced water stress on germination and seedling development of tomato germplasm. International Journal of Recent Scientific Research, 6 (5): 4044-4049.
- [27] Castillo F.J. 1996. Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L. following the imposition of severe water stress and recovery. Oecologia, 107 (4): 469-477.
- [28] Heath R.L., Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I.kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125 (1): 189-198.
- [29] Velikova V., Yordanov I., Edrev A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151 (1): 59-66.
- [30] Carillo P., Mastrolonardo G., Nacca F., Parisi D., Verlotta A., Fuggi A. 2008. Nitrogen metabolism in durum wheat under salinity: accumulation of proline and glycine betaine. Functional Plant Biology, 35 (5): 412-426.
- [31] Arnon D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24 (1): 1-15.
- [32] Lichtenthaler H.K. 1987. Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Edited by Mohren, GMJ., Academic Press, 8: 350-382.
- [33] Lisar S.Y.S., Motafakkerzad R., Hossain M.M., Rahman I.M.M. 2012. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, in Water Stress, Edited by Ismail Md. Mofizur Rahman, Hasegawa H. InTech: New York, USA.
- [34] Turk M.A., Rahman A., Tawaha M., Lee K.D. 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian Journal of Plant Sciences, 3 (3): 394-397.
- [35] Soni P., Rizwan M., Bhatt K.V., Mohapatra T., Singh G. 2011. In vitro response of *Vigna aconitifolia* to drought stress induced by PEG-6000. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7 (3): 108-121.
- [36] Ghafoor A. 2013. Unveiling the mess of red pottage through gel electrophoresis: a robust and reliable method to identify *Vicia sativa* and *Lens culinaris* from a mixed lot of split "Red Dal". Pakistan Journal of Botany, 45 (3): 915-919.
- [37] Ullah U., Ashraf M., Shahzad S.M., Siddiqui A.R., Piracha M.A., Suleman, M. 2016. Growth behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting Rhizobacteria. Soil and Environment, 35 (1): 65-75.
- [38] Altuntaş C., Terzi, R., 2021. Concomitant accumulations of ions, osmoprotectants and antioxidant system-related substances provide salt tolerance capability to succulent extreme-halophyte *Scorzonera hieraciifolia*. Turkish Journal of Botany, 45: 340-352.
- [39] Sairam R.K., Srivastava G.C., Saxena D.C. 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperature: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. Biologia Plantarum, 43 (2): 245-251.
- [40] Moussa H.R., Abdel-Aziz S.M. 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science, 1 (1): 31-36.

- [41] Hong-Bo S., Xiao-Yan C., Li-Ye C., Xi-Ning Z., Gang W., Yong-Bing Y., Chang-Xing Z., Zan-Min H. 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids Surf B: Biointerfaces*, 53 (1): 113-119.
- [42] Mohammadkhani N., Heidari R. 2008. Drought induced accumulation of soluble sugar and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal*, 3 (3): 448-453.
- [43] Shtereva, L., Atanassova B., Karcheva T., Petkov V. 2008. The effect of water stress on the growth rate, water content and proline accumulation in tomato calli and seedlings. *Acta Horticulturae*, 789: 189-197.
- [44] Ghorbanli M., Gafarabad M., Amirkian T.A.N.N.A.Z., Allahverd M.B. 2013. Investigation of Proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3 (2): 651-658.