



## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2022, 59 (4): 697-707  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1117366>

Hakan ALTUNLU<sup>1\*</sup>

Gökçe AYDÖNER ÇOBAN<sup>2</sup>

Ayşe GÜL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ortaca Meslek Yüksekokulu, Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü, 48600, Ortaca, Muğla, Türkiye

<sup>2</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 66100, Merkez, Yozgat, Türkiye

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

\*Sorumlu yazar (Corresponding author):  
[haltunlu@gmail.com](mailto:haltunlu@gmail.com)

**Anahtar sözcükler:** Domates, kuraklık stresi, PEG 6000, su kültürü, tohum çimlendirme testi

**Keywords:** Tomato, drought stress, PEG 6000, water culture, seed germination

# Domates genotiplerinin kuraklık stresine tolerans açısından tohum çimlendirme ve vegetatif gelişme aşamalarında hızlı taranmasına uygun testlerin optimizasyonu

Optimization of suitable tests for rapid screening of tomato genotypes for drought stress tolerance at seed germination and vegetative development stages

Received (Alınış): 16.05.2022

Accepted (Kabul Tarihi): 06.10.2022

## ÖZ

**Amaç:** Bu çalışma, domates genetik kaynaklarının kuraklık stresine karşı hızlı taranması için PEG-6000'in neden olduğu kuraklık stresinin uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Çalışmada, kurağa toleransı yüksek (M28) ve düşük (Alyans) olduğu bilinen iki çeşit test edilmiştir. Çimlendirme testinde iki farklı PEG konsantrasyonu (%4 ve %6) denenmiştir. Fide aşamasındaki test su kültürü tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Denemede (1) kökleri yetiştirme ortamından temizlenmiş çıplak köklü veya (2) kökleri yetiştirme ortamından temizlenmemiş fideler kullanılmıştır. Su kültürüne alınan fidelere 7 gün sonra kuraklık stresi ( $\Psi_s = -1.0$  MPa) kademeli olarak (-0.25, -0.5 -0.75 ve -1.0 MPa) her 48 saatte bir artırılarak uygulanmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Tohum çimlenme testinde, vigor indeksinde kuraklık stresi altında kontrole kıyasla meydana gelen azalma, M28 çeşidinde daha az olmuştur. Su kültüründe, kökleri yetiştirme ortamından temizlenmemiş fideler kullanılması durumunda stres belirtileri beklenen sürede ortaya çıkmamıştır. Kuraklık stresi altında bitki gelişimi, klorofil a ve b, karotenoid içeriği ve yaprak oransal nem içeriğinde meydana gelen azalış ile prolin içeriğinde meydana gelen artış M28 çeşidinde daha düşük olmuştur.

**Sonuç:** Domates genetik kaynaklarının kuraklık stresine tolerans açısından taranmasında; tohum çimlendirme aşamasında %4'lük PEG-6000, vegetatif gelişme aşamasında durgun su kültüründe PEG-6000 ile  $\Psi_s = -1.0$  MPa osmotik stres yaratılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

## ABSTRACT

**Objective:** This study was conducted to determine the suitability of drought stress induced by PEG-6000 for rapid screening of tomato genetic resources against drought stress.

**Material and Methods:** Two cultivars; M28 F<sub>1</sub> and Alyans F<sub>1</sub> known as tolerant and sensitive, respectively; were tested. In seed germination test, two different PEG concentrations (4% and 6%) were compared with the control. The seedling stage test was performed in water culture. In this experiment, (1) bare rooted seedlings of which rooting medium were removed and (2) seedlings with rooting medium were used. Drought dose was  $\Psi_s = -1.0$  MPa (full dose) and gradually increased (-0.25, -0.50, -0.75 and -1.0 MPa) every 48 hours from 7 days after planting.

**Results:** In seed germination test, the decrease in vigor index under drought stress was lower in M28 variety. In water culture, stress symptoms appeared slowly if the seedlings with rooting medium were used. The decrease in plant growth characteristics, and chlorophyll, carotenoid and relative water content and increase in proline content under stress were lower in M28

**Conclusion:** It was concluded that the seed germination test by 4% PEG-6000 and water culture in which the drought stress was created by PEG-6000 ( $\Psi_s = -1.0$  MPa) can be used to screen tomato genetic materials for drought stress tolerance.

## GİRİŞ

Son yıllarda iklim değişikliğine bağlı olarak mevsimlerin kayması, sıcaklık artışı, CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artması, sıcak hava dalgaları, kuraklık, sel baskını, su varlığı ve kalitesinin azalması bitkisel üretimde etkili olmakta, özellikle yüksek sıcaklık ve kuraklık baskısı artmaktadır (George et al., 2015; Sahin et al., 2016; Conti et al., 2019). Küresel iklim değişikliğinin anlaşılmasına yönelik modelleme çalışmaları, 2100 yılına kadar yerküre sıcaklığının ortalama 1-3.5 °C artacağını ve buna bağlı olarak bölgesel aşırı yüksek sıcaklıklar, taşkınlar ve tüm dünya genelinde yaygın ve şiddetli kuraklık olayları gerçekleşeceğine işaret etmektedir (Öztürk, 2015). Bu nedenle, son yıllarda kuraklık stresi tarımda öncelikli araştırma konuları arasında yer almakta; kuraklık stresine tolerant çeşitlerin ıslah edilmesi amacıyla genetik kaynaklar taranmaktadır.

Kuraklık stresi çalışmalarında bitkiler (1) toprakta / substratta, (2) su kültüründe veya (3) agar ortamında yetiştirilmektedir. Toprakta / substratta yetiştirilen bitkilerde kuraklık stresi çalışmalarında, bitki kök bölgesinde su potansiyelini kontrol etmek zor olmaktadır. Bu nedenle su kültürüne dayalı kuraklık stresi ön plana çıkmaktadır. Su kültüründe kuraklık stresi çalışmalarında, biyolojik olarak inert, büyük molekül ağırlığa sahip polimerik ozmolitlerin kullanımı avantajlıdır. Bu nedenle; kuraklık stresi çalışmalarında moleküler ağırlığı 6000 veya daha fazla olan polietilen glikol (PEG) kullanılmaktadır. Agar ortamında yapılan çalışmalarda da kuraklık stresi PEG ile oluşturulmaktadır (Osmolovska et al., 2018). PEG kaynaklı kuraklık, çok sayıda genotipin kuraklık stresine tolerans açısından taranmasına uygun ucuz, kolay ve hızlı bir yöntemdir (Kulkarni ve Deshpande, 2007; Esan et al., 2018; Carvalho et al., 2019).

*Solanaceae* familyasının üyesi olan domates (*Solanum lycopersicum* L.) tüm dünyada yaygın olarak yetiştirilmekte ve tüketilmektedir (Wang et al., 2019). Dünya domates üretiminde Çin, Hindistan ve Amerika'dan sonra Türkiye 4. sırada yer almaktadır (TUIK, 2022) Gerek tarla gerekse serada en fazla üretilen sebze türü olan domates bitkisinin su ihtiyacı fazladır. Kuraklık stresi, domates yetiştiriciliğinde, verim ve meyve kalitesinin azalmasına neden olmakta, üretimi sınırlamaktadır. Bu nedenler ile bu çalışmada PEG-6000 ile oluşturulan kuraklık stresinin tohum çimlendirme ve vegetatif gelişme aşamalarında domates gen kaynaklarının kuraklık stresine tolerans bakımından hızlı bir şekilde taranmasına uygunluğu kuraklık stresine toleransları bilinen 2 çeşitte (Altunlu, 2011) test edilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Ortaca Meslek Yüksekokulu'nda yürütülmüştür. Kuraklık stresine tepkileri bilinen iki domates çeşidi (tolerant M28 F<sub>1</sub> ve duyarlı Alyans F<sub>1</sub>) (Altunlu, 2011) test edilmiş ve kuraklık stresi uygulamak amacıyla kimyasal formülü HO(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>H olan polietilen glikol 6000 (PEG 6000) kullanılmıştır.

### Tohum çimlendirme testi

Deneme 24 Temmuz-6 Ağustos 2018 tarihleri arasında yürütülmüştür. Kuraklık stresi PEG 6000 ile yaratılmış, uygun PEG konsantrasyonunu belirlemek üzere iki farklı konsantrasyon (%4 ve %6) denenmiştir (Kulkarni ve Deshpande, 2007; George et al., 2015). Çimlendirme testi Uluslararası Tohum Test Birliği (ISTA) kurallarına göre 40x40 ebadındaki kurutma kağıtları kullanılarak, 4 tekrarlı ve her uygulamada 25 tohum/tekrar (toplamda 100 tohum/uygulama) kullanılarak yapılmıştır (ISTA, 1993). Kontrol uygulamasında kurutma kağıdını nemlendirmek için saf su, kuraklık uygulamalarında ise % 4 veya %6 PEG-6000 çözeltisi kullanılmıştır. Kurutma kağıtları küvetin içerisindeki çözeltiliye (saf su veya PEG dolu) batırılmış ve tüm yüzeyi nemlendirilmiştir. Nemli kağıtlar düz zemine konularak üzerine tohumlar yerleştirilmiş ve ikiye katlanmıştır. Daha sonra rulo şeklinde sarılarak açık kısmı üst tarafa gelecek şekilde 6.5 litre hacimli kaplara (21.5 x 18.5 x 20.5 cm) dik pozisyonda yerleştirilmiştir. Kapların dibinde 2-3 mm PEG çözeltisi veya saf su olacak şekilde ayarlanarak kapakları kapatılmış ve kapların üzeri streç film ile kaplanmıştır. Kaplar 25 °C'ye ayarlı bitki büyüme dolabına yerleştirilmiştir. 14. günde

bitki büyüme dolabından çıkarılarak filtre kağıdı ruloları dikkatli bir şekilde açılarak çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu kaydedilmiştir. Bu verilerden Vigor indeksi; “ (kök uzunluğu + sürgün uzunluğu) x çimlenme yüzdesi” formülüne göre hesaplanmıştır.

Kuraklık stresinin çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu ile vigor indeksine etkisini belirlemek üzere, her çeşitte stres ve kontrol uygulamalarına ait ortalama değerler ( $M_{\text{stres}}$  ve  $M_{\text{kontrol}}$ ) dikkate alınarak stres tolerans indeksi “STI (%)=  $[(M_{\text{stres}})/M_{\text{kontrol}}] \times 100$ ” hesaplanmıştır (Guellim et al., 2019).

### Su kültürü

Fideler 1.7 litre hacme sahip, eni 14 cm ve boyu 20 cm olan plastik kaplarda 6 adet fide olacak şekilde, ½ yoğunlukta Hoagland çözeltisinde (pH: 6.5, EC: 1.2 mS/cm) yetiştirilmiştir. Çözeltinin element içeriği şöyledir (mg/L): N 105, P 15.5, K 117, Ca 80, Mg 24, Fe 1.25, Mn 0.25, B 0.25, Cu 0.01, Zn 0.025 ve Mo 0.005 (Gül, 2019). Besin çözeltisi akvaryum pompaları ile havalandırılmış ve seviyesi kuraklık stresi uygulaması öncesinde 2 günde bir kontrol edilerek çözelti ilavesiyle orijinal seviyeye (1 litre) getirilmiştir. Fideler 20.07.2018 tarihinde su kültürüne alınmış ve kuraklık stresine 26.07.2018 tarihinde (4-5 gerçek yapraklı aşamaya ulaşınca ) başlanmıştır. Bu denemede (1) kökleri yetiştirme ortamından temizlenmiş çıplak köklü ve (2) kökleri yetiştirme ortamından temizlenmemiş fideler su kültürüne aktarılmıştır (Şekil 1). Kökleri yetiştirme ortamından temizlenmemiş fidelerin denemeye alınmasının nedeni, denemenin hızlı bir şekilde kurulabilmesine olanak tanınmasıdır.



Şekil 1. Su kültüründe çıplak köklü (solda 2 resim) ve kökleri yetiştirme ortamından temizlenmemiş fideler (sağda 3 resim).

Figure 1. Bare rooted seedlings (2 images left) and seedlings with rooting medium (3 images right) in water culture.

Çıplak köklü fidelerin kullanılması durumunda, kabın kapak kısmında 2 cm çapında delikler açılmıştır. Kökleri torftan arındırılan domates fideleri bu açıklıklara küçük sünger parçaları ile sarılmak suretiyle yerleştirilmişlerdir. Yetiştirme ortamı temizlenmemiş fideler kullanıldığında ise, strafor fide viyolleri yetiştirme kaplarına uygun olacak şekilde kesilmiştir. Viyollerin üzerine, 6 adet fide torfu ile birlikte yerleştirilmiş ve viyollerin plastik kapların içindeki çözelti üzerinde yüzmesi sağlanmıştır.

Kuraklık stresi Altunlu (2011)'ya göre gerçekleştirilmiştir. Ozmotik potansiyel PEG 6000 kullanılarak  $\Psi_s = -1.0$  MPa'ya ayarlanmıştır. Bu amaçla saf suya ilave edilecek PEG 6000 miktarı (g/L) Michel ve Kaufmann (1973)'a göre belirlenmiştir. Su kültürüne alınan fideler 7 gün kontrol uygulamasında tutulduktan sonra kuraklık stresine kademeli olarak (-0.25, -0.5, -0.75 ve -1.0 MPa ) her 48 saatte bir artırılarak ulaşılmıştır.

Ölçüm ve analizler için örnek alma işlemi, kuraklık dozu  $\Psi_s = -1.0$  MPa uygulandıktan 48 saat sonra yapılmıştır. Alınan örneklerde klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarları, yaprak oransal su kapsamı, prolin miktarı ve bitki gelişim özellikleri (yaprak sayısı, kök ve gövde uzunluğu, kök ve yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları) belirlenmiştir. Klorofil, karotenoid ve prolin içeriği için örnek alınarak -22 °C'de saklanmıştır.

**Stres tolerans indeksi:** Kuraklık stresinin bitki gelişim özelliklerine (yaprak sayısı, kök ve gövde uzunluğu, kök ve yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları) etkisini belirlemek üzere, her çeşitte stres ve kontrol uygulamalarına ait ortalama değerler ( $M_{\text{stres}}$  ve  $M_{\text{kontrol}}$ ) dikkate alınarak stres tolerans indeksi "STI (%)" =  $[(M_{\text{stres}})/M_{\text{kontrol}}] \times 100$  hesaplanmıştır (Guellim et al., 2019).

**Yaprak oransal su içeriği:** Her deneysel üniteye ait 3 adet bitkinin yapraklarından disk şeklinde alınan yaprak kesitlerinin yaş ağırlıkları (YA), düşük ışık altında 4 saat saf su içerisinde bekletilip kabaca kurutulduktan sonra turgorlu ağırlıkları (TA) ve 70 °C ayarlı etüvde 24 saat bekletilerek kuru ağırlıkları (KA) belirlenmiştir. "Yaprak oransal su içeriği (%) =  $[(YA-KA)/(TA-KA)] \times 100$ " formülüne göre hesaplanmıştır (Yamasaki & Dillenburg, 1999).

**Yaprak klorofil ve karotenoid içeriği (mg/kg yaş ağırlık):** Her deneysel üniteye ait 3 adet bitkinin yapraklarından 0.25 g örnek alınmış, spatül ucuyla  $\text{CaCO}_3$  ilave edilip 15 ml % 85'lik aseton ile homojenize edilmiştir. Karışım asetonla 20 ml'ye tamamlanmış ve 5 dk santrifüj edilmiştir. Örnekten üst fazdan 4 ml çekilip, üzerine 12 ml aseton ilave edilmiş, spektrofotometrede 645 ve 663 nm dalga boyunda okunmuştur. Karotenoid tayini için 450 nm okuma yapılmıştır. Elde edilen değerler aşağıdaki formüllere göre mg/kg olarak hesaplanmıştır (Strain & Svec, 1966).

$$\text{Klorofil a (mg/kg)} = [11.64. (A663) - 2.16 (A645)] \times 1000$$

$$\text{Klorofil b (mg/kg)} = [20.97 (A645) - 3.94 (A663)] \times 1000$$

$$\text{Karotenoid (mg/kg)} = [1000 (A470) - 2.27 (Chl a) - 81.4 (Chl b)] / 227 \times 1000$$

**Yaprak prolin içeriği ( $\mu\text{mol/g}$  yaş ağırlık):** 0.5 g yaş bitki örneği alınmış ve % 3'lük sülfosalisilik asit ile parçalanarak filtre edilmiştir. Filtre edilen örnekten 2 ml alınıp üzerine 2 ml asetik asit ve 2 ml ninhidrinreagent konmuştur. Ninhidrinreagent; ninhidrin, asetik asit ve ortofosforik asit kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra tüplere konulan örnekler 1 saat 100°C'de su banyosunda tutulmuş, reaksiyon buzda sonlandırılmıştır. Soğuyan örneklerin üzerine 4 ml toluen eklenerek vortekslenmiş ve 520 nm'de spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Prolin standartları ile hesaplama yapılarak yaprak prolin içeriği belirlenmiştir (Bates et al., 1973).

### Verilerin değerlendirilmesi

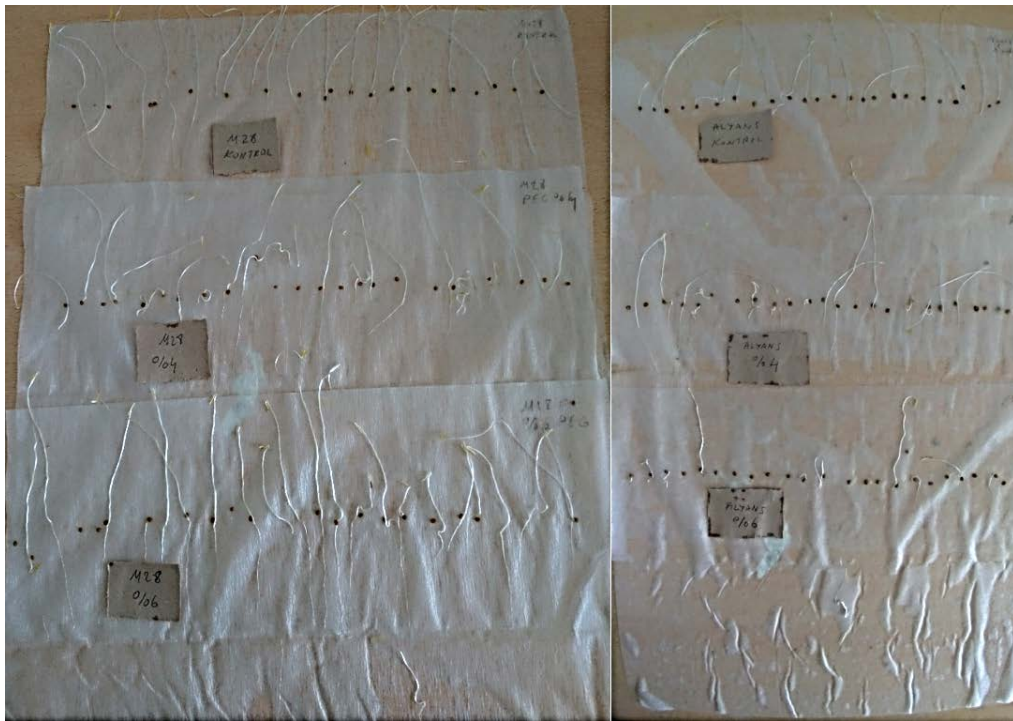
Stres tolerans indeksi ve % değişim oranları ile ilgili verilere varyans analizi yapılmış, ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testi ile belirlenmiştir.

## ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### Tohum çimlendirme testi

Tohum çimlendirme aşamasında, PEG-6000 ile oluşturulan kuraklık stresine M28 ve Alyans domates çeşitlerinin tepkileri farklı olmuştur (Şekil 2). Kontrole kıyasla %4 ve %6 PEG-6000 uygulamalarında çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu her iki çeşitte de azalmış olmakla birlikte Alyans çeşidinde azalış oranlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Vigor indeksinde kuraklık stresi altında %4 ve %6 PEG-6000 uygulamalarında kontrole kıyasla meydana gelen azalma, M28 çeşidinde %35 ve %40; Alyans çeşidinde %56 ve %59 olmuştur. STI değerleri üzerine çeşit faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. STI değerlerinin M28 çeşidinde Alyans çeşidine kıyasla yüksek olduğu saptanmıştır (Çizelge 1).

Elde edilen sonuçlar, kuraklık stresinin PEG-6000 ile oluşturulduğu tohum çimlendirme testinin kurağa toleransı farklı olan domates çeşitlerini ayırt etmede kullanılabileceğini göstermiştir. Önceki çalışmalarda da (Kulkarni & Deshpande, 2007; Aazami et al., 2010; George et al., 2013; Ghebremariam et al., 2013; Basha et al., 2015; Jokanović & Zdravković, 2015; George et al., 2015; Shamim et al., 2016) domates genotiplerinin kuraklık stresine toleransının belirlenmesinde *in vitro* taramanın uygun olduğu rapor edilmektedir.



**Şekil 2.** Tohum çimlendirme aşamasında PEG-6000 ile yaratılan kuraklık stresine M28 (solda) ve Alyans (sağda) çeşitlerinin tepkileri: Kontrol (üstte), %4 PEG-6000 (ortada), %6 PEG-6000 (altta).

**Figure 2.** The responses of M28 (left) and Alyans (right) tomato cultivars to drought stress induced by PEG-6000 at seed germination stage: Control (above), %4 PEG-6000 (in the middle) and %6 PEG-6000 (below)

**Çizelge 1.** Alyans ve M28 domates çeşitlerinde, PEG-6000 ile yaratılan kuraklık stresi koşullarında tohum çimlendirme testi sonuçları

**Table 1.** Seed germination test results in Alyans and M28 tomato cultivars under drought stress conditions induced by PEG-6000

		Alyans			M28		
		Kontrol	PEG %4	PEG %6	Kontrol	PEG %4	PEG %6
Çimlenme	%	77	49	47	87	71	68
	STI (%)		63.6	61.0		81.6	78.2
	Ortalama STI **			62.3 b			79.9 a
Kök uzunluğu	cm	6.6	4.1	4.0	6.3	4.8	4.6
	STI (%)		62.3	60.4		75.2	72.5
	Ortalama STI **			61.4 b			73.9 a
Sürgün uzunluğu	cm	9.6	7.0	6.8	9.2	7.6	7.4
	STI (%)		72.7	71.0		82.2	80.1
	Ortalama STI **			71.9 b			81.2 a
Vigor indeksi	%	1244	542	506	1351	875	813
	STI (%)		43.9	41.0		65.1	60.0
	Ortalama STI**			42.5 b			62.6 a

STI değerlerine varyans analizi uygulanmıştır. Tüm özelliklerde çeşit faktörünün etkisi önemli, PEG ve çeşit\*PEG önemsiz bulunmuştur. Çizelgede STI değerlerinin çeşide bağlı değişimi (Ortalama STI) ve ortalamalar arasındaki farklılıklar verilmiştir.

\*\* Ortalamalar arasındaki fark %99 güvenle önemlidir.

Denenen %4 ve %6'lık PEG konsantrasyonlarının her ikisinde benzer sonuçlar alınmış olması nedeniyle, domates gen kaynaklarının tohum çimlenme aşamasında, PEG ile yaratılan kuraklık stresine tolerans bakımından test edilmesinde %4 PEG-6000'in uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Jakanović ve

Zdravković (2015), domates tohumlarını petri kaplarının içine yerleştirilen ve damıtılmış su (kontrol) veya %4, %8 ve %12 konsantrasyonunda PEG çözeltileri ile nemlendirilen filtre kağıtları üzerinde 14 gün 25°C'de inkübe ettikleri çalışmanın sonunda, %12 PEG konsantrasyonunun domates genotiplerini tohum çimlendirme aşamasında kuraklığa tolerans bakımından sınıflandırmaya uygun olduğunu rapor etmektedirler. Bununla birlikte, domates tohum çimlendirme aşamasında %2 ile %12 arasında değişen PEG konsantrasyonlarını test eden George et al. (2015) %4'lük konsantrasyonu uygun bulmuştur. Çalışmamızda elde edilen sonuç George et al. (2015)'i desteklemektedir.

### Su kültürü denemesi

Fide aşamasında su kültüründe PEG-6000 ile oluşturulan kuraklık stresinin kurağa tolerant ve duyarlı domates çeşitlerini ayırt etmede etkililiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 2 ve 3'de sunulmuştur. Bitki köklerinin dikim öncesinde temizlenmesi durumunda, stres belirtileri beklenen sürede ortaya çıkmış, ölçümler ve yapılacak analizler için örnek alımı tam doz kuraklık uygulamasından 48 saat sonra 03.08.2018 tarihinde yapılmıştır. Yetiştirme ortamı temizlenmeden besin çözeltilerinin üzerine strafor viyol ile yerleştirilen fidelerde, aynı tarihte stres belirtileri ortaya çıkmamıştır. Bu nedenle bu uygulamada ölçüm ve analizler 1 hafta sonra 10.08.2018 tarihinde yapılabilmektedir. Bir hafta gecikmeli yapılabilen değerlendirmede; iki çeşit arasında farklılık ortaya çıkmış olmakla birlikte, incelenen bitki gelişim özelliklerinde kontrole kıyasla yüzdesel değişimin dikim öncesinde köklerin temizlendiği uygulamaya kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu durumun, çıplak köklü fideler kullanıldığında bitki köklerinin doğrudan besin çözeltisi ile temas halinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki yöntemde de, viyolü ile su kültürüne alınan grupta kök yaş ağırlığı ve klorofil b içeriği dışında, M28 çeşidine ait STI değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 2.** Su kültüründe PEG ile yaratılan kuraklık stresine Alyans ve M28 domates çeşitlerinin tepkileri: Bitki gelişim özellikleri

**Table 2.** Responses of Alyans and M28 tomato cultivars to PEG-6000 induced drought stress in water culture: Plant growth characteristics

Kök temizliği*		+				-			
		Alyans		M28		Alyans		M28	
		Kontrol	PEG	Kontrol	PEG	Kontrol	PEG	Kontrol	PEG
Yaprak sayısı	Adet	10.0	6.8	9.9	8.5	10.8	9.3	10.2	9.2
	STI (%)**		68.3 b		85.2 a		86.1 b		90.0 a
Gövde uzunluğu	Cm	19.9	14.4	19.1	15.8	19.9	15.,8	19.0	16.1
	STI (%)**		72.9 b		83.0 a		79.6 b		85.1 a
Kök uzunluğu	Cm	15.5	11.0	14.6	11.1	15.9	12.3	14.6	12.0
	STI (%)**		70.9 b		76.2 a		77.4 b		82.0 a
Gövde yaş ağırlığı	G	5.98	3.26	5.72	4.07	6.22	4.00	5.81	4.59
	STI (%)**		54.6 b		71.1 a		64.2 b		79.1 a
Kök yaş ağırlığı	G	2.58	2.07	2.69	2.33	2.87	2.57	2.93	2.,66
	STI (%)**, öd		80.4 b		86.4 a		89.7		90.8
Gövde kuru ağırlığı	G	0.60	0.43	0.55	0.45	0.65	0.53	0.58	0.51
	STI (%)**		71.4 b		82.6 a		80.6 b		87.8a
Kök kuru ağırlığı	G	0.30	0.21	0.32	0.25	0.36	0.28	0.34	0.28
	STI (%)**		70.0 b		78.1 a		76.4 b		82.1 a

\*Kök temizliğine bağlı olarak ayrı varyans analizi yapılmıştır.

\*\* Ortalamalar arasındaki fark %99 güvenle önemlidir.

öd Ortalamalar arasındaki fark istatistiki önem düzeyinde değildir (Kökleri temizlenmeyen grupta kök yaş ağırlığı).



**Çizelge 3.** Su kültüründe PEG ile yaratılan kuraklık stresine Alyans ve M28 domates çeşitlerinin tepkileri: Fizyolojik özellikler

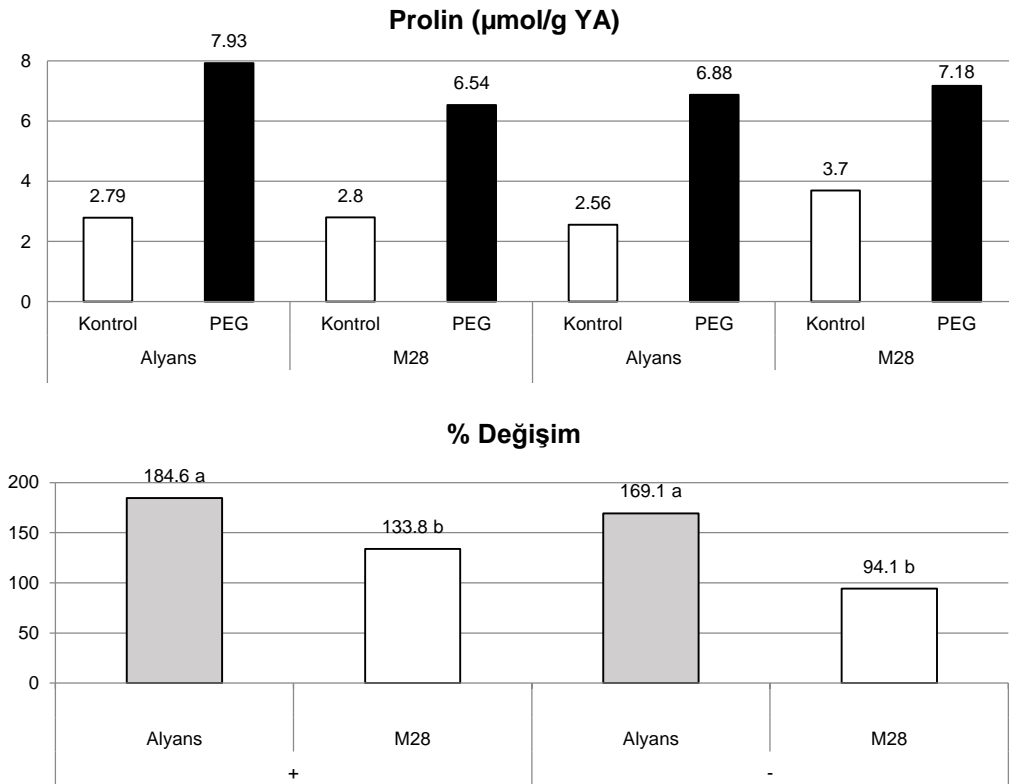
**Table 3.** Responses of Alyans and M28 tomato cultivars to PEG-6000 induced drought stress in water culture: Physiological features

Kök temizliği		+				-			
		Alyans		M28		Alyans		M28	
		Kontrol	PEG	Kontrol	PEG	Kontrol	PEG	Kontrol	PEG
Klorofil a	mg/kg YA	1402	1029	1345	1083	1397	1088	1364	1091
	STI (%)**		73.4 b		80.5 a		77.8 b		79.9 a
Klorofil b	mg/kg YA	619	505	624	531	613	530	616	540
	STI (%)**, öd		81.5 b		85.0 a		86.5		87.7
Karotenoid	mg/kg YA	37.4	33.7	34.5	34.0	35.6	33.4	33.7	33.3
	STI (%)**		90.0 b		98.4 a		93.8 b		98.8 a
Yaprak oransal su içeriği	%	83.9	48.3	86.0	57.7	85.9	49.3	84.8	52.,8
	STI (%)**		57.7 b		67.0 a		57.3 b		62.3 a

\*Kök temizliğine bağlı olarak ayrı varyans analizi yapılmıştır.

\*\* Ortalamalar arasındaki fark %99 güvenle önemlidir.

öd Ortalamalar arasındaki fark istatistiki önem düzeyinde değildir (Kökleri temizlenmeyen grupta klorofil b).



**Şekil 3.** Su kültüründe PEG ile yaratılan kuraklık stresine Alyans ve M28 domates çeşitlerinin tepkileri: Prolin içeriği (üstte), prolin içeriğinin stres uygulamasında kontrole kıyasla % değişimi (altta).

**Figure 3.** Responses of Alyans and M28 tomato cultivars to PEG-6000 induced drought stress in water culture: Proline content (above), % changes in proline content under stress conditions compared to the control (below).

Ayrıca fidelerin kökleri temizlenmeden viyol ile besin çözeltisinin üzerine alınması şeklinde denemeye başlanması, denemenin kurulması aşamasında hızlı ve pratik bir yöntem olarak görülmekle birlikte, deneme sonunda kök ağırlığının belirlenebilmesi için köklerin temizlenmesi gerektiğinden ölçüm ve analiz gününde iş yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır.

Kuraklık stresi yaprak sayısı, üst aksam ve kök uzunluğu ile yaş ve kuru ağırlığını azaltmıştır. PEG ile oluşturulan kuraklık stresine bağlı olarak bitki gelişim kaybı duyarlı olan Alyans çeşidinde toleran M28 çeşidine göre daha yüksek düzeyde olmuştur (Çizelge 2). Kuraklık stresinin bitki morfolojik özellikleri üzerine olumsuz etkisi önceki çalışmalarda da ortaya konmuştur (Süyüm, 2011; Shamim et al., 2014; Buhroy et al., 2017; Kusvuran & Dasgan, 2017; Aghaie et al., 2018; Esan et al., 2018; Wang et al., 2018; Caşka Kılıçaslan, 2019; Akgül, 2019; Kuşvuran vd., 2020).

Yaprak klorofil a ve b ile karotenoid içeriği ve yaprak oransal nem içeriği PEG ile oluşturulan kuraklık stresi altında, kontrole kıyasla, azalmıştır (Çizelge 3). Test edilen iki çeşitte de kuraklık uygulamasına bağlı olarak prolin içeriği artmıştır. Ancak Alyans çeşidinde stres altında kontrole kıyasla prolin içeriğindeki artışın M28 çeşidine kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 3). Bu sonuçlar önceki çalışmaları (Rahman et al., 2004; Zgallai et al., 2005; Süyüm, 2011; Kusvuran & Dasgan, 2017; Buhroy et al., 2017; Aghaie et al., 2018; Noori et al., 2018; Nahar & Ullah, 2018; Caşka Kılıçaslan, 2019; Akgül, 2019) destekler niteliktedir. Kuraklık stresi altında, bitkilerin klorofil pigment içeriğinin azalmasının (Ghorbanli et al., 2012; Kiran vd., 2015; Çelik et al., 2017, Mibei et al., 2017; Hamann et al., 2018; Noori et al., 2018; Bhusal et al., 2019; Aras & Keles, 2019; Akgül 2019; Kuşvuran vd., 2020) nedeni, stresle birlikte reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesi sonucu lipid peroksidasyonun meydana gelmesine bağlı olarak klorofil pigmentlerinin bozulmasıdır (Meher et al., 2018).

Prolin konsantrasyonu, araştırmalarda bitkilerin su stresine girdiğini göstermek için kullanılan bir parametredir ve kuraklık stresi ile birlikte önemli düzeyde artış göstermektedir (Zgallai et al., 2005; Hong-Bo et al., 2006; Mohammadkhani & Heidari, 2008; Ghorbanli et al., 2012; Bohalima, 2017; Buhroy et al., 2017; Çelik et al., 2017; Aghaie et al., 2018; Nahar & Ullah, 2018; Noori et al., 2018; Wang et al., 2018; Caşka Kılıçaslan, 2019; Akgül, 2019).

## SONUÇ

Fide aşaması ve sera denemeleri sonucunda kurağa toleransının daha yüksek ve daha düşük olduğu saptanmış olan iki çeşit ile yürütülen bu çalışmada, tohum çimlendirme testi çeşitlerin kurağa tolerans bakımından ayırt edilmesinde beklenen sonucu vermiştir. Kuraklık stresinin %4'lük PEG-6000 ile oluşturulduğu tohum çimlendirme testi, domates genetik kaynaklarının kuraklık stresine toleranlarının belirlenmesine yönelik tarama çalışmalarında kullanılabilir. Domates genotiplerinin fide aşamasında kuraklık stresine tepkisi konusunda yapılacak çalışmalarda, stresin PEG-6000 ( $\Psi_s = -1.0$  MPa) ile oluşturulduğu durgun su kültürü kullanılabilir. Su kültürüne alınmadan önce, fidelerin kökleri yetiştirme ortamından arındırılmalıdır.

Fazla sayıda genetik materyalin taranmasına tohum çimlendirme testi ile başlanması ve takiben su kültürü ile genç bitki aşamasındaki denemelere geçilmesi iş gücü ve masrafların yanı sıra deneme hatalarının azaltılmasını sağlayacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 117O126 numaralı proje çerçevesinde yürütülmüştür.



## KAYNAKLAR

- Azami, M.A., M. Torabi & E. Jalili, 2010. In vitro response of promising tomato genotypes for tolerance to osmotic stress. *African Journal of Biotechnology*, 9 (26): 4014-4017.
- Aghaie, P., S.A.H. Tafreshi, M.A. Ebrahimi & M. Haerinasab, 2018. Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. *Scientia Horticulturae*, 232: 1-12.
- Akgül, G., 2019. Biber Fidelerinde Kuraklık ve Tuz Stresinin Bitki Gelişimi, Besin Maddesi İçeriği, Bazı Biyokimyasal ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye, 62 s.
- Altunlu, H., 2011. Aşılamanın Domateste Kuraklık Stresi Üzerine Etkileri. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, (Basılmamış) Doktora Tezi, İzmir, Türkiye, 206 s.
- Aras, S. & H. Keles, 2019. Responses of apple plants to drought stress. *Journal of Agricultural Studies, Macrothink Institute*, 7 (3): 153-159.
- Basha, P.O., G. Sudarsanam, M.M. Sudhana Reddy & N.S. Sankar, 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.
- Bates, L.S., R.P. Waldren & I.D. Teare, 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bhusal, N., S.G. Han & T.M. Yoon, 2019. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 246: 535-543.
- Bohalima, A.A.O., 2017. Tuz ve Kuraklık Stresinin Domates Gelişimi Üzerine Etkileri. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu, Türkiye, 91 s.
- Buhroy, S., T. Arumugam, N. Manivannan, P. Irene Vethamoni & P. Jeyakumar, 2017. Correlation and path analysis of drought tolerance traits on fruit yield in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress condition. *Chemical Science Review and Letter*, 6 (23): 1670-1676.
- Carvalho, M., M. Matos, I. Castro, E. Monteiro, E. Rosa, T. Lino-Neto & V. Carmide, 2019. Screening of worldwide cowpea collection to drought tolerant at a germination stage. *Scientia Horticulturae*, 247: 107-115.
- Caşka Kılıçaslan, S., 2019. Kuraklık Stresinin Fasulyede Bitki Gelişimi ile Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye, 46 s.
- Conti, V., L. Mareri, C. Faleri, M. Nepi, M. Romi, G. Cai & C. Cantini, 2019. Drought stress affects the response of Italian local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties in a genotype-dependent manner. *Plants (Basel, Switzerland)*, 8 (9): 336.
- Çelik, Ö., A. Ayan & Ç. Atak, 2017. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. *Botanical Studies*, 58 (1): 32.
- Esan, V.I., T.A. Ayanbamiji, J.O. Adeyemo & S. Oluwafemi, 2018. Effect of drought on seed germination and early seedling of tomato genotypes using Polyethylene Glycol 6000. *International Journal of Sciences*, 7: 36-43.
- George, S., N. Minhas, S. Jatoi, S. Siddiqui & A. Ghafoor, 2015. Impact of polyethylene glycol on proline and membrane stability index for water stress regime in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Pakistan Journal of Botany*, 47 (3): 835-844.
- George, S., S.A. Jatoi & U. Siddiqui, 2013. Genotypic differences against peg simulated drought stress in tomato. *Pakistan Journal of Botany*, 45 (5): 1551-1556.
- Ghebremariam, K.M., Y. Liang, C. Li, Y. Li & L. Qin 2013. Screening of tomato inbred-lines for drought tolerance at germination and seedling stage. *Journal of Agricultural Science*, 5 (11): 93-101.
- Ghorbanli, M., M. Gafarabad, T. Amirkian & B.A. Mamaghani, 2012. 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.

- Guellim, A., M. Catterou, O. Chabrerie, T. Tetu, B. Hirel, F. Dubois & T. Kichey, 2019. Identification of phenotypic and physiological markers of salt stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) through Integrated Analyses. *Agronomy*, 9 (12): 844.
- Gül, A., 2019. *Topraksız Tarım. Meta Basım*, 146 s.
- Hamann, F.A., S. Czaja, M. Hunsche, G. Noga & A. Fiebig, 2018. Monitoring physiological and biochemical responses of two apple cultivars to water supply regimes with non-destructive fluorescence sensors. *Scientia Horticulturae*, 242: 51-61.
- Hong-Bo, S., C. Xiao-Yan, C. Li-Ye, Z. Xi-Ning, W. Gang, Y. Yong-Bing, Z. Chang-Xing & H. Zan-Min, 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 53 (1): 113-119.
- ISTA, 1993. *International Rules for Seed Testing. Rules for Seed Science and Technology*.
- Jokanović, M.B. & J. Zdravković, 2015. Germination of tomatoes under PEG-induced drought stress, *Ratarstvo i povrtarstvo*, 52 (3): 108-111.
- Kıran, S., Ş. Kuşvuran, F. Özkay & F.Ş. Ellialtıoğlu, 2015. Domates, patlıcan ve kavun genotiplerinin kuraklığa dayanım durumlarını belirlemeye yönelik olarak incelenen özellikler arasındaki ilişkiler. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2): 9-25.
- Kulkarni, M. & U. Deshpande, 2007. Gradient in vitro testing of tomato (*Solanum lycopersicon*) genotype by inducing water deficit: a new approach to screen germplasm for drought tolerance. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6 (6): 934-940.
- Kusvuran, S. & H.Y. Dasgan, 2017. Drought induced physiological and biochemical responses in *Solanum lycopersicum* genotypes differing to tolerance. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16 (6): 19-27.
- Kuşvuran, Ş., S.U. Kıran & Ö. Altuntaş, 2020. Farklı biber genotiplerinde kuraklığın morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8 (6): 1359-1368.
- Meher, Pabba, S., K. AshokReddy & D. Rao, 2018. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25 (1): 285-289.
- Mibe, E.K., J. Ambuko, J.J. Giovannoni, A.N. Onyango & W.O. Owino, 2017. Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. *Food Science & Nutrition*, 5 (1): 113-122.
- Michel, B.E. & M.R. Kaufmann, 1973. The osmotic pressure of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51 (5): 914-916.
- Mohammadkhani, N. & R. Heidari, 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (1): 92-97.
- Nahar, K. & S.M. Ullah, 2018. Drought stress effects on plant water relations, growth, fruit quality and osmotic adjustment of tomato (*Solanum lycopersicum*) under subtropical condition. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 1 (2): 1-14.
- Noori, M., A.M. Azar, M. Saidi, J. Panahandeh & D.Z. Haghi, 2018. Evaluation of water deficiency impacts on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation in some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lines. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52 (3): 228-235.
- Osmolovskaya N., J. Shumilina, A. Kim, A. Didio., T. Grishina, T. Bilova, O.A. Keltsieva, V. Zhukov, I. Tikhonovich, E. Tarakhovskaya, A. Frolov & L.A. Wessjohann, 2018. Methodology of drought stress research: experimental setup and physiological characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (4089): 2-25.
- Öztürk, N.S., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (5): 307-315.
- Rahman, S.M.L., W.A. Mackay, B. Quebedeaux, E. Nawata, T. Sakuratani, A.S.M.M. Udin & B. Quebedeaux, 2004. Superoxide dismutase and stress tolerance of four tomato cultivars. *HortScience*, 39 (5): 983-986.
- Sahin, U., Y. Kuslu, F.M. Kiziloglu & T. Cakmakci, 2016. Growth, yield, water use and crop quality responses of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region of high altitude. *Journal of Applied Horticulture*, 18 (3): 195-202.

- Shamim, F., K. Khan & S. Khalid, 2016. Comparison among Twelve exotic accessions of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for root and shoot development under Polyethylene Glycol induced water stress. Pakistan Journal of Phytopathology, 28 (2): 161-171.
- Shamim, F., S.M.S. Naqvi, H.R. Athar & A. Waheed, 2014. Screening and selection of tomato genotypes/cultivars for drought tolerance using multivariate analysis. Pakistan Journal of Botany, 46 (4): 1165-1178.
- Strain, H.H. & W.A. Svec, 1966. "Extraction, Separation, Estimation and Isolation of Chlorophylls, 21-66". In: The Chlorophylls (Eds. L.P. Vernon & G.R. Seely). Academic Press N.Y., 679 pp.
- Süyüm, K. 2011. Karpuz genetik kaynaklarının tuzluluk ve kuraklığa tolerans seviyelerinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 145 s.
- TÜİK, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri. (Web sayfası: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>) (Erişim tarihi: 18 Şubat 2022).
- Wang, C., L. Zhou, G. Zhang, Y. Xu, X. Gao, N. Jiang, L. Zhang & M. Shao, 2018. Effects of drought stress simulated by polyethylene glycol on seed germination, root and seedling growth, and seedling antioxidant characteristics in Job's Tears. Agricultural Sciences, 9 (8): 991-1006.
- Wang, D.C., C.H. Jiang, L.N. Zhang, L. Chen, X.Y. Zhang & J.H. Guo, 2019. Biofilms positively contribute to *Bacillus amyloliquefaciens* 54-induced drought tolerance in tomato plants. International Journal of Molecular Sciences, 20 (24): 6271.
- Yamasaki, S. & L.R. Dillenburg, 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 11 (2): 69-75.
- Zgallai, H., K. Steppe & R. Lemeur, 2005. Photosynthetic, physiological and biochemical responses of tomato plants to polyethylene glycol-induced water deficit. Journal of Integrative Pplant Biology, 47 (12): 1470-1478.