



Tuzluluk Stresinin Topraksız Kültürde Yetiştirilen Domates Bitkisinde Bazı Gelişme ve Fizyolojik Parametreleri ile Makro Bitki Besin Elementi Kapsamına Etkileri

Effects of Salinity Stress on Some Growth and Physiological Parameters and Macronutrient Content of Tomato Plants Grown in Soilless Culture

Güney Akınoğlu¹, Ahmet Korkmaz², Salih Demirkaya³,
Songül Rakıcioğlu⁴, Zerrin Civelek⁵

Geliş Tarihi (Received): 31.05.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 19.08.2024

Yayın Tarihi (Published): 24.12.2024

Öz: Domates (*Lycopersicon esculentum* L.) yaygın bir şekilde yetiştirilen sebze ürünlerinden biri olup, büyüme ve gelişme dönemi boyunca tuzluluğa orta derecede duyarlı bir bitkidir. Bu çalışmada, topraksız kültürde farklı tuz seviyelerinde yetiştirilen domates bitkisinde gelişmenin, makrobesin kapsamının ve fotosentetik pigmentlerin değişimi incelenmiştir. Denemede 2:1 torf: perlit (v/v) karışımından her saksı için 1500 gram alınıp 3 litrelik saksılara konulmuştur. Her saksıya bir domates fidesi dikilmiştir. Denemede besin solüsyonuna sodyum klorür (NaCl) artan konsantrasyonlarda [0 (T₀), 14.4 mM (T₁), 44.4 mM (T₂) ve 70.4 mM (T₃)] ilave edilmiştir. Besin çözeltisinde artan NaCl konsantrasyonu yaprak sayısını ve kök kuru ağırlığını önemli derecede azaltmıştır. Fakat bitki boyuna, gövde çapına, gövde ve yaprak kuru ağırlığına NaCl ilavesinin etkisi önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte, besin çözeltisindeki NaCl konsantrasyonundaki artışın, domates bitkisi yaprağında fotosentetik pigmentler üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur. Besin çözeltisine T₂ düzeyinde NaCl ilavesi kontrole (T₀) göre yaprakta klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid kapsamını önemli derecede arttırmıştır. Besin çözeltisinde NaCl konsantrasyonu arttıkça yaprakta N ve P kapsamı artış gösterirken; K, Ca, Mg ve S kapsamı azalma göstermiştir. Ayrıca besin çözeltine NaCl ilavesi hasat sonu yaprak analizlerine göre yaprakta N, P, K, Ca, Mg ve S noksanlıklarına sebebiyet vermemiştir. Domates bitkilerinin tuzluluk stresine karşı adaptasyonunu arttırmak amacıyla, besin çözeltilerinde kontrollü NaCl uygulamaları ve etkin makro besin yönetimi stratejileri geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Domates, topraksız kültür, tuz stresi, makro besin elementi, fotosentetik pigmentler

&

Abstract: The tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) is one of the most commonly grown vegetable crops and is moderately sensitive to salinity during the growth and development period. This study investigated the changes in growth, macronutrients and photosynthetic pigments in tomato plants grown in soilless culture under different salinity levels. One thousand five hundred grammes (1500 g) of substrate (2:1 peat: perlite (v/v) mixture) was added to each 3-litre pot. A tomato seedling (Kardelen F1 variety) was planted in each pot. In the experiment, sodium chloride (NaCl) was added to the nutrient solution at increasing concentrations [0 (T₀), 14.4 mM (T₁), 44.4 mM (T₂) and 70.4 mM (T₃)]. Increasing the NaCl concentration in the nutrient solution significantly reduced the number of leaves and the dry weight of the roots. However, the effect of NaCl addition on plant height, stem diameter, stem and leaf dry weight was found to be insignificant. Conversely, it was observed that an increase in the NaCl concentration in the nutrient solution had a significant effect on the content of photosynthetic pigments in the leaves of the tomato plants. The addition of NaCl to the nutrient solution at T₂ level significantly increased the chlorophyll-b, total chlorophyll and carotenoid content in the leaf compared to the control (T₀). With increasing NaCl concentration in the nutrient solution, N and P in the leaf increased, while K, Ca, Mg and S decreased. Furthermore, post-harvest leaf analysis revealed that the addition of NaCl to the nutrient solution did not result in deficiencies of N, P, K, Ca, Mg, and S in the leaves. In order to increase the adaptation of tomato plants to salinity stress, controlled NaCl applications in nutrient solutions and effective macronutrient management strategies should be developed.

Keywords: Tomato, soilless culture, salt stress, macronutrients, photosynthetic pigments

Atıf/Cite as: Akınoğlu, G., Korkmaz, A., Demirkaya, S., Rakıcioğlu, S. & Civelek, Z. (2024). Tuzluluk stresinin topraksız kültürde yetiştirilen domates bitkisinde bazı gelişme ve fizyolojik parametreleri ile makro bitki besin elementi kapsamına etkileri. International Journal of Agriculture and Wildlife Science, 10(3), 467-478. doi: 10.24180/ijaws.1491950

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹ Arş. Gör. Dr. Güney Akınoğlu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, e-mail: guney_akinoglu@ymail.com (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

² Prof. Dr. Ahmet Korkmaz, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, e-mail: akorkmaz5155@gmail.com

³ Arş. Gör. Dr. Salih Demirkaya, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, e-mail: salih.demirkaya@omu.edu.tr

⁴ Dr. Songül Rakıcioğlu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, e-mail: rakicioglusongul@gmail.com

⁵ Doktora Öğrencisi Zerrin Civelek, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, e-mail: zrrncvkl@outlook.com

GİRİŞ

Tuzluluk, halihazırda sulanan alanların üçte birinden fazlasını etkilemekte ve 2050 yılına kadar dünyadaki ekili alanların yarısından fazlasının tuzlanması beklenmektedir (FAO, 2011; Zhao vd., 2020). Toprak tuzlanması arazi kullanımını ciddi şekilde sınırlandırmakta ve ürün verimini önemli ölçüde etkilemektedir (van Zelm vd., 2020).

Bitki kök bölgesindeki yüksek tuz konsantrasyonu, ozmotik stres, iyon (Na^+) toksisitesi, hormonal ve besinsel dengesizlik, oksidatif stres ve hücre içi potasyum (K^+) homeostazının bozulması gibi bir dizi zararlı etki yaratır (Liang vd., 2018). Tuz stresi, reaktif oksijen türleri birikimine neden olur (Achard vd., 2008; Miller vd., 2010), bu da ikincil olarak indüklenen oksidatif hasarın redoks homeostazisini engelleyerek fotosentetik etkinliğin azalmasına (Miller vd., 2010; Xie vd., 2011; Khan vd., 2014) neden olmakla birlikte nitrojen ve osmolit metabolizmasını (Ahanger ve Agarwal, 2017; Ahanger vd., 2020), mineral asimilasyonunu, fitohormon profilini ve genlerin ifadesini de değiştirir (Fallah vd., 2017; Ma vd., 2018). Ayrıca, tuz stresinin kök anatomisini ve kök morfolojik parametrelerini etkilediği de rapor edilmiştir (Rivero vd., 2014; Robin vd., 2016).

Tuzluluk stresine yanıt olarak morfolojik görünümde meydana gelen değişiklikler, etkiyi belirleme ve ardından yönetim stratejilerini geliştirmek için yeterli değildir (Loudari vd., 2020). Bu nedenle, bitkilerin tuzluluk toleransını iyileştirmek için temel fizyolojik ve biyokimyasal faktörleri belirlemek önemlidir (Munns ve Tester, 2008; Ahanger ve Agarwal, 2017; Ahanger vd., 2020).

Tuzluluğun olumsuz etkilerini önlemek için bitkilerde antioksidan sistem, ozmotik düzenleme, kök ve vakuol seviyesinde etkili tuz uzaklaştırması gibi mevcut mekanizmalar bulunmaktadır (Horie vd., 2012; Deinlein vd., 2014; Ahanger vd., 2020). Bununla birlikte, bitkilerin dokularındaki yüksek tuz seviyelerini tolere etme ve biriktirme kapasitelerinin farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle, deneysel koşullara ve araştırmada seçilen bitki türüne bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir (Loudari vd., 2020).

Tuzluluğun bitki dokularındaki fosfor (P) gibi besin maddelerinin konsantrasyonlarını değiştirdiğini gösteren çalışmaların çoğu toprakta gerçekleştirilmiştir (Loudari vd., 2020). Öte yandan, topraksız yetiştiricilikte de tuz uygulamalarının domatesin bazı kalite özelliklerini arttırması sebebiyle bu çalışmada domatesin tuz stresine vereceği cevabı, toleransını görmek gerekmektedir. Özellikle seracılığın yaygın olduğu ülkelerde topraksız tarım oldukça popülerdir ve bunun birçok nedeni vardır. Bunlar arasında ilk sırada, yetiştiricilikte toprağa bağımlılığı ortadan kaldırması gelmektedir. Topraksız tarım teknikleri, kök ortamı olarak yalnızca besin çözeltisine sahip su kültürü sistemlerinde yapılan yetiştiriciliğin yanı sıra, bitki büyümesi için uygun oranlarda hem havayı hem de suyu tutabilen bir matris oluşturan gözenekli bir yetiştirme ortamında yapılan yetiştiriciliği de ifade etmektedir (Akınoğlu vd., 2021). Topraksız tarımın verimli olabilmesi için besin solüsyonlarının tuz içeriği dikkatle izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Doğru tuz seviyesinin korunması, bitki köklerinin optimum beslenmesini sağlayarak sağlıklı bitki gelişimini destekler.

Tuzluluk ile bitkilerin beslenmesi arasındaki etkileşim büyük ölçüde bitki türü ve gelişim yaşına, tuzluluğun bileşimi ve düzeyine, substrattaki makro ve mikro elementlerin konsantrasyonuna bağlıdır (Loupassaki vd., 2002; Shahriaripour vd., 2011). Tuz stresi koşulları altında Na^+ gibi bazı iyonların yüksek konsantrasyonu nedeniyle, temel besin maddelerinin bitkiler tarafından absorpsiyonu azalır (Flowers ve Flowers, 2005). Saneoka vd. (2001), tuzun bitki kök ve sapındaki K^+ ve Ca^{+2} akümülesyonunu engellediğini, K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının yapraklara taşınımı üzerine sodyum klorürün olumsuz etkisinin bir sonucu olarak bu elementlerin noksanlığına sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir. Öte yandan, domates yapraklarındaki K, Ca ve Mg içeriğinin tuz stresi altında arttığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (Costan vd., 2020; Javeed vd., 2021).

En önemli sebze ürünlerinden biri olan domates (*Lycopersicon esculentum* L.) dünya çapında yetiştirilmektedir (Guo vd., 2022). Meyveleri gıda olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve aynı zamanda meyve gelişimi, genetik ve stres toleransı araştırmaları için model bir bitkidir (Rothan vd., 2019).

Bu çalışmada, topraksız kültürde farklı tuz seviyelerinde yetiştirilen domates bitkisinde gelişmenin, makro-besin kapsamının ve fotosentetik pigmentlerin değişimi incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Denemede sırik domates çeşidi (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Kardelen F1) fideleri her saksıya bir bitki gelecek şekilde dikilmiştir. Domates fideleri Antalya'da fide üretimi yapan firma tarafından tedarik edilmiştir. Deneyde, yetiştirme ortamı için torf ve perlit 2:1 (v/v) oranında karıştırılmıştır. Turba yosunu (Klasmann) Sphagnum cinsine ait, su tutma kapasitesi yüksek, pH değeri 5.5 ile 6.0 arasında olan bir yosundur. Genleşmiş mineral perlit, nötr pH'ya ve yüksek havalandırma kapasitesine sahip, inert, tuz içermeyen bir substrattır. 3 L kapasiteli, 16.5 cm çapında ve 19.0 cm derinliğindeki her bir saksıya bin beş yüz gram (1500 g) substrat konuldu. Drenaj için saksıların dibine delikler açılmıştır.

Deneme, besin çözeltisine NaCl artan dozlarda, $T_0 = 0$, $T_1=14.1$ mM, $T_2= 44.4$ mM ve $T_3= 70.4$ mM, üç tekerrürlü olarak uygulanmıştır. Besin çözeltisine ilave edilen tuzun dozları Korkmaz vd. (2018)'ne göre belirlenmiştir.

Domates bitkisine (Kardelen F1 çeşidi) Alpaslan vd. (1998) tarafından önerilen besin çözeltisi formülü uygulanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Besin çözeltisinin kimyasal bileşimi (Alpaslan vd., 1998).

Table 1. Chemical composition of the nutrient solution (Alpaslan et al., 1998).

Makro besinler (mM)							Mikro besinler (μ M)					
NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ ²⁻ -S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
12.0	0.5	1.25	5.25	2.75	1.125	0.125	40	5	0.75	4	30	0.5

Farklı deneme konularını içeren besin çözeltisi uygulamaları dikimle beraber başlatılmış, her saksıya yaklaşık 30 gün her gün 150 mL besin çözeltisi uygulanmıştır. Çiçeklenmeden veya meyve tutumu başlangıcından sonra ise bitki başına her saksıya günde 300 mL besin çözeltisi uygulanmıştır. Deneme süresince saksılardaki drenaj kontrol edilerek saksıların nem içeriği tarla kapasitesi civarında tutulmuştur. İlk dönemlerde saksılar sürekli tartılarak kaybolan su miktarı tarla kapasitesindeki ağırlığa kadar ilave edilmiştir. Denemenin başlangıcından itibaren meyve oluşumuna kadar geçen süre boyunca günlük ortalama kaybolan su miktarı belirlenmiştir. Bu günlük kaybolan su miktarı bitkinin meyveli dönemlerinde tartım işlemi yapılmaksızın ilave edilmiştir. Deneme 90 gün sürmüştür.

Domates Bitkilerinde Yapılan Ölçüm, Gözlem ve Analizler

Yaprak Sayısı, Bitki Boyu (cm) ve Gövde Çapı (mm)

Hasattan hemen önce, gözlem bitkisinde yaprak sayıları tespit edilmiş, bitki boyu ölçümleri yapılmıştır. Bitkilerde kök boğazı ile büyüme ucu arasındaki mesafe şerit metre ile bitki boyu olarak ölçülmüştür. Substrat yüzeyinin 5 cm yukarisından 0.01 mm'ye duyarlı dijital kumpas ile gövde çapı ölçümleri yapılmıştır.

Kök, Gövde ve Yaprak Vejetatif Kuru Ağırlıkları (g)

Hasat dönemine ulaşmış domates bitkisi, bıçak ile kök boğazı kısmından kesilerek ayrılmıştır. Domates bitkisinin topraküstü aksamalarına (gövde+yaprak) ek olarak, kökleri de substrat ortamından temizlenerek çıkartılmıştır. Bitkilerin kökleri, musluk suyu altında, kayıp olmayacak şekilde yıkanarak temizlenmiş ve daha sonra bu köklerin kurutma kağıdı ile nemi alınmış ve oda koşullarında 15 dakika süreyle bekletilmiştir. Son olarak kısımlarına ayrılmış domates bitkileri, kese kâğıtlarına koyulmuş ve 65-80 °C'ye ayarlı etüvde (Nüve, ES-500, Türkiye) sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra 0.001 g'a

duyarlı dijital hassas terazide (Precisa, XB-620M, Switzerland) tartılarak, kök, gövde ve yaprak vejetatif kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

Bitkinin Taze Yaprağında Klorofil ve Karotenoid Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid konsantrasyonunu belirlemek amacıyla domates bitkisinin tam gelişmiş, sağlıklı yapraklarından hasattan 1 hafta önce taze yaprak örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde klorofil ve karotenoid analizi aşağıdaki yönteme göre yapılmış ve hesaplanmıştır.

0.2 g taze yaprak örneği hassas bir terazide tartılarak, porselen bir havana alınmıştır. Üzerine 0.1 g magnezyum oksit ve 0.25 g ince kum ilave edilmiştir. Daha sonra karışım, doğrudan güneş ışığı gelmeyen loş bir yerde, soğuk ortam eşliğinde %80'lik (v/v) aseton içerisinde homojenize edilip, filtre edildikten sonra ekstrakt aseton ile 25 mL'ye tamamlanmıştır. Bu şekilde elde edilecek ekstrakt örneklerinin UV-Visible spektrofotometre (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) cihazında 645, 663 ve 480 nanometre dalga boylarında absorbansları ölçülmüştür. Taze yapraklarda klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları aşağıdaki formüllerde belirtildiği şekilde hesaplanmış ve analiz sonuçları bitkide mg g⁻¹ taze madde (TM) olarak ifade edilmiştir (Arnon, 1949; Witham vd., 1971).

$$\text{Klorofil a, mg x g}^{-1} \text{ TM} = [(12.70 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V \times (1000 \times w)^{-1} \quad (1)$$

$$\text{Klorofil b, mg x g}^{-1} \text{ TM} = [(22.90 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})] \times V \times (1000 \times w)^{-1} \quad (2)$$

$$\text{Toplam klorofil, mg x g}^{-1} \text{ TM} = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times V \times (1000 \times w)^{-1} \quad (3)$$

$$\text{Karotenoid, mg x g}^{-1} \text{ TM} = (A_{480} \times V) \times (250 \times w)^{-1} \quad (4)$$

A_{663} = 663 nm'deki absorbans okuma değeri

A_{645} = 645 nm'deki absorbans okuma değeri

V = Son hacim, mL

w = Örnek miktarı, g TM

Kuru Yaprakta Makro Element (N, P, K, Ca, Mg, SO₄²⁻-S) Tayinleri

Kurutulmuş ve öğütülmüş domates bitkisinin yaprak numuneleri hacimce (% v/v) 4:1'lik nitrik : perklorik asit karışımı içerisinde ve hot plate üzerinde yaklaşık bir saat 200 °C'de yakılma işlemine maruz bırakılmıştır. Yakma işleminin ardından örneklerin son hacmi 100 mL olacak şekilde saf su ile tamamlanmıştır. Böylece elde edilen bitki ekstraktlarındaki toplam potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum ve kükürt tayinleri, Kacar ve İnal (2008)'e göre belirlenmiştir. Kurutulmuş ve öğütülmüş domates bitkisinin yaprak numunelerinde toplam azot (N) kapsamı ise modifiye Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle tayin edilmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982).

İstatistiksel Analizler

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre her uygulamada 3 tekerrür olacak şekilde kurulmuştur. Verilerin varyans analizi ile incelenmesinde, SPSS 17.0 paket programından yararlanılarak Fisher LSD çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır ve farklılık dereceleri, % 5 düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Morfolojik Gelişme Üzerine Etkisi

Katı ortama uygulanan besin çözeltisinde artan NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisinde morfolojik gelişme üzerine etkileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Besin çözeltisindeki artan tuz konsantrasyonunun bitkide yaprak sayısı ve kök kuru ağırlığı üzerine etkileri sırasıyla p < 0.01 ve p < 0.05 seviyesinde önemli bulunmuş; fakat bitki boyu ve gövde çapı ile gövde ve

yaprak kuru ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2). Besin çözeltisine NaCl ilavesi bitkide yaprak sayısını ve kök kuru ağırlığını önemli derecede azaltmıştır. Fakat dozlara göre bu azalmaların trendi dalgalı bir değişim göstermiştir (Çizelge 2). Tuzluluğun bitki morfolojisi üzerindeki etkileriyle ilgili olarak, gelişimin tüm aşamalarında bitki boyunu, kök/sürgün oranını, yaprak alanını, dal sayısını veya bitki başına yaprak/çiçek sayısını etkileyen değişiklikler ortaya çıkabilir (Roşca vd., 2023). Domates bitkileri üzerindeki tuzluluk etkilerine odaklanan çalışmalar, bitki morfolojisindeki değişikliklerin yoğunluğunun yetiştirme ortamındaki tuz seviyesine bağlı olduğunu göstermiştir. Birçok çalışma, yetiştirme ortamındaki tuz değişiminin taze biyokütle, bitki boyu, kök/sürgün oranı, yaprak alanı, dal sayısı ve bitki başına yaprak/çiçek sayısında negatif veya pozitif değişikliklere neden olduğunu göstermiştir. Ek olarak, her çeşit/hibrit tuz stresine farklı tepki verir (Roşca vd., 2023). Yapılan araştırmalar, tuzluluk konsantrasyonu arttıkça yaprak alanı, yaprak sayısı ve yaprak uzunluğu üzerindeki zararlı etkilerin arttığını göstermiştir (Hossain vd., 2012; Abdelaziz ve Abdeldaym, 2019; Maeda vd., 2020). Diğer yandan, Prazeres vd. (2013) sulama suyundaki NaCl konsantrasyonunun 3.22 dS m⁻¹ seviyelerine kadar artırılmasının, Roma domates çeşidinin yapraklarının taze ağırlığında bir artışa (bitki başına 84.7 g) yol açtığını; ancak daha yüksek NaCl konsantrasyonunda ise yaprak ağırlığının düşüşe geçtiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, Rio Grande domates çeşidinde ise 1.75 dS m⁻¹ seviyesinin üzerindeki sulama suyunun bitkinin kök, sürgün ve yaprak taze ağırlığı, yaprak alanı, gövde başına boğum sayısı, birincil kök ve gövde uzunluğu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu aynı araştırmacı tarafından rapor edilmiştir.

Çizelge 2. NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisinde morfolojik gelişme üzerine etkisi.

Table 2. Effect of NaCl concentrations on the morphological development of tomato plants.

NaCl (mM)	Bitki boyu (cm)	Bitki gövde çapı (mm)	Bitkide yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹)	Kök kuru ağırlığı (g bitki ⁻¹)	Gövde kuru ağırlığı (g bitki ⁻¹)	Yaprak kuru ağırlığı (g bitki ⁻¹)
T ₀ (Kontrol)	165.66	15.48	18.33 a	6.6 a	32.1	42.6
T ₁	175.00	15.61	14.66 b	6.1 b	34.7	43.2
T ₂	169.33	14.92	16.33 b	6.1 b	31.4	43.2
T ₃	164.33	14.29	16.33 b	6.2 b	28.9	44.0
LSD _{0.05}	-	-	1.71	0.33	-	-
Önemlilik seviyesi	ns	ns	**	*	ns	ns

Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; ns; Anlamlı değil; *,%5 düzeyinde anlamlı, **;%1 düzeyinde anlamlı. T₀ = 0, T₁=14.1 mM, T₂= 44.4 mM ve T₃= 70.4 mM NaCl.

Birçok çalışma, tuz konsantrasyonu ile fotosentez arasında güçlü bir negatif korelasyon olduğunu göstermiştir (Chartzoulakis vd., 2002; Lovelli vd., 2012; Paranychianakis ve Chartzoulakis, 2005). Tuzluluk, fotosentezi etkileyen ilk süreçtir. Tuz stresi, yaprak su potansiyelinde azalmaya ve stomatal direnç ile birlikte gaz akışına karşı mezofil direncin artmasına neden olur, bu da sonrasında fotosentetik aktivitenin kısıtlanmasına yol açar (Bethke ve Drew, 1992; Flexas vd., 2004). Tuz stresi altında stoma iletkenliğinin ve fotosentezin azalması, yaprak gelişimi ve kuru madde üretimini azaltır (Rivelli vd., 2002). Düşük tuz konsantrasyonları halofitik olmayan bitkilerde büyüme geriliğine neden olabilirken, yüksek konsantrasyonlar bitkinin ölümüyle bile sonuçlanabilmektedir (Short ve Colmer, 1999; Suwa vd., 2006; Chen vd., 2009). Tuzluluğa verilen tepki, bitkinin türüne, büyüme aşamasına ve tuzluluk seviyesine göre değişmektedir (Alzahib vd., 2021). Örneğin, buğday, çeltik ve mısır gibi tahıl ürünlerinde bitki biyokütlesinin 100 ila 150 mM NaCl seviyelerinde azalma gösterdiği; ayçiçeği ve domates bitkilerinde ise 50 mM NaCl seviyelerinde biyoküttelede azalma gösterdiği bildirilmiştir (Alzahib vd., 2021). Ancak, 200-300

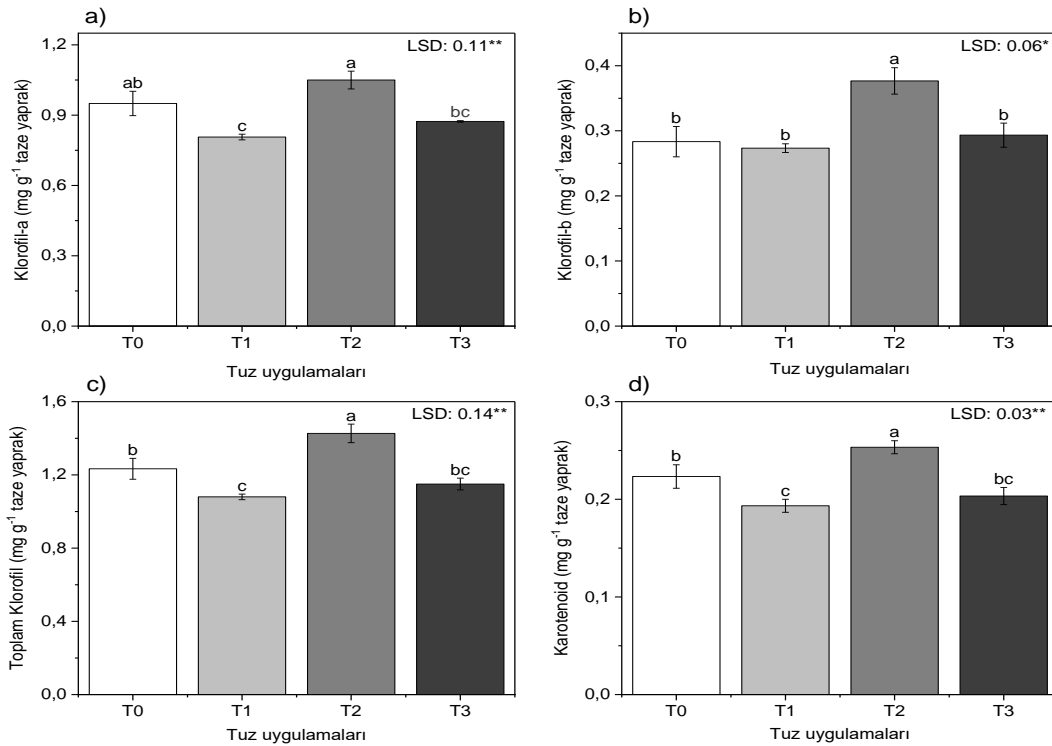
mM tuz (NaCl) seviyelerinde tüm bitkilerin gelişimlerinin olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir (Soltabayeva vd., 2021).

Fotosentetik Pigmentler Üzerine Etkisi

Katı ortama uygulanan besin çözeltisinde artan NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisi yapraklarında fotosentetik pigmentler üzerine etkileri Şekil 1'de verilmiştir.

Besin çözeltisindeki NaCl konsantrasyonunun artışı, domates bitkisi yaprağında klorofil-a, toplam klorofil ve karotenoid kapsamına etkisi $p < 0.01$ düzeyinde, klorofil-b kapsamına etkisi de $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 1a-d).

Besin çözeltisindeki tuz konsantrasyonu klorofil-a kapsamını kontrole göre T_1 tuz seviyesinde önemli derecede azalttığı halde; T_2 ve T_3 tuz konsantrasyonlarında etkilememiştir (Şekil 1a). Tuz konsantrasyonu, yaprakta klorofil-b kapsamını kontrole göre T_1 ve T_3 seviyelerinde etkilememiş; fakat T_2 tuz konsantrasyonunda klorofil-b kapsamında önemli derecede artış görülmüştür (Şekil 1b).



Şekil 1. NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisi yapraklarında fotosentetik pigmentler üzerine etkisi.

(Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; *, %5, **, %1 düzeyinde anlamlı farkı ifade eder. $T_0 = 0$, $T_1 = 14.1$ mM, $T_2 = 44.4$ mM ve $T_3 = 70.4$ mM NaCl).

Figure 1. Effect of NaCl concentration on photosynthetic pigments in tomato plant leaves.

(There is no significant difference at the 0.05 level between the mean values shown with the same letters; *, indicates a significant difference at the 5% level, **, indicates a significant difference at the 1% level. $T_0 = 0$, $T_1 = 14.1$ mM, $T_2 = 44.4$ mM ve $T_3 = 70.4$ mM NaCl).

Toplam klorofil kapsamı kontrole göre T_1 tuz düzeyinde azalma göstermiş; buna karşın, T_2 tuz düzeyinde artmıştır. Bununla birlikte, T_3 tuz seviyesinde toplam klorofil kapsamı kontrole ve T_1 tuz konsantrasyonuna göre etkilenmemiştir (Şekil 1c). Yaprakta karotenoid kapsamı kontrole göre T_1 tuz içeren besin çözeltisi uygulamasıyla azalma göstermiş; buna karşın, T_2 tuz içeren besin çözeltisi uygulamasıyla artış göstermiştir. Fakat dozlara göre bu artışların trendi dalgalı bir değişim göstermiştir. Bu durum bitki örnekleme ve yapılan analiz hatalarından kaynaklanmış olabilir. T_3 tuz içeren besin çözeltisi uygulamasının yaprakta karotenoid kapsamına etkisi kontrole göre önemsiz bulunmuştur (Şekil 1d).

Yaprak klorofil içeriği fotosentetik kapasitenin önemli bir göstergesidir (Houborg vd., 2015; Cannella vd., 2016). Bununla birlikte, karotenoidler ise karotenler ve ksantofillerden oluşur ve bir diğer önemli fotosentetik pigment grubunu temsil eder (Shah vd., 2017). Domates bitkisinin yapraklarındaki klorofil sentezi, yüksek tuz seviyelerine maruz kalmaktan olumsuz etkilenebilir (Giannakoula ve Ilias, 2013; Taheri vd., 2020). Bu, kloroplast aktivitesinin ve fotosentezin azalmasına, klorofilaz enzim aktivitesinin ve solunumun artmasına ve ardından klorofil içeriğinin azalmasına neden olan metabolik bozukluklardan kaynaklanabilir (Taheri vd., 2020). Singh vd. (2016), topraksız yetiştiricilikte NaCl düzeyinin 0'dan 0.5 g kg⁻¹'a çıktığında "Lakshmi" domates çeşidinin yapraklarındaki klorofil içeriğinin 0.996 mg g⁻¹'den 0.751 mg g⁻¹'a düştüğünü bildirmişler ve aynı eğilimi, içeriği kontrole göre %27.73 oranında azalan klorofil b sentezinde de gözlemlenmişlerdir. Başka bir çalışmada, tuz stresi altında (120 mM NaCl) hidroponik sistemde yetiştirilen Super Chef domates çeşidinde toplam klorofil içeriği kontrole (0 mM NaCl) kıyasla %40.93 oranında azalmıştır (Taheri vd., 2020). Diğer yandan, önceki çalışmalar, tuzluluk stresinin tuza toleranslı bitkilerde yaprak alanı başına toplam klorofil içeriğini arttırdığını (Higbie vd., 2010) ve tuz stresi altında toplam klorofil kapsamındaki artışın bitkilerde tuz toleransının biyokimyasal bir göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Stefanov vd., 2016; Jiang vd., 2017). Orta derecede tuz stresinin, fotosentetik sistemin düzgün işleyişini sürdürmek için toplam klorofil ve karotenoid biyosentezini arttırabildiği bildirilmiştir (Shah vd., 2017).

Makro Besin Kapsamı Üzerine Etkisi

Katı ortama uygulanan besin çözeltisinde artan NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisinin yaprağında makro besin element kapsamı üzerine etkileri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. NaCl konsantrasyonlarının domates bitkisi yaprağında makro element kapsamı üzerine etkisi.

Table 3. Effect of NaCl concentration on the content of macroelements in tomato leaves.

NaCl (mM)	N, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %	S, %
T ₀ (Kontrol)	3.47 d	0.24 bc	2.65 a	1.70 a	0.85 a	0.57 a
T ₁	3.55 c	0.23 c	2.61 a	1.60 b	0.76 b	0.49 b
T ₂	3.61 b	0.25 ab	2.27 b	1.37 c	0.60 c	0.38 c
T ₃	3.94 a	0.27 a	2.22 c	1.11 d	0.49 d	0.33 d
LSD _{0.05}	0.05	0.01	0.04	0.03	0.04	0.03
Önemlilik seviyesi	**	*	**	**	**	**

Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; *,%5 düzeyinde anlamlı, **,%1 düzeyinde anlamlı. T₀ = 0, T₁=14.1 mM, T₂= 44.4 mM ve T₃= 70.4 mM NaCl.

Besin çözeltisindeki artan tuz konsantrasyonunun yaprakta toplam N, K, Ca, Mg ve S kapsamına etkisi p < 0.01 seviyelerinde önemli iken; P kapsamına etkisi p < 0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

Artan tuz konsantrasyonu kontrole göre yaprakta N kapsamını önemli derecede arttırmıştır. Kontrole göre T₁ ve T₂ tuz konsantrasyonlarında yaprakta P kapsamı önemli derecede etkilenmemiş; fakat T₃ konsantrasyonunda tuz uygulaması yaprakta P kapsamını önemli derecede arttırmıştır. Na⁺ iyonunu yüksek miktarda içeren ortamlarda fosforun çözünürlüğü artacağından bitkideki konsantrasyonunun yükselmesine sebep olmuş olabilir. Besin çözeltisinde NaCl konsantrasyonu arttıkça yaprakta K, Ca, Mg

ve S kapsamı azalma göstermiş; fakat K besinindeki azalma T₁ tuz konsantrasyonunda önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3). Yüksek tuz konsantrasyonunun K, Ca, Mg kapsamını azaltmadaki sebebi Na ile K, Ca ve Mg arasındaki antagonistik etkileşimdir. Aynı şekilde, yüksek tuz konsantrasyonunun yaprakta kükürt kapsamını azaltmadaki sebebi Cl⁻ ve SO₄²⁻ arasındaki antagonistik etkileşimdir. Topraksız ortamda yetiştirilen domates bitkisinin temel mineral alımı tuzluluk stresinden önemli ölçüde etkilenir (Sánchez vd., 2012; Nebauer vd., 2013). Bitki yetiştirme ortamındaki yüksek tuz seviyeleri Ca, K ve bazen de Mg iyonlarının daha az alınmasına neden olabilir (Sánchez vd., 2012; Nebauer vd., 2013; Assimakopoulou vd., 2015; Parvin vd., 2016). Öte yandan, mevcut çalışmada hasat zamanı alınan domates bitkisi yaprak örneklerinde azotun yüksek, fosforun yeterli, potasyumun yeterli ve yüksek, kalsiyumun yeterli, magnezyumun yeterli ve yüksek, kükürdün yeterli seviyelerde oldukları tespit edilmiştir (Hochmuth vd., 2012). Diğer bir ifadeyle, yetiştirilen domates bitkilerinin artan tuz konsantrasyonunda besin çözeltisi ile beslenmelerine rağmen yapraklarında makro-element noksanlığı tespit edilmemiştir.

SONUÇ

Besin çözeltisinde artan NaCl konsantrasyonu yaprak sayısını ve kök kuru ağırlığını önemli derecede azaltmıştır. Fakat bitki boyuna, gövde çapına, gövde ve yaprak kuru ağırlığına NaCl ilavesinin etkisi önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte, besin çözeltisindeki NaCl konsantrasyonundaki artışın, domates bitkisi yaprağında fotosentetik pigmentler üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur. Besin çözeltisine T₂ düzeyinde NaCl ilavesi yaprakta klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid kapsamını önemli derecede arttırmıştır. Besin çözeltisinde NaCl konsantrasyonu arttıkça yaprakta N ve P kapsamı artış gösterirken; K, Ca, Mg ve S kapsamı azalma göstermiştir. Ayrıca, besin çözeltisine NaCl ilavesi hasat sonu yaprak analizlerine göre yaprakta N, P, K, Ca, Mg ve S noksanlıklarına sebebiyet vermemiştir. Bu çalışma, belirli NaCl konsantrasyonlarının dikkatli yönetimi ile domates bitkilerinde fotosentetik pigmentlerin artırılabilirliğini ve besin dengesi korunarak tuz stresine karşı optimal büyüme stratejilerinin geliştirilebileceğini göstermektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

YAZAR KATKISI

Güney Akınoğlu: Denemenin kurulması, deneme kayıtlarının tutulması, verilerin alınması ve ölçüm, tartım vb. ile ilgili laboratuvar çalışmaları, istatistik değerlendirme, makalenin yazılması

Ahmet Korkmaz: Denemenin kurulması, sonuçların değerlendirilmesi

Salih Demirkaya: Ölçüm, tartım vb. ile ilgili laboratuvar çalışmaları, istatistiksel değerlendirme

Songül Rakıcioğlu: Verilerin alınması ve ölçüm, tartım vb. ile ilgili laboratuvar çalışmaları

Zerrin Civelek: Verilerin alınması ve ölçüm, tartım vb. ile ilgili laboratuvar çalışmaları

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: PYO.ZRT.1908.22.015). Çalışmanın desteklenmesinden dolayı BAPKOP - BAPSİS birimine teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

- Abdelaziz, M. E., & Abdeldaym, E. A. (2019). Effect of grafting and different EC levels of saline irrigation water on growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in greenhouse. *Plant Archives*, 19(2), 3021-3027.
- Achard, P., Renou, J. P., Berthomé, R., Harberd, N. P., & Genschik, P. (2008). Plant DELLAs restrain growth and promote survival of adversity by reducing the levels of reactive oxygen species. *Current Biology*, 18(9), 656-660. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.04.034>
- Ahanger, M. A., & Agarwal, R. M. (2017). Salinity stress induced alterations in antioxidant metabolism and nitrogen assimilation in wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by potassium supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 449-460. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.017>

- Ahanger, M. A., Mir, R. A., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Combined effects of brassinosteroid and kinetin mitigates salinity stress in tomato through the modulation of antioxidant and osmolyte metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 147, 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.12.007>
- Akınoğlu, G., Korkmaz, A., Akbudak, N., & Horuz, A. (2021). *Domates Bitkisinin Mineral Beslenmesi ve Meyve Kalitesi*. (Eds. Akbudak, N., & Korkmaz, A.). Akademisyen Kitabevi A.Ş., ISBN: 978-625-8037-64-7. Ankara/Türkiye.
- Alpaslan, M., Güneş, A., & Inal, A. (1998). Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Yayın No: 1501, *Ziraat Fakültesi Ders Kitabı*: 455, ISBN: 975-482-438-X, p. 437, Ankara.
- Alzahib, R. H., Migdadi, H. M., Al Ghamdi, A. A., Alwahibi, M. S., Ibrahim, A. A., & Al-Selwey, W. A. (2021). Assessment of morpho-physiological, biochemical and antioxidant responses of tomato landraces to salinity stress. *Plants*, 10(4), 696. <https://doi.org/10.3390/plants10040696>
- Arnon, D. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiology*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Assimakopoulou, A., Nifakos, K., Salmas, I., & Kalogeropoulos, P. (2015). Growth, ion uptake, and yield responses of three indigenous small-sized greek tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars and four hybrids of cherry tomato under NaCl salinity stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 2357-2377. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1081924>
- Bethke, P. C., & Drew, M. C. (1992). Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiology*, 99(1), 219-26. <https://doi.org/10.1104/pp.99.1.219>
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982) "Total nitrogen", In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeny, (Eds.), *Methods of Soil Analysis, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison*, pp. 1119-1123.
- Cannella, D., Möllers, K. B., Frigaard, N. U., Jensen, P. E., Bjerrum, M. J., Johansen, K. S., & Felby, C. (2016). Light-driven oxidation of polysaccharides by photosynthetic pigments and a metalloenzyme. *Nature Communication*, 7, 11134. <https://doi.org/10.1038/ncomms11134>
- Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M., & Androulakis, I. (2002). Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 96(1-4), 235-247. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00067-5)
- Chen, W., Zou, D., Guo, W., Xu, H., Shi, D., & Yang, C. (2009). Effects of salt stress on growth, photosynthesis and solute accumulation in three poplar cultivars. *Photosynthetica*, 47(3), 415-421. <https://doi.org/10.1007/s11099-009-0063-y>
- Costan, A., Stamatakis, A., Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., & Tzortzakakis, N. (2020). Interactive effects of salinity and silicon application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology and shelf-life of fruit produced hydroponically. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 732-743. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10076>
- Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., & Schroeder, J. I. (2014). Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*, 19(6), 371-379. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.02.001>
- Fallah, F., Nokhasi, F., & Ghaheri, M. (2017). Effect of salinity on gene expression, morphological and biochemical characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni under in vitro conditions. *Cellular and Molecular Biology (Noisy-le-Grand, France)*. 63(7), 102-106. <https://doi.org/10.14715/cmb/2017.63.7.17>
- FAO (2011). *The state of the world's land and water resources for Food and Agriculture (SOLAW) – managing systems at risk*. Abingdon: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. *Plant Biology (Stuttg)*, 6(3), 269-279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
- Flowers, T. J., & Flowers, S. A. (2005). Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, 78(1-2), 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.015>
- Giannakoula, A., & Ilias, I. F. (2013). The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mil.). *Archives of Biological Sciences, (Beogr)*, 65(2), 611-620. <https://doi.org/10.2298/ABS1302611G>

- Guo, M., Wang, X-S., Guo, H-D., Bai, S-Y., Khan, A., Wang, X-M., Gao, Y-M., & Li, J-S. (2022). Tomato salt tolerance mechanisms and their potential applications for fighting salinity: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 949541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.949541>
- Higbie, S. M., Wang, F., Stewart, J. M., Sterling, T. M., Lindemann, W. C., Hughs, E., & Zhang, J. (2010). Physiological response to salt (NaCl) stress in selected cultivated tetraploid cottons. *International Journal of Agronomy*, 12, 643475. <https://doi.org/10.1155/2010/643475>
- Hochmuth, G. J., Maynard, D., Vavrina, C., Hanlon, E., & Simonne, E. 2012. "Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida: HS964/EP081 Rev. 10/2012". *EDIS*, 2012(10). Gainesville, FL. <https://doi.org/10.32473/edis-ep081-2004>
- Horie, T., Karahara, I., & Katsuhara, M. (2012). Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: an overview with the central focus on rice plants. *Rice*, 5, 11. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-11>
- Hossain, M. A., Uddin, M. K., Ismail, M. R., & Ashrafuzzama, M. (2012). Responses of glutamine synthetase-glutamate synthase cycle enzymes in tomato leaves under salinity stress. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(4), 509-515. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.008>
- Houborg, R., McCabe, M., Cescatti, A., Gao, F., Schull, M., & Gitelson, A. (2015). Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). *Remote Sensing of Environment*, 159, 203-221. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.008>
- Javeed, H. M. R., Wang, X., Ali, M., Nawaz, F., Qamar, R., Rehman, A., et al. (2021). Potential utilization of diluted seawater for the cultivation of some summer vegetable crops: physiological and nutritional implications. *Agronomy*, 11, 1826. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091826>
- Jiang, Y., Ding, X., Zhang, D., Deng, Q., Yu, C.-L., Zhou, S., & Hui, D. (2017). Soil salinity increases the tolerance of excessive sulfur fumigation stress in tomato plants. *Environmental and Experimental Botany*, 133, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.10.002>
- Kacar, B., & İnal, A. (2008). *Bitki Analizleri*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Yayınları, Yayın No: 1241; Fen Bilimleri: 63, (I. Basım) Ankara.
- Khan, M. I. R., Asgher, M., & Khan, N. A. (2014). Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.026>
- Korkmaz, A., Karagöl, A., Akinoğlu, G., & Korkmaz, H. (2018). The effects of silicon on nutrient levels and yields of tomatoes under saline stress in artificial medium culture. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), 123-135. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381975>
- Liang, W., Ma, X., Wan, P., & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 495(1), 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>
- Loudari, A., Benadis, C., Naciri, R., Soulaïmani, A., Zeroual, Y., Gharous, M. E., Kalaji, H. M., & Oukarroum, A. (2020). Salt stress affects mineral nutrition in shoots and roots and chlorophyll *a* fluorescence of tomato plants grown in hydroponic culture. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 398-405. <https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1841842>
- Loupassaki, M. H., Chartzoulakis, K. S., Dıgalaki, N. B., & Andrıoulakis, I. I. (2002). Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sodium in leaves, shoots, and roots of six olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 25(11), 2457-2482. <https://doi.org/10.1081/PLN-120014707>
- Lovelli, S., Scopa, A., Perniola, M., Di Tommaso, T., & Sofo, A. (2012). Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *Journal of Plant Physiology*, 169(3), 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.09.009>
- Ma, N. L., Che Lah, W. A., & Kadir, A. (2018). Susceptibility and tolerance of rice crop to salt threat: physiological and metabolic inspections. *PLoS ONE*, 13(2), e0192732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192732>
- Maeda, K., Johkan, M., Tsukagoshi, S., & Maruo, T. (2020). Effect of salinity on photosynthesis and distribution of photosynthates in the Japanese tomato 'CF momotaro york' and the Dutch tomato 'Endeavour' with low node-order pinching and a highdensity planting system. *The Horticulture Journal*, 89(4), 454-459. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-167>

- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33, 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nebauer, S. G., Sánchez, M., Martínez, L., Lluch, Y., Renau-Morata, B., & Molina, R. V. (2013). Differences in photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.006>
- Paranychianakis, N. V., & Chartzoulakis, K. S. (2005). Irrigation of Mediterranean crops with saline water: From physiology to management practices. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 106(2-3), 171-187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.006>
- Parvin, K., Uddin, Ahamed, K., Mahbub Islam, M., & Haque, N. (2016). Modulation of ion uptake in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants with exogenous application of calcium under salt stress condition. *Poljoprivreda*, 22(2), 40-49. <https://doi.org/10.18047/poljo.22.2.7>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., Rivas, J., Patanita, M., & Dóres, J. (2013). Growth and development of tomato plants *Lycopersicon esculentum* Mill. under different saline conditions by fertirrigation with pretreated cheese whey wastewater. *Water Science & Technology*, 67(9), 2033-2041. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.085>
- Rivelli, A. R., Lovelli, S., & Perniola, M. (2002). Effects of salinity on gas exchange, water relations and growth of sunflower (*Helianthus annuus*). *Functional Plant Biology*, 12(29), 1405-1415. <https://doi.org/10.1071/PP01086>
- Rivero, R. M., Mestre, T. C., Mittler, R., Rubio, F., Garcia-Sanchez, F., & Martinez, V. (2014). The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants. *Plant, Cell & Environment*, 37(5), 1059-1073. <https://doi.org/10.1111/pce.12199>
- Robin, A. H. K., Matthew, C., Uddin, M. J., & Bayazid, K. N. (2016). Salinity induced reduction in root surface area and changes in major root and shoot traits at the phytomer level in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 67(12), 3719-3729. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw064>
- Roşca, M., Mihalache, G., & Stoleru, V. (2023). Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118383. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118383>
- Rothan, C., Diouf, I., & Causse, M. (2019). Trait discovery and editing in tomato. *The Plant Journal*, 97, 73-90. <https://doi.org/10.1111/tpj.14152>
- Sánchez, A., Membrives, J., Valenzuela, J. L., & Guzmán, M. (2012). Effects of saline stress and Ca²⁺/K⁺ interaction on biomass and mineral contents of tomato. *Acta Horticulturae*, 932, 345-350. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.932.50>
- Saneoka, H., Ishiguro, S., & Moghaieb, E. (2001). Effect of salinity and abscisic acid on accumulation of glycinebetaine and betaine aldehyde dehydrogenase mRNA in sorghum leaves (*Sorghum bicolor*). *Journal of Plant Physiology*, 158, 853-859. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00058>
- Shah, S. H., Houborg, R., & McCabe, M. F. (2017). Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 7(3), 61. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030061>
- Shahriaripour, R., Pour, A. T., & Mozaffari, V. (2011). Effects of salinity and soil phosphorus application on growth and chemical composition of pistachio seedlings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(2), 144-158. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.535065>
- Short, D. C., & Colmer, T. D. (1999). Salt tolerance in the Halophyte *Halosarcia pergranulata* subsp. *pergranulata*. *Annals of Botany*, 83(3), 207-213. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0812>
- Singh, M., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2016). Responses of photosynthesis, nitrogen and proline metabolism to salinity stress in *Solanum lycopersicum* under different levels of nitrogen supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.08.021>
- Soltabayeva, A., Ongaltay, A., Omondi, J. O., & Srivastava, S. (2021). Morphological, physiological and molecular markers for salt-stressed plants. *Plants*, 10, 243. <https://doi.org/10.3390/plants10020243>

- Stefanov, M., Yotsova, E., Rashkov, G., Ivanova, K., Markovska, Y., & Apostolova, E. L. (2016). Effects of salinity on the photosynthetic apparatus of two Paulownia lines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101, 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.01.017>
- Suwa, R., Nguyen, N. T., Saneoka, H., Moghaieb, R., & Fujita, K. (2006). Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(2), 243-250. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00024.x>
- Taheri, S., Sar, S. S., Masoudian, N., Ebadi, M., & Roudi, B. (2020). Molecular and biochemical protective roles of sodium nitroprusside in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under salt stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11, 3465-3472. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.677270>
- van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 403-433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Witham, F. H., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). Experiments in plant physiology. *Van Nostrend Reinhold Company, New York*.
- Xie, Y. J., Xu, S., Han, B., Wu, M. Z., Yuan, X. X., Han, Y., Gu, Q., Xu, D. K., Yang, Q., & Shen, W. B. (2011). Evidence of Arabidopsis salt acclimation induced by up-regulation of HY1 and the regulatory role of RbohD-derived reactive oxygen species synthesis. *The Plant Journal*, 66, 280-229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04488.x>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1). <https://doi.org/100017>. 10.1016/j.xinn.2020.100017