



## Domateste (*Solanum lycopersicum* L.) Dışsal IAA Uygulamalarının Tuza Tolerans Üzerindeki Etkisi\*

Effects of The Exogenous IAA Applications on Salt Tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Şebnem Kuşvuran<sup>1</sup> , Serpil Havadar<sup>2</sup> , Hayriye Yıldız Daşgan<sup>3</sup> 

Geliş Tarihi (Received): 07.12.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 14.02.2022

Yayın Tarihi (Published): 15.04.2022

**Öz:** Bu çalışmada, domateste tuz stresine toleransın sağlanmasında indole-3-acetic acid (IAA) uygulamalarının etkinliği incelenmiştir. Çalışmada materyal olarak TOM-141 (tolerant) ve TOM-139 (hassas) genotipler ile AG5668 domates çeşidi kullanılmıştır. Stres bitkileri için, 3 gerçek yapraklı aşamada tuz (200 mM NaCl) stresine başlanmıştır. Kontrol bitkileri ise besin çözeltisi ile sulanmıştır. IAA uygulamalarında ise tuz stresini birlikte 0.05, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 ve 2.00 mM dozlarına yer verilmiş, haftada bir kez olmak üzere yapraktan spreyleme şeklinde uygulanmıştır. Tuz stresini domates genotiplerinde bitki büyüme parametreleri ile YOSİ, K ve Ca iyon konsantrasyonu, toplam klorofil ve karotenoid ve toplam flavanoid içeriğinde azalmaya neden olmuş; Na ve Cl iyon konsantrasyonu, MDA ve toplam fenolik madde içeriğinde ise artış meydana gelmiştir. Buna karşın, tuz stresini birlikte IAA uygulamalarında tuz stresine oranla ortalama olarak yaş ve kuru ağırlıkta %8-93; gövde boyunda ve çapında %7-65; yaprak sayısı ve alanında %22-329, YOSİ değerlerinde %18-30; K içeriğinde %12-34; Ca içeriğinde %9-37; toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde %3-125; toplam fenolik madde ve flavanoid içeriğinde %7-107 oranlarında iyileşme sağlanmıştır. Bu değişim AG5668 domates çeşidinde %2-73; TOM-141 genotipinde %2-39 ve TOM-139 genotipinde ise %3-221 düzeyinde tuz stresini koşullarında iyileşme biçiminde kendini göstermiştir. IAA uygulaması ile genotipler düzeyinde Na, Cl ve MDA düzeyinde meydana gelen azalma AG5668'de %11-31, TOM141'de %12-21 ve TOM 139'da %16-35 düzeyinde gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda, IAA uygulamalarının tuz stresinden kaynaklanan olumsuzlukları değişen oranlarda iyileştirdiği ve toleransı artırmada etkili olduğu, uygulamalar arasında bu olumlu etki açısından 0.25 mM ve 0.50 mM IAA uygulamalarının ön plan çıktığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitki büyüme düzenleyicisi, Indol-3 asetik asit, oksin, Solanaceae

&

**Abstract:** In this study, the effectiveness of indole-3-acetic acid (IAA) applications in providing salt stress tolerance in tomato was investigated. TOM-141 (tolerant) and TOM-139 (sensitive) genotypes and AG5668 tomato cultivar were used as materials in the study. For stress plants, salt (200 mM NaCl) stress was initiated at 3 true leaf stages. Control plants were irrigated with nutrient solution. In IAA applications, 0.05, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 2.00 mM doses were used together with salt stress, and it was applied as a foliar spray once a week. Salt stress caused a decrease in plant growth parameters, YOSI, K and Ca ion concentration, total chlorophyll and carotenoid and total flavonoid content in tomato genotypes; Na and Cl ion concentration, MDA and total phenolic substance content increased. On the other and, in IAA applications with salt stress, on average 8-93% in fresh and dry weight; 7-65% in stem length and diameter; 22-329% in leaf number and area, 18-30% in YOSI values; 12-34% in K content; 9-37% in Ca content; 3-125% in total chlorophyll and carotenoid content; 7-107% improvement was achieved in total phenolic substance and flavonoid content compared to salt stress. This change was determined as 2-73% improvement in salt stress conditions in AG5668 tomato variety, 2-39% in TOM-141 genotype and 3-221% in TOM-139 genotype. The decrease in Na, Cl and MDA levels at the genotype level with IAA application was 11-31% in AG5668, 12-21% in TOM141 and 16-35% in TOM 139. As a result of the study, it was determined that IAA applications improved the negativities caused by salt stress at varying rates and were effective in increasing tolerance, and 0.25 mm and 0.50 mM IAA applications came to the fore in terms of this positive effect among the applications.

**Keywords:** Auxin, indole-3-acetic acid, plant growth regulator, Solanaceae

**Atıf/Cite as:** Kuşvuran, Ş., Havadar, S. & Daşgan, H. Y. (2022). Domateste (*Solanum lycopersicum* L.) Dışsal IAA Uygulamalarının Tuza Tolerans Üzerindeki Etkisi\*. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8 (1), 25-37. DOI: 10.24180/ijaws.1033635

**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

<sup>1</sup> Prof. Dr. Şebnem Kuşvuran, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kızılırmak Meslek Yüksekokulu, Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü, skusvuran@gmail.com (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

<sup>2</sup> Zir.Müh. Serpil Havadar, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, shavadar8@gmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., H.Yıldız Daşgan, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ydasgan@gmail.com

\*Bu çalışma "Domateste (*Solanum lycopersicum* L.) dışsal IAA uygulamalarının tuza tolerans üzerindeki etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

## GİRİŞ

Dünya nüfusu besin gereksinimlerinin de artışına neden olmaktadır. Sanayileşme ve çevresel stresler ile birlikte tarım alanlarındaki azalma, gereksinim duyulan besin ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak üretimi de kısıtlamaktadır. Bu sınırlanma beraberinde üretim, verim ve kalitenin artırılmasına yönelik yeni yöntem ve tedbirlerin alınmasını gereklilik haline getirmektedir (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

Tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde tuzların yüksek taban suyu ile birlikte kapilarite oluşturması yolu ile toprak yüzeyine çıkması ve suyun buharlaşması ile toprak yüzeyinde birikmesi şeklinde ifade edilmektedir. Tuz stresi, bitkilerin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinde farklı değişimleri de beraberinde getirmekte, bitki büyüme ve gelişmesini sınırlandırmakta ve sonuç olarak üretimi olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Liang vd., 2018; Khedr vd., 2021).

Bitki büyüme düzenleyicileri, bitkiler tarafından oluşturulan ya da bitkiye dışarıdan verilen, çok düşük miktarlarda bitkideki büyüme, gelişme ve diğer fizyolojik olayları tek başına ya da birlikte olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilen, oluşturdukları dokularda etkin olabildikleri gibi diğer bitki kısımlarına da taşınabilen ve bu etkinliği diğer organlarda da gösterebilen organik maddelerdir. Bitkilerde büyüme ve gelişmede etkili olan ve bitki bünyesinde oluşan bu maddeler hormonlar veya fito hormonlar (bitki hormonları) olarak adlandırılmaktadır. Bitki büyüme düzenleyicileri bitkilerin farklı organ ve organellerinde bulunmaktadır. Bu maddeler; oksin, giberellinler ve sitokininler büyüme teşvik ediciler, absisik asit (dorminler) engelleyici, etilen ise olgunlaştırıcı olarak gruplandırılmıştır. Doğal bitki büyüme düzenleyiciler arasında etilen dünyada en yaygın kullanılan bitkisel hormon (%23) olarak ilk sırada yer alırken; bu hormunu oksin (%20) ve gibberellinler (%17) izlemektedir (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

Bitki gelişimi ile diğer fizyolojik fonksiyonları kontrol eden, doğal olarak bitki içerisinde üretilen organik maddeler olarak nitelendirilen bitki büyüme düzenleyicileri, abiyotik stres koşullarında da bitki gelişimini kontrol etmektedir. Bu maddeler içerisinde yer alan oksinler özellikle bitkilerde hücre bölünmesini, büyümeyi ve gelişmeyi hızlandırma yönünden etkilidir. Indol-3-asetik asit (IAA) doğal oksin olarak sınıflandırılması bakımından ayrı bir öneme sahiptir. Bitkiler tarafından üretilen en önemli oksinlerden birinin, bitkilerin apikal bölgesinde/meristematik dokularında, çoğunlukla genç yapraklarda üretilen indol-3-asetik asit (IAA) olduğunu ifade eden Alam vd. (2020), domateste IAA uygulamalarının (0, 100 ve 200 ppm) tuz stresi (0, 30 ve 60 mM NaCl) koşullarında bitki büyüme ve gelişmesi ile verim üzerindeki etkilerini incelemiş, IAA uygulamalarının incelenen parametreler bakımından olumlu etkisi olduğunu, IAA yapraktan uygulanmasının tuz stresinin olumsuz etkisinin sınırlandırılabilceğini vurgulamışlardır. Abdel Latef vd. (2021) tuz stresi koşullarında dışsal IAA uygulamalarının ozmotik dengenin korunması ve iyon regülasyonu bakımından etkili olduğunu Na alımının sınırlandırıldığı bununla birlikte K, Ca ve Mg iyon alımında artış meydana geldiğini ifade etmiştir. Bezelye (Husen vd., 2016), patates (Khalid ve Aftab, 2020) ve bakla (Abdel Latef vd., 2021) gibi farklı türlerde gerçekleştirilen çalışmalarda, IAA uygulamalarının tuz stresi koşullarında bitki büyüme parametreleri bakımından olumlu etki ortaya koyduğu, Na ve Cl gibi toksik iyon alımının sınırlandırıldığı, K ve Ca iyon alımındaki artışa bağlı olarak ozmotik dengenin korunduğu, bunların yanı sıra antioksidatif enzim aktivitelerindeki artış ile birlikte oksidatif stresin azaltıldığı bildirilmiştir.

Dünyada ve ülkemizde açıkta ve örtü altında en fazla yetiştirilen sebze türlerinin başında domates gelmektedir. İçerdiği antioksidan ve likopen gibi bileşikler, vitamin ve mineral maddeler sağlıklı yaşam ve fonksiyonel gıda olarak domatesin tüketimde tercih edilirliliğini artırmaktadır. Domates üretimi dünyada 177 milyon ton, ülkemizde ise 2020 verilerine göre 13.2 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte gerek dünyada gerekse ülkemizde üretim değeri ve kalite anlamında abiyotik stres koşullarına bağlı olarak olumsuzluklarda ortaya çıkmaktadır. Açık alan ve sera yetiştiriciliklerinde sulamada düşük kaliteye sahip suların kullanımı, ihtiyaçtan fazla gübre kullanımı, yoğun tarım gibi faktörler tuzluluk problemini de beraberinde getirmektedir. Toprak ya da sulama suyundaki tuz düzeyinin belirli bir seviyenin üzerine çıkması ise verimde düşüslere neden olmakta ve iyi yönetilememesi durumunda sürdürülebilir tarımı engellemektedir (Ünlükara vd., 2006).

Gerçekleştirilen bu çalışmada amaç 1) IAA dışsal uygulamalarının domateste tuza toleransı artırmada etkinliğinin morfolojik, fizyolojik ve bazı biyokimyasal parametreler bakımından değerlendirilmesi, 2) Tuza toleransın sağlanmasında en etkili IAA dozunun belirlenmesidir.

## MATERYAL VE METOT

Çalışmada materyal olarak; önceki çalışmalarımızda tuza tolerant (T) ve hassas (H) olarak belirlenen TOM-141 (T) ve TOM-139 (H) domates genotipleri (Daşgan vd., 2018) ile AG tohum firmasına ait AG5668 (AG) domates çeşidi kullanılmıştır. Araştırma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Kızılırmak Meslek Yüksekokulu'na ait plastik serada gerçekleştirilmiştir. Domates genotip tohumları torf:perlit (2:1) karışımı içeren kırk beş gözlü viyollere ekilmiş, tohum ekiminden otuz gün sonra fideler, içerisinde torf ve perlit karışımı (2:1) bulunan plastik saksılara (12 litre hacimli) her saksıda üç adet bitki olacak şekilde şaşırtılmıştır. Çalışma 3 tekrarlamalı ve her tekrarda 3 bitki olacak biçimde planlanmıştır. Bitkiler üç gerçek yapraklı aşamaya gelinceye kadar standart besin çözeltisi ile sulanmıştır. Sulamada "drene olan çözelti/uygulanan çözelti" oranı temel alınmış ve %30 düzeyinde tutulmaya çalışılmıştır.

Bitkiler 3 gerçek yapraklı aşamaya ulaştıklarında tuz stresi uygulamalarına başlanmıştır. Bu amaçla tuz stresi için 200 mM NaCl dozu uygulanmıştır. Tuz uygulamasına 50 mM NaCl dozu ile başlanmış, tuz içeriği kademeli olarak artırılarak 4. gün sonunda 200 mM dozuna ulaşılmıştır. IAA uygulaması için; 0.05 mM, 0.25 mM, 0.50 mM, 0.75 mM, 1 mM ve 2 mM olmak üzere 6 farklı konsantrasyon çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada IAA uygulaması haftada bir kez yapraktan spreyleme biçiminde uygulanmıştır. Kontrol bitkileri ise standart besin solüsyonu ile sulanmaya devam edilmiştir. Stres uygulamaları 16 gün devam etmiş ve bu süre sonunda ölçüm ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bitkiler yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, gövde boyu ve çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, lipid peroksidasyon içeriği, toplam klorofil ve karotenoid içeriği, toplam fenolik ve falvanoid içeriği, yeşil aksam Na, K, Ca ve Cl iyon içeriği bakımından değerlendirilmiştir.

Yaprak oransal su içeriği: Stres sonunda bitkilerden alınan yaprak örneklerinin oransal su içeriklerinin belirlenmesi için taze ağırlıkları alınmış, daha sonra alınan yaprak örnekleri 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilerek bu süre sonunda turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları belirlenen yaprak örnekleri 65 °C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlık g olarak tespit edilmiştir. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi Kuşvuran (2010)'a göre yapılmıştır.

### *Lipid Peroksidasyon İçeriğinin Belirlenmesi (MDA)*

Lipid peroksidasyonunun belirlenebilmesi için üstten itibaren alınan 4. yapraklar kullanılmıştır. İki yüz miligram yaprak örneğine 5 ml %0,1'lik trikloro asetik asit (TCA) ilave edilmiş ve karışım 12500 ppm devir hızında 20 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. Ekstraktan 3 ml alınarak üzerine, içinde %20 TCA bulunan %0,1'lik tiobarbütrik asit (TBA)'den 3 ml eklenmiştir. Örnekler 95°C'deki sıcak su banyosunda 30 dakika bekletilmiş, A532 ve A600 nm'de absorbans değerlerinde okumalar gerçekleştirilmiştir (Kuşvuran vd., 2021).

### *Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi*

İki yüz miligram taze yaprak örneği, 15 ml %80'lik asetonla homojenize edilmiş ve ardından beyaz bant filtre kâğıdı ile filtre edilmiştir. Ekstraktlar, UV spektrofotometresinde 652 nm' de toplam klorofil ve 470 nm'de karotenoid ölçülmüştür (Kuşvuran vd., 2021).

### *İyon İçeriklerinin Belirlenmesi*

200 mg kurutulup öğütülen bitki örnekleri 550 °C kül fırınında 8 saat yakılmış, elde edilen kül, %3,3 'lük HCl'de çözünmüş ve mavi bantlı filtre kağıdında süzülükten sonra sodyum, potasyum ve kalsiyum okumaları, Varian marka FS220 model Atomik Absorbsiyon Spekfotometre cihazında emisyon modunda gerçekleştirilmiştir (Daşgan ve Koc, 2009). 100 mg öğütülmüş bitki örneği üzerine 25 ml saf su ilave edildikten sonra 10 dakika çalkalanmış ve 4000 devir ile santrifüj edilmiştir. Eriyikten 20 ml alıp, üzerine 1 ml potasyum kromat indikatörü ilave edildikten sonra gümüş nitrat eriyiği ile titre edilmiştir. Klorun tamamı gümüş klorür halinde çökeltilmiş ve açık kahverengine dönüştüğünde titrasyona son verilmiştir.

**Toplam Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi**

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde Folinci ocaltaeu yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır. 100 µl ekstrakt 10 kez seyreltilmiş Folinci ocaltaeu ile oda sıcaklığında 5 dak. inkübe edilmiş, bu çözeltiye 750 µl sodyum bikarbonat solusyonu eklenerek oda sıcaklığında 90 dak. İnkübe edilmiştir. 765 nm'de absorbans değişimi spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Fenolik madde miktarı gallik asit standartı kullanılarak hesaplanmıştır (Kuşvuran vd., 2021).

**Toplam Flavonoidlerin Belirlenmesi**

Bir ml ekstrat, 4 ml de-iyonize su ve 0,3 ml %5 'lik NaNO<sub>2</sub> ile karıştırılacak, 5 dakika sonra 0.3 ml %10'luk AlCl<sub>3</sub> ve 2 ml 1 molar NaOH eklenmiştir. Son hacim üzerinden 10 ml de-iyonize su eklenerek 415 nm'de okuma yapılmıştır (Molina-Quijada vd., 2010).

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Denemeden elde edilen veriler JMP (versiyon 8.0) istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamaları arasındaki farklılıklar LSD testine (p≤0.05) göre gruplandırılmıştır.

**BULGULAR VE TARTIŞMA**

Domateste 200 mM NaCl uygulaması yaş ve kuru ağırlık, gövde boyu ve çapı bakımından değişen oranlarda azalmaya neden olmuştur (Çizelge 1).

Tuz stresi ile birlikte meydana gelen değişim, yaş ağırlıkta AG, TOM-141 ve TOM-139 genotiplerinde sırasıyla %47.86, %44.52, %71.38 olmuştur. Kuru ağırlıkta ise kontrol bitkilerine oranla meydana gelen azalma %55.20, %57.46 ve %78.68 düzeyinde gerçekleşmiştir. IAA uygulaması ile birlikte genel olarak meydana gelen azalma daha düşük düzeylerde kalmıştır. Buna göre yaş ağırlıkta ortalama olarak sırasıyla %31.62, %38.61 ve %45.31; kuru ağırlıkta ise %51.55, %51.15 ve %59.56 şeklinde meydana gelmiştir. IAA uygulaması yaş ve kuru ağırlık değerlerinde, IAA uygulanmayan stres bitkilerine oranla %8-90 düzeyinde iyileşme sağlamıştır. IAA uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, değişimin en az olduğu dolayısıyla kontrol bitkilerine en yakın gelişmeye imkan veren dozlar; yaş ve kuru ağırlık bakımından 0.25 ve 0.50 mM dozları olmuştur. Bu dozlarda ortalama olarak azalma %21-57 arasında gerçekleşirken; stres bitkilerine oranla %8-93 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır.

Tuz stresi gövde boyunda AG, TOM-141 ve TOM-139 genotiplerinde sırasıyla %39.34, %37.65 ve %50.33; gövde çapında ise kontrol bitkilerine oranla %9.57, %24.34 ve %50.68 düzeyinde azalmaya yol açmıştır. Tuz stresi koşullarında IAA uygulaması ile ortaya çıkan değişim AG, TOM-141 ve TOM-139 genotiplerinde sırasıyla gövde boyunda %34.67, %36.73 ve %37.47; gövde çapında ise %7.85, %6.52 ve %29.52 şeklinde meydana gelmiştir. IAA uygulaması gövde boy ve çapında, IAA uygulanmayan stres bitkilerine oranla %1.5-43 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır. Kontrol bitkilerine en yakın gelişmeye imkan veren dozlar; gövde boyu ve çapı bakımından 0.25 ve 0.50 mM dozları olmuştur. Gövde boyu ve çapında %6-38 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır. IAA uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, değişimin en az olduğu dolayısıyla kontrol bitkilerine en yakın gelişmeye imkan veren dozlar; 0.25 ve 0.50 mm dozları olmuştur. Bu dozlarda ortalama olarak azalma %2-36 arasında gerçekleşirken; stres bitkilerine oranla %7-65 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır.

Tarım alanlarında ortaya çıkan tuzluluk, bitkisel üretimi önemli düzeyde olumsuz etkileyen küresel sorundur. Son çalışmalar dünyada yaklaşık 0.80 milyar hektarlık alanın tuzluluk nedeniyle bozulduğunu ve bu durumun, arazinin tarımsal amaçlı kullanımını önemli ölçüde sınırladığını göstermektedir. Genel olarak tuz stresi, bitkilerde ozmotik stresi beraberinde getirmekte, yüksek Na ve Cl iyon içeriği ile birlikte sito toksisite ve beslenmede dengesizlikler gibi olumsuzluklar nedeniyle büyüme ve gelişmede sınırlanmalar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra tuz stresine maruz kalan bitkilerde, hücrede reaktif oksijen türevlerinde artış meydana gelmekte bunun sonucu olarak oksidatif stres ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 1.** Domateste tuz stresi koşullarında IAA uygulamalarının yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, gövde boyu ve çapı üzerindeki etkisi (K: kontrol; T: 200 mM NaCl uygulaması).

Table 1. The effect of IAA applications on fresh and dry weights, stem length and diameter in tomato under salt stress conditions (K: control; T: 200 mM NaCl applications).

Genotip	Uygulama	Yeşil Aksam Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	Yeşil Aksam Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	Gövde Boyu (cm bitki <sup>-1</sup> )	Gövde Çapı (mm bitki <sup>-1</sup> )
AG	K	134.31±4.92 <sup>a</sup>	16.27±0.84 <sup>a</sup>	50.00	9.51±0.42 <sup>a-c</sup>
	T	86.84±7.41 <sup>d-f</sup>	7.24±1.89 <sup>b-e</sup>	30.33	8.60±0.85 <sup>b-g</sup>
	0.05 IAA+T	78.90±4.72 <sup>f-h</sup>	7.54±1.09 <sup>b-e</sup>	30.67	8.82±0.23 <sup>b-e</sup>
	0.25 IAA+T	105.71±3.33 <sup>b</sup>	8.61±1.17 <sup>b-d</sup>	34.00	10.07±0.83 <sup>a</sup>
	0.50 IAA+T	95.07±5.67 <sup>cd</sup>	8.19±0.73 <sup>b-e</sup>	34.00	9.12±0.46 <sup>a-d</sup>
	0.75 IAA+T	92.24±2.29 <sup>ce</sup>	7.87±0.46 <sup>b-e</sup>	33.33	8.24±0.97 <sup>d-h</sup>
	1.00 IAA+T	91.04±8.36 <sup>ce</sup>	7.86±0.73 <sup>b-e</sup>	32.33	8.55±0.17 <sup>c-g</sup>
	2.00 IAA+T	88.07±1.76 <sup>d-f</sup>	7.53±0.24 <sup>b-e</sup>	31.67	7.69±0.44 <sup>f-i</sup>
TOM-141	K	127.45±3.80 <sup>a</sup>	16.22±1.83 <sup>a</sup>	54.00	8.67±0.66 <sup>b-f</sup>
	T	70.71±6.05 <sup>h-j</sup>	6.90±2.03 <sup>b-e</sup>	33.67	6.56±0.93 <sup>j-l</sup>
	0.05 IAA+T	64.22±1.72 <sup>j</sup>	7.21±0.64 <sup>b-e</sup>	33.33	7.02±0.89 <sup>i-l</sup>
	0.25 IAA+T	99.35±5.35 <sup>bc</sup>	9.56±2.49 <sup>b</sup>	37.67	9.63±0.86 <sup>ab</sup>
	0.50 IAA+T	83.29±4.40 <sup>e-g</sup>	8.94±0.99 <sup>bc</sup>	34.33	8.86±0.69 <sup>b-d</sup>
	0.75 IAA+T	77.80±6.02 <sup>f-i</sup>	7.59±1.07 <sup>b-e</sup>	34.00	8.37±0.32 <sup>d-h</sup>
	1.00 IAA+T	74.92±4.67 <sup>g-i</sup>	7.05±0.25 <sup>b-e</sup>	33.00	7.57±0.48 <sup>g-j</sup>
	2.00 IAA+T	69.87±6.58 <sup>h-j</sup>	7.19±0.51 <sup>b-e</sup>	32.67	7.18±0.42 <sup>i-l</sup>
TOM-139	K	133.22±1.52 <sup>a</sup>	14.96±3.00 <sup>a</sup>	51.00	9.53±1.22 <sup>a-c</sup>
	T	38.13±3.44 <sup>l</sup>	2.19±0.02 <sup>f</sup>	25.33	4.70±0.26 <sup>m</sup>
	0.05 IAA+T	48.91±2.84 <sup>k</sup>	5.89±0.72 <sup>de</sup>	31.67	5.04±0.53 <sup>m</sup>
	0.25 IAA+T	75.69±4.78 <sup>g-i</sup>	6.72±0.34 <sup>ce</sup>	34.00	7.79±0.50 <sup>e-i</sup>
	0.50 IAA+T	73.95±5.01 <sup>g-j</sup>	6.31±1.48 <sup>ce</sup>	33.33	7.47±0.49 <sup>h-k</sup>
	0.75 IAA+T	70.25±4.79 <sup>h-j</sup>	5.83±1.47 <sup>e</sup>	30.67	7.09±0.79 <sup>i-l</sup>
	1.00 IAA+T	70.33±6.41 <sup>h-j</sup>	5.96±1.27 <sup>de</sup>	30.00	6.50±0.29 <sup>kl</sup>
	2.00 IAA+T	68.26±6.50 <sup>j</sup>	5.59±2.51 <sup>e</sup>	31.67	6.41±0.31 <sup>l</sup>
<b>LSD<sub>0.05</sub></b>		10.50 <sup>***</sup>	2.74 <sup>***</sup>	Ö.D.	2.74 <sup>**</sup>

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001 LSD: Asgari önemli fark, Ö.D: Önemli değil

Bitkiler oksidatif stres ile başa çıkmak için farklı mekanizmalar kullanmaktadır. Bu sistemlerin dışsal mekanizmalar aracılığı ile teşvik edilmesi, bitkilerin strese toleransının geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Oksinde dahil olmak üzere fito hormonların dışsal uygulaması bu anlamda önemli bir yere sahiptir (Abdel Latef vd., 2021). Birçok bitkinin apikal kısmında, genellikle yeni tomurcuklarda ve yapraklarda üretilen indol-3-asetik asittir (IAA), oksinin en önemli formlarından biridir. IAA, bitkilerde çeşitli büyüme ve gelişme ile ilgili olaylarda etkili olmakta, hücrelerin uzaması ve kök büyümesinin teşvik edilmesi, çiçek ve meyve oluşumu dahil olmak üzere çok farklı fizyolojik olayları modüle etmektedir (Abdel Latef vd., 2021). Fito hormonların stres toleransını artırdığını ve bitkilerde abiyotik stresin neden olduğu verim kaybını en aza indirdiğini bildirmiştir (Khalid ve Aftab, 2020). Genel olarak



bitki büyüme parametreleri bakımından IAA kullanımımın %12-67 düzeyinde iyileşme sağladığı görülmüştür. IAA, bitki büyümesinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamakta, vasküler doku gelişimi, hücre uzamasını ve apikal baskınlığın kontrol edilmesinde etkili olmaktadır. Bitkilerde hücre bölünmesini, büyümeyi ve gelişmeyi hızlandırma yönünden etkili olan IAA, fototropik ve gravitropik davranışın düzenlenmesi ve sonuç olarak bitki büyüme ve gelişmesinin teşvik edilmesinde etkilidir (Khalid ve Aftab, 2020). Araştırmacılar IAA uygulamasının foto sentetik pigment içeriklerindeki artışa bağlı olarak fotosentez miktarındaki artış ile birlikte bitki gelişimin de artış gösterdiğini bildirmişlerdir (Kaya ve Okant, 2013). Araştırmacılar domateste ve baklada gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında tuz stresi koşullarında gövde boyu ve çapı, dal sayısı, kök yaş ve kuru ağırlıklarında azalma meydana geldiğini, IAA uygulamalarının tuz stresinin olumsuz etkilerini azalttığını, bitki büyüme düzenleyicilerinin besin elementlerinin alınımı, hücre bölünmesini ve uzamasını teşvik ettiğini bildirmişlerdir (Alam vd., 2020; Abdel Latef vd., 2021).

200 mM NaCl uygulaması yaprak sayısı ve yaprak alanında azalmaya neden olmuş ve bu azalma %28-85 oranında gerçekleşmiş, en yüksek değişim TOM-139 (%75 ve %85 azalma) genotipinde gerçekleşmiştir. IAA uygulaması ile birlikte genel olarak meydana gelen azalma daha düşük düzeylerde kalmıştır. Buna göre yaprak sayısında ortalama %17-51, yaprak alanında ise %24-53 düzeyinde kayıp meydana gelmiştir. IAA uygulaması yaprak sayısı ve alanında değişen oranlarda iyileşme sağlamıştır. Bu gelişim yaprak sayısı bakımından AG domates çeşidinde %2-34, TOM-141'de %10-38, TOM-139'da %51-162 düzeyinde ortaya çıkarırken; yaprak alanı bakımından ise AG domates çeşidinde %8-42, TOM-141'de %12-33, TOM-139'da %130-329 düzeyinde belirlenmiştir. IAA uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, değişimin en az olduğu dolayısıyla kontrol bitkilerine en yakın gelişmeye imkan veren dozlar; her iki parametre için de bakımından 0.25 ve 0.50 mM dozları olmuştur.

Tuz stresi çalışmalarında kullanılan bir diğer önemli parametre yaprak oransal su içeriğidir. Tuz stresi bitkilerde yaprak oransal su içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Bu azalma AG'de %30, TOM-141'de %22 ve TOM-139'da %43 düzeyinde gerçekleşmiştir. IAA uygulamalarında ise % değişim daha düşük oranlarda meydana gelmekle birlikte azalma %6-35 düzeyinde kalmıştır, sadece NaCl uygulanan bitkilere oranla %3-30 oranında iyileşme ve YOSİ oranlarında artış sağlanmıştır. Uygulamalar içerisinde en etkin dozlar 0.25 mM ile 0.50 mM olmuş, bu dozlarda YOSİ değerleri %18-30 düzeyinde artış göstermiştir (Çizelge 2). Tuzluluğun ortaya koyduğu en önemli etkilerinden birisi; su alımının kısıtlanarak ozmotik etki ile bitki gelişiminin azalması, iyon toksisitesi nedeniyle de yapraklarda su taşınımını sağlayan hücrelerde zararlanma meydana gelmesidir. Yaprak oransal su içeriği tuz ve kuraklık stresleri gibi stres koşullarında gerçekleştirilen tarama çalışmalarında kullanılabilen önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Nielsen, 2017). Domateste 200 mm NaCl uygulaması tüm genotiplerde YOSİ değerlerinde azalmaya yol açmış ve bu azalma %22-45 oranlarında gerçekleşmiştir. İşlek vd. (2010) biberde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında yaprak oransal su içeriğinin artan tuz dozuna bağlı olarak azaldığını; bu etkinin tolerant genotiplerde daha az oranda gerçekleştiğini ifade etmiştir. Araştırmacılar bu etkinin toksik Na ve Cl iyonlarından kaynaklanabileceğini; tuz stresi ile birlikte su alımının azalarak kuraklık stresi ile benzer etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Kaya vd. (2010) mısırdaki gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, tuz stresi ile birlikte yaprak su içeriğinde azalma meydana geldiğini, IAA uygulaması ile birlikte bu değişimin daha düşük oranlarda ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Bezelyede tuz stresinin yaprak su içeriğinde azalmaya neden olduğunu vurgulayan Husen vd. (2016), IAA uygulamaları ile birlikte yaprak su içeriğinde artış meydana geldiğini, oksinin bitkinin abiyotik streslere uyum sağlama yeteneğini arttırarak, çok çeşitli adaptif tepkilere aracılık ettiğini ifade etmişlerdir.

**Çizelge 2.** Domateste tuz stresi koşullarında IAA uygulamalarının yaprak sayısı, yaprak alanı ve yaprak oransal su içeriği (YOSİ) üzerindeki etkisi (K: kontrol; T: 200 mM NaCl uygulaması).

Table 2. The effect of IAA applications on leaf number, leaf area and leaf water content (YOS) in tomato under salt stress conditions (K: control; T: 200 mM NaCl applications).

Genotip	Uygulama	Yaprak Sayısı (adet bitki <sup>-1</sup> )	Yaprak Alanı (cm bitki <sup>-1</sup> )	YOSİ (%)
AG	K	55.67±5.03 <sup>bc</sup>	801.19±68.41 <sup>b</sup>	86.88±4.56 <sup>ab</sup>
	T	39.67±3.06 <sup>e-i</sup>	509.99±74.61 <sup>g-i</sup>	60.63±9.43 <sup>g-i</sup>
	0.05 IAA+T	40.67±1.15 <sup>di</sup>	583.95±95.87 <sup>d-i</sup>	67.04±1.72 <sup>e-g</sup>
	0.25 IAA+T	53.33±3.51 <sup>ce</sup>	724.71±52.44 <sup>b-d</sup>	76.78±0.52 <sup>c</sup>
	0.50 IAA+T	48.67±3.79	626.78±13.77 <sup>c-h</sup>	73.67±3.86 <sup>c-e</sup>
	0.75 IAA+T	47.00±3.00 <sup>ch</sup>	560.39±21.11 <sup>e-j</sup>	67.66±1.19 <sup>e-g</sup>
	1.00 IAA+T	43.00±1.73 <sup>c-i</sup>	550.92±51.53 <sup>f-j</sup>	66.04±0.98 <sup>fg</sup>
	2.00 IAA+T	42.00±1.00 <sup>c-i</sup>	568.35±23.73 <sup>d-i</sup>	65.98±1.70 <sup>fg</sup>
	TOM-141	K	69.00±7.55 <sup>b</sup>	1112.39±35.45 <sup>a</sup>
T		37.67±4.16 <sup>f-i</sup>	621.42±73.91 <sup>c-h</sup>	62.40±0.40 <sup>f-i</sup>
0.05 IAA+T		45.00±2.65 <sup>c-i</sup>	705.97±61.60 <sup>b-f</sup>	69.52±2.45 <sup>d-f</sup>
0.25 IAA+T		52.00±3.61 <sup>cf</sup>	824.41±38.38 <sup>b</sup>	75.05±3.09 <sup>cd</sup>
0.50 IAA+T		51.67±7.77 <sup>eg</sup>	754.321±49.61 <sup>bc</sup>	73.80±3.43 <sup>c-e</sup>
0.75 IAA+T		41.33±5.86 <sup>c-i</sup>	716.33±38.83 <sup>b-e</sup>	64.70±1.17 <sup>f-i</sup>
1.00 IAA+T		41.33±2.52 <sup>c-i</sup>	693.10±55.54 <sup>b-f</sup>	65.69±1.79 <sup>f-h</sup>
2.00 IAA+T		42.33±4.86 <sup>c-i</sup>	701.67±61.59 <sup>b-f</sup>	62.69±3.35 <sup>f-i</sup>
TOM-139		K	85.00±6.08 <sup>a</sup>	1238.82±85.01 <sup>a</sup>
	T	21.00±1.15 <sup>j</sup>	175.04±48.66 <sup>k</sup>	50.81±5.42 <sup>i</sup>
	0.05 IAA+T	31.67±3.46 <sup>ij</sup>	401.75±32.09 <sup>i</sup>	58.64±4.38 <sup>hi</sup>
	0.25 IAA+T	55.00±2.08 <sup>bd</sup>	751.68±50.40 <sup>b-c</sup>	65.59±2.96 <sup>f-h</sup>
	0.50 IAA+T	48.67±4.36 <sup>ch</sup>	670.41±42.21 <sup>b-g</sup>	66.38±1.58 <sup>fg</sup>
	0.75 IAA+T	40.00±3.51 <sup>e-i</sup>	614.56±47.87 <sup>c-h</sup>	63.58±9.06 <sup>f-i</sup>
	1.00 IAA+T	34.33±3.00 <sup>hi</sup>	503.16±62.55 <sup>h-j</sup>	57.90±5.69 <sup>ij</sup>
	2.00 IAA+T	37.00±1.12 <sup>gi</sup>	428.22±18.64 <sup>ij</sup>	62.14±2.59 <sup>g-i</sup>
	LSD <sub>0.05</sub>	14.83*	163.70**	7.15*

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001 LSD: Asgari önemli fark, Ö.D: Önemli değil

Tuz stresi tüm genotip ve uygulamalarda değişen oranlarda MDA içeriğinde artışa neden olmuştur (Çizelge 3). Bu artış sadece NaCl uygulanan bitkilerde %272-608 düzeyinde gerçekleşmiş ve en yüksek MDA içeriği TOM-139 genotipinde 24.03 µmol g<sup>-1</sup>T.A. (%608 artış) tespit edilmiştir. IAA uygulamalarında MDA içeriğindeki artış %108-403 arasında olup, ortalama olarak %29 düzeyinde MDA içeriğindeki artış sınırlandırılmıştır. IAA uygulamaları içerisinde MDA içeriğindeki artışın en az düzeyde olduğu uygulamalar 0.25 ve 0.50 mM IAA uygulamaları olmuş ve bu uygulamalarda MDA içeriğindeki artış %108-362 düzeyinde kalmakla birlikte %21-47 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bitkiler, genellikle aşırı ROS birikimi ile birlikte proteinler, lipidler ve DNA gibi hücrel bileşenlerin işleyişini bozan, bitkilerde membran hasarı ve hücre ölümüyle sonuçlanan lipid peroksidasyonuna neden olan metabolik

bozukluklar ile karşı karşıya kalmaktadır. Farklı türlerde gerçekleştirilen birçok çalışma tuz stresinin aşırı toksik Na birikimi nedeniyle bitki metabolizması üzerinde önemli hasarlara yol açtığını ve bunun da hücrel bileşenlere yönelik oksidatif stresle sonuçlandığını bildirmiştir. Domateste gerçekleştirilen bu çalışmada, tuz stresine maruz kalmış bitkilerde MDA içeriğinde artış meydana geldiğini göstermektedir. Bu artış en belirgin olarak TOM-139'da %608 düzeyinde gerçekleşmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilere IAA uygulaması MDA içeriğini azaltmıştır. Uygulamalar düzeyinde stres koşulları altında MDA içeriğindeki değişimin en az olduğu IAA dozları 0.25 mM IAA (%186 artış) ve 0.50 mM IAA (%258 artış) dozları olmuştur. Abdel Latef vd. (2021) tuz stresi sonucu artış gösteren MDA içeriğinde azalmayı sağladığını ve oksidatif stresi hafiflettiğini bildirmiştir.

Domateste 200 mM NaCl uygulaması toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Bu değişim toplam klorofil AG, TOM-141 ve TOM-139 genotiplerinde sırasıyla %40, %39 ve %83 düzeyinde ortaya çıkmıştır (Çizelge 3). Toplam karotenoid ise kontrol bitkilerine oranla meydana gelen azalma %30, %32 ve %40 düzeyinde gerçekleşmiştir. IAA uygulaması ile birlikte genel olarak meydana gelen azalma daha düşük düzeylerde kalmıştır. Buna göre toplam klorofil ortalama olarak sırasıyla %25, %20 ve %50; toplam karotenoid içeriğinde ise %13, %3 ve %4 şeklinde meydana gelmiştir. IAA uygulaması toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde, IAA uygulanmayan stres bitkilerine oranla %3-125 düzeyinde iyileşme sağlamıştır. IAA uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, değişimin en az olduğu dolayısıyla kontrol bitkilerine en yakın değerler ortaya koyan dozlar 0.25 ve 0.50 mM dozları olmuştur. Toplam klorofil içeriğinde bu dozlarda azalma %5-42 arasında gerçekleşirken; toplam karotenoid içeriğinde kontrol bitkilerine oranla %8-37 oranında artış meydana gelmiştir. Fotosentetik pigmentler, bitkilerin büyüme ve gelişmesi ile verim üzerinde doğrudan etkilidir. Tuz stresi özellikle fotosistem I ve II'de oluşan zararlanma ile CO<sub>2</sub> fiksasyonunda azalmaya neden olmaktadır. Bu durum bitki büyüme ve gelişmesinde azalmaya, klorofil ve membran parçalanmasına, yani kloroz ve nekrozlara neden olmaktadır (Husen vd., 2016). Domateste 200 mM NaCl uygulaması incelenen tüm genotiplerde toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Kaya and Okant (2013) ve Husen vd. (2016). IAA uygulamalarının foto sentetik pigmentlerin konsantrasyonunda iyileşme sağladığını ve çimde tuz stresi ile birlikte klorofil içeriğinde azalma meydana geldiğini ancak bu azalmanın IAA uygulanan bitkilerde daha düşük oranlarda seyrettiğini ifade etmişlerdir.

Domateste gerçekleştirilen bu çalışmada, toplam fenolik madde içeriği stres koşulları ile birlikte artış göstermiştir. Sadece NaCl uygulanan bitkiler ile karşılaştırıldığında, genotiplerdeki değişimler AG'de %7 (12.13 µg GAE ml<sup>-1</sup>), TOM-141'de %127 (25.90 µg GAE ml<sup>-1</sup>) ve TOM-139'da %52 (14.84 µg GAE ml<sup>-1</sup>) şeklinde belirlenmiş ve en yüksek artışın TOM-141 genotipinde olduğu belirlenmiştir. IAA uygulamaları toplam fenolik madde içeriğindeki artışı devam ettirmiştir. Bu artış %23-262 düzeyinde gerçekleşmiş ve sadece NaCl uygulanan bitkilere oranla %7-107 oranında daha yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip oldukları görülmüştür. Bu artışların en belirgin olarak TOM-139 genotipinde kendini hissettirmiştir. IAA uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde en etkili dozların genel olarak 0,25 ve 0,50 mM olduğu, TOM-139 genotipinde 1,0 mM IAA dozunun da kontrol bitkilerine oranla %212 artış ile dikkat çektiği belirlenmiştir.

Toplam flavanoid içeriği bakımından en yüksek değerler AG'de 19.51 mg QE 100g<sup>-1</sup>, TOM-141'de 19.31 mg QE 100g<sup>-1</sup> ve TOM-139'da 18.92 mg QE 100g<sup>-1</sup> olarak kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Stres koşulları ile birlikte toplam flavanoid içeriği azalma göstermiştir (Çizelge 3). Bu azalma, sadece NaCl uygulanan bitkiler ile karşılaştırıldığında, AG'de %9 (12.13 mg QE 100g<sup>-1</sup>), TOM-141'de %10 (25.90 mg QE 100g<sup>-1</sup>) ve TOM-139'da %5 (14.84 mg QE 100g<sup>-1</sup>) şeklinde belirlenmiş ve en yüksek değişimin TOM-141 genotipinde olduğu belirlenmiştir. IAA uygulamaları toplam flavanoid içeriğinde meydana gelen kayıpların %1-4 oranında önlenmesine imkan sağlamış ve kayıplar ortalama olarak %2-8 düzeyinde kalmasını sağlamıştır. IAA uygulamaları içerisinde değişimin en az olduğu uygulamalar 0.25 ve 0.50 mM IAA uygulamaları olmuş ve bu uygulamalarda kayıplar %1-9 düzeyinde kalmıştır (Çizelge 3).



**Çizelge 3.** Domateste tuz stresi koşullarında IAA uygulamalarının toplam klorofil, toplam karotenoid, toplam fenolik madde ve flavanoid içeriği üzerindeki etkisi (K: kontrol; T: 200 mM NaCl uygulaması).

*Table 3. The effect of IAA applications on total chlorophyll, total carotenoid, total phenolic substance and flavonoid content in tomatoes under salt stress conditions (K: control; T: 200 mM NaCl applications).*

Genotip	Uygulama	MDA ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ T.A)	Toplam Klorofil ( $\text{mg g}^{-1}$ T.A)	Toplam Karotenoid ( $\text{mg g}^{-1}$ T.A)	Toplam Fenolik Madde ( $\mu\text{g GAE ml}^{-1}$ )	Toplam Flavanoid ( $\text{mg QE } 100\text{g}^{-1}$ )
AG	K	3.58±0.93 <sup>k</sup>	2.44±0.13 <sup>ab</sup>	0.43	11.30±1.24 <sup>j</sup>	19.51
	T	13.32±2.85 <sup>d-g</sup>	1.46±0.05 <sup>h-k</sup>	0.33	12.13±0.81 <sup>ij</sup>	17.68
	0.05 IAA+T	11.55±1.26 <sup>fi</sup>	1.86±0.02 <sup>e-g</sup>	0.32	13.93±1.19 <sup>h-j</sup>	17.65
	0.25 IAA+T	7.48±0.2 <sup>lj</sup>	2.19±0.33 <sup>b-d</sup>	0.59	25.22±2.54 <sup>c-f</sup>	18.22
	0.50 IAA+T	8.55±1.08 <sup>ij</sup>	1.90±0.06 <sup>d-f</sup>	0.35	24.39±1.30 <sup>d-f</sup>	17.65
	0.75 IAA+T	9.26±1.15 <sup>h-j</sup>	1.78±0.08 <sup>h</sup>	0.32	22.14±2.61 <sup>e-g</sup>	17.21
	1.00 IAA+T	9.17±0.48 <sup>h-j</sup>	1.71±0.10 <sup>h</sup>	0.33	19.43±1.67 <sup>fi</sup>	18.01
	2.00 IAA+T	9.32±1.42 <sup>h-j</sup>	1.53±0.05 <sup>hi</sup>	0.31	20.48±2.77 <sup>e-h</sup>	18.40
TOM-141	K	2.82±0.85 <sup>k</sup>	2.27±0.16 <sup>bc</sup>	0.31	11.38±1.50 <sup>j</sup>	19.31
	T	13.84±2.17 <sup>c-f</sup>	1.38±0.13 <sup>i-k</sup>	0.21	25.90±1.25 <sup>c-f</sup>	17.31
	0.05 IAA+T	10.39±0.48 <sup>g-j</sup>	1.87±0.03 <sup>e-g</sup>	0.25	31.54±2.39 <sup>cd</sup>	17.50
	0.25 IAA+T	7.32±2.09 <sup>i</sup>	2.14±0.17 <sup>b-e</sup>	0.41	41.25±1.63 <sup>a</sup>	19.07
	0.50 IAA+T	10.90±0.90 <sup>fi</sup>	1.96±0.15 <sup>c-f</sup>	0.4	40.35±2.25 <sup>a</sup>	17.86
	0.75 IAA+T	12.94±4.82 <sup>d-g</sup>	1.74±0.14 <sup>h</sup>	0.27	32.44±1.05 <sup>bc</sup>	18.48
	1.00 IAA+T	12.03±0.39 <sup>e-h</sup>	1.67±0.10 <sup>fi</sup>	0.22	30.86±1.51 <sup>cd</sup>	17.81
	2.00 IAA+T	11.94±1.76 <sup>e-h</sup>	1.51±0.24 <sup>h-j</sup>	0.24	39.59±1.66 <sup>ab</sup>	17.47
TOM-139	K	3.39±0.44 <sup>k</sup>	2.68±0.18 <sup>a</sup>	0.45	9.72±0.89 <sup>j</sup>	18.92
	T	24.03±2.71 <sup>a</sup>	0.45±0.08 <sup>m</sup>	0.27	14.84±1.70 <sup>g-i</sup>	17.81
	0.05 IAA+T	17.07±2.90 <sup>b</sup>	1.00±0.10 <sup>l</sup>	0.33	15.97±1.65 <sup>g-i</sup>	18.40
	0.25 IAA+T	13.19±2.47 <sup>d-g</sup>	1.91±0.14 <sup>d-f</sup>	0.61	27.30±2.09 <sup>c-e</sup>	17.47
	0.50 IAA+T	15.67±0.20 <sup>b-d</sup>	1.55±0.26 <sup>g-i</sup>	0.49	27.18±1.47 <sup>c-f</sup>	17.65
	0.75 IAA+T	14.92±0.14 <sup>b-e</sup>	1.21±0.09 <sup>l</sup>	0.40	27.63±1.32 <sup>c-e</sup>	20.32
	1.00 IAA+T	15.94±2.51 <sup>b-d</sup>	1.16±0.08 <sup>kl</sup>	0.34	30.34±1.39 <sup>cd</sup>	18.43
	2.00 IAA+T	16.58±1.91 <sup>bc</sup>	1.38±0.22 <sup>i-k</sup>	0.34	28.23±1.50 <sup>c-e</sup>	18.07
<b>LSD<sub>0.05</sub></b>		3.08 <sup>**</sup>	0.32 <sup>**</sup>	Ö.D	7.75 <sup>*</sup>	Ö.D.

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001 LSD: Asgari önemli fark, Ö.D: Önemli değil

Bitkilerde sekonder metabolitler arasında yer alan fenolik bileşikler, antioksidan aktivite göstermeleri ile birlikte pek çok bitkisel metabolizmada görev yapmaktadırlar. Fenolik bileşiklerin antioksidan aktiviteleri, oksidasyon sonucu oluşan serbest radikallere hidrojen vererek onları söndürmesinden ileri gelmektedir (Es-Safi vd., 2007). Fenolik bileşikler, lipit alkolsil radikallerini yakalayan ve lipit peroksidasyonunu önlemektedir (Michalak, 2006). Flavanoidler ise yapıları ve elektrokimyasal özellikleri sayesinde lipit peroksidasyonunu baskılamakta, lipid oksidasyonunu indirgeyerek membran yapısını koruyan antioksidan etkinliklerde rol oynamaktadır (Eren Guzelgun vd., 2018). Antioksidan aktivite fenolik çeşitlerinde bulunan hidroksil grupların sayısı, konumu ve molekülün yapısına bağlı olarak

gerçekleşmektedir (Jovanović vd., 2018). Fenolik bileşikler içerisinde yer alan flavonoidler reaktif oksijen türlerini temizleyebilmektedir. Bitkiler tuz stresinden kaynaklanan oksidatif hasarı azaltmak için farklı adaptasyon mekanizmalarına sahiptir. Gerçekleştirilen bu çalışmada tuz stresi toplam fenolik bileşikler içeriğinde artışa (%152 artış), flavanoid içeriğinde ise azalmaya neden olmuştur. Ancak bu azalma IAA uygulamalarında daha düşük oranda gerçekleşmiştir.

Tuz uygulaması tüm genotiplerde Na ve Cl iyon birikimine neden olmuş ve dolayısıyla Na ve Cl içeriğinde artış meydana gelmiştir (Çizelge 4). Sodyum ve klor içeriği bakımından genotiplerdeki değişimler AG'de %591 (%4.22) ve %693 (%3.73), TOM-141'de %536 (%3.5) ve %498 (%4), TOM-139'da %661 (%6.47) ve %817 (%5.14) şeklinde belirlenmiş ve en yüksek Na ve Cl iyon artışının TOM-139 genotipinde olduğu belirlenmiştir. IAA uygulamaları toksik Na ve Cl iyon birikiminin sınırlandırılmasında etkili olmuştur. Ortalama olarak değerlendirildiğinde bu sınırlandırma %10-21 düzeyinde meydana gelmiştir. Özellikle 0.25, 0.50 ve 0.75 mM dozları daha etkili bulunmuş ve bu uygulamalarda sınırlandırma %12-32 düzeyinde değişim göstermiştir. Potasyum ve kalsiyum içeriği bakımından en yüksek değerler AG'de %4.77 ve %6.82, TOM-141'de %5.05 ve %7.06, TOM-139'da %5.46 ve 6.86 olmak üzere kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Tuz stresi K ve Ca iyon içeriğinde azalmaya neden olmuş, azalma AG 'de %25-30, TOM-141'de %21-27 ve TOM-139'da %56-61 olarak belirlenmiş ve kayıpların en fazla TOM-139 genotipinde meydana geldiği belirlenmiştir. IAA uygulamaları K ve Ca iyon içeriğinde meydana gelen kayıpların %1-69 oranında önlenmesine imkan sağlamış ve kayıplar %9-50 düzeyinde kalmasını sağlamıştır.

IAA uygulamaları içerisinde K ve Ca iyon kaybının en az olduğu uygulamalar 0.25 ve 0.50 mM IAA uygulamaları olmuş ve bu uygulamalarda kayıplar %9-37 düzeyinde kalmıştır (Çizelge 4). Tuz stresinin bitkilerde oluşturduğu zararlanmanın en önemli nedeni bitki bünyesinde biriken toksik iyon konsantrasyonudur. Yüksek düzeyde Na iyon alımı osmotik potansiyel dengesinin bozularak oksidatif zarara yol açmakta, hücrel ve bitki düzeyinde zarar oluşturduğu gibi moleküler anlamda da zararlanmalara neden olmaktadır (Yang ve Guo, 2018). Gerçekleştirilen bu çalışmada, tuz stresi ile birlikte yeşil aksam Na ve Cl iyonlarında değişen oranlarda artış meydana gelirken; K ve Ca iyonlarında azalma kaydedilmiştir. Bitkiler, K'un aktif absorpsiyon ile alınması ve birikimi ile hücre içerisindeki ozmotik potansiyelin artmasını ve hücreye daha fazla su girişini sağlamaktadırlar (Kuşvuran vd., 2015). Bu nedenle hücre içerisinde ozmotik dengenin korunmasında K konsantrasyonunun önemi büyüktür. Tuz stresi sonucu meydana gelen kuraklık stresi, kök hücrelerinden başlayarak diğer doku ve organlara besin maddesi akışının azalmasına, böylece farklı dokularda besin elementi eksikliklerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Tuz stresi nedeniyle ortaya çıkan su eksikliği dokularda Ca konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır. Ca iyonunun ksilemde taşınması ve floemdeki hareketliliğinin sınırlı olması, suyun kısıtlı olduğu durumlarda taşınımının da sınırlandırılmasına neden olmaktadır (Kuşvuran vd., 2021). Ancak IAA uygulaması ile birlikte Na ve Cl iyon alımında sınırlama belirlenmiş, K ve Ca iyonlarının ise korunduğu tespit edilmiştir. Kaya vd. (2010), kinetin ve IAA uygulamalarının Na alımını azaltarak, mitotik aktivitede etkili olan Ca ve K alımını artırdığını bildirmişlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmada IAA uygulaması ile Na birikimi %43 ve Cl iyon birikimi %20 düzeyinde azaltılırken; K ve Ca alımında %30 ve %22 düzeyinde artış sağlanmıştır. Mısırdaki tuz stresinin Na iyon birikiminde artışa neden olurken, K ve Ca iyon alımının engellendiğini belirten Kaya vd. (2010), IAA uygulamaları ile dokularda Na birikiminin azaldığını, K ve Ca birikiminde artış meydana geldiğini, bitkilerin toksik iyondan kaçınma strateji uygulayarak tolerans sağladıklarını belirtmişlerdir. Abd El-Samad (2013) tuz stresi koşullarında IAA uygulamalarının sürgün ve köklerde Na birikiminde azalmaya neden olduğu, bu azalmanın sürgünlerde köklere oranla daha belirgin olduğu ve Ca içeriğinin artış gösterdiğini bildirmiştir. Abdel Latef vd. (2021) baklada gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, tuz stresi koşullarında IAA uygulamaları ile birlikte K, Ca ve Mg iyon içeriğinde artış olurken Na iyon alımının sınırlandırıldığı ifade etmişlerdir.

**Çizelge 4.** Domateste tuz stresi koşullarında IAA uygulamalarının sodyum (Na), klor(Cl), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) içeriği üzerindeki etkisi (K: kontrol; T: 200 mM NaCl uygulaması).

Table 4. The effect of IAA applications on sodium (Na), chlorine (Cl), potassium (K) and calcium (Ca) content in tomatoes under salt stress conditions (K: control; T: 200 mM NaCl applications).

Genotip	Uygulama	Na(%)	Cl (%)	K (%)	Ca(%)
AG	K	0.61±0.07 <sup>k</sup>	0.47±0.09 <sup>o</sup>	4.77±0.27 <sup>b</sup>	6.82±0.06a
	T	4.22±0.12 <sup>de</sup>	3.73±0.16 <sup>gh</sup>	3.32±0.13 <sup>k</sup>	5.09±0.26g
	0.05 IAA+T	4.08±0.02 <sup>d-f</sup>	3.62±0.06 <sup>h</sup>	3.57±0.05 <sup>h-k</sup>	5.15±0.06g
	0.25 IAA+T	3.16±0.33 <sup>hi</sup>	2.97±0.20 <sup>m</sup>	4.16±0.13 <sup>cd</sup>	6.12±0.17bc
	0.50 IAA+T	3.71±0.29 <sup>fg</sup>	3.02±0.07 <sup>lm</sup>	3.89±0.08 <sup>d-g</sup>	6.20±0.04b
	0.75 IAA+T	3.80±0.35 <sup>fg</sup>	3.25±0.08 <sup>ij</sup>	3.95±0.13 <sup>d-f</sup>	5.87±0.12c-f
	1.00 IAA+T	3.89±0.23 <sup>ef</sup>	3.12±0.03 <sup>j-m</sup>	3.63±0.11 <sup>s-j</sup>	5.78±0.10d-f
	2.00 IAA+T	4.02±0.09 <sup>d-f</sup>	3.32±0.08 <sup>i</sup>	3.81±0.09 <sup>e-h</sup>	5.60±0.18f
TOM-141	K	0.55±0.11 <sup>k</sup>	0.67±0.07 <sup>n</sup>	5.05±0.54 <sup>b</sup>	7.06±0.49a
	T	3.50±0.03 <sup>gh</sup>	4.01±0.10 <sup>ef</sup>	3.68±0.03 <sup>fj</sup>	5.56±0.21f
	0.05 IAA+T	3.45±0.27 <sup>gh</sup>	3.89±0.08 <sup>fg</sup>	3.75±0.08 <sup>e-i</sup>	5.78±0.07ef
	0.25 IAA+T	2.58±0.62 <sup>j</sup>	3.06±0.06 <sup>k-m</sup>	4.32±0.20 <sup>c</sup>	6.34±0.20b
	0.50 IAA+T	3.03±0.22 <sup>i</sup>	3.17±0.08 <sup>i-l</sup>	4.11±0.09 <sup>cd</sup>	6.21±0.07b
	0.75 IAA+T	2.95±0.32 <sup>ij</sup>	3.28±0.02 <sup>ij</sup>	4.15±0.14 <sup>cd</sup>	6.11±0.09b-d
	1.00 IAA+T	3.20±0.03 <sup>hi</sup>	3.22±0.07 <sup>i-k</sup>	4.02±0.10 <sup>de</sup>	6.04±0.08b-e
	2.00 IAA+T	3.28±0.10 <sup>hi</sup>	3.59±0.10 <sup>h</sup>	3.94±0.04 <sup>d-f</sup>	5.82±0.10c-f
TOM-139	K	0.85±0.12 <sup>k</sup>	0.56±0.05 <sup>no</sup>	5.46±0.30 <sup>a</sup>	6.86±0.28a
	T	6.47±0.29 <sup>a</sup>	5.14±0.22 <sup>a</sup>	2.09±0.05 <sup>m</sup>	2.98±0.14j
	0.05 IAA+T	5.71±0.21 <sup>b</sup>	4.41±0.16 <sup>bc</sup>	2.70±0.12 <sup>l</sup>	3.48±0.52i
	0.25 IAA+T	4.36±0.12 <sup>d</sup>	4.03±0.06 <sup>ef</sup>	3.75±0.15 <sup>e-j</sup>	4.94±0.22g
	0.50 IAA+T	5.06±0.08 <sup>c</sup>	4.25±0.10 <sup>cd</sup>	3.59±0.10 <sup>h-k</sup>	4.28±0.06h
	0.75 IAA+T	5.15±0.18 <sup>c</sup>	4.18±0.03 <sup>de</sup>	3.46±0.22 <sup>k</sup>	4.37±0.14h
	1.00 IAA+T	4.99±0.21 <sup>c</sup>	4.59±0.20 <sup>b</sup>	3.50±0.04 <sup>i-k</sup>	4.12±0.10h
	2.00 IAA+T	5.26±0.13 <sup>c</sup>	4.40±0.16 <sup>c</sup>	3.55±0.10 <sup>h-k</sup>	4.10±0.05h
LSD <sub>0.05</sub>	0.37 <sup>**</sup>	0.18 <sup>**</sup>	0.28 <sup>**</sup>	0.32 <sup>**</sup>	

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001 LSD: Asgari önemli fark, Ö.D: Önemli değil

## SONUÇ

İklim değişikliğine bağlı olarak artan kuraklık ve beraberinde getirdiği tuzluluk bitki büyüme ve gelişmesi ile verim ve kaliteyi önemli düzeyde sınırlandırmaktadır. Bu olumsuzluklara karşı alınabilecek önlemlerin sınırlı olması ve zamanla tuzluluk problemlerinin tekrar ön plana çıkması, zaman ve masraflı olması gibi nedenler ile birlikte farklı yöntemlerin kullanımına gerek duyulmaktadır. Domateste genç bitki aşamasında gerçekleştirilen bu çalışmada, 200 mM NaCl uygulaması ile oluşturulan tuz stresi koşullarında bitki büyüme ve gelişmesi, yaprak oransal su içeriği, K ve Ca iyon birikimi gibi parametreler bakımından azalma meydana gelirken, MDA içeriği, Na ve Cl toksik iyon birikiminde artış görülmüştür. Bununla birlikte IAA uygulamaları Na ve Cl iyon birikiminin sınırlandırılması, ozmotik dengenin

korunması, sekonder metabolit içeriğindeki artış ve buna bağlı olarak bitki büyüme ve gelişmesinin teşvik edilmesi açısından etkili bulunmuştur. IAA dozları içerisinde 0.25 ve 0.50 mM IAA dozları, tuz stresinin zararlı etkisinin azaltılması, stres koşullarında bitki büyüme ve gelişmesinin teşvik edilmesi, dolayısıyla toleransın sağlanması açısından ön plana çıkmıştır. Elde edilen bulgular ışığında gelecekteki çalışmaların arazi koşullarında gerçekleştirilmesi, verim ve verim bileşenlerini de içeren geniş kapsamlı olarak planlanması önerilmektedir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### YAZAR KATKISI

Çalışmanın planlanması, gerçekleştirilmesi ve yazımında tüm yazarlar katkı sağlamıştır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KYO080120L04 numaralı proje ile desteklenmiştir.

### KAYNAKLAR

- Abd El-Samad, H. M. (2013). The physiological response of wheat plants to exogenous application of gibberellic acid (GA3) or indole-3-acetic acid (IAA) with endogenous ethylene under salt stress conditions. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5, 58-64. <https://doi.org/10.5897/IJPPB12.016>
- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M., & Rhaman, M. S. (2021). Exogenous auxin- mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11, 547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030547>
- Alam, M., Khan, M. A., Imtiaz, M., Khan, M. A., Naeem, M., Shah, S. A., & Khan, L. (2020). Indole-3-acetic acid rescues plant growth and yield of salinity stressed tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Gesunde Pflanzen*, 72, 87-95. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00489-z>
- Dasgan, H.Y., & Koc, S. (2009). Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 7, 363-372.
- Dasgan, H.Y., Bayram, M., Kusvuran, S., Coban, G., & Akhoundnejad, Y. (2018). Screening of tomatoes for their resistance to salinity and drought stress. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8, 31-37.
- Eren Guzelgun, B., Ince, E., & Gurer-Orhan, H. (2018). In vitro antioxidant/prooxidant effects of combined use of flavonoids. *Natural Product Research*, 32, 1446-1450. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1346637>
- Es-Safi, N. E., Ghidouche, S., & Ducrot, P.H. (2007). Flavonoids: hemisynthesis, reactivity, characterization and free radical scavenging activity. *Molecules*, 12, 2228-2258. <https://doi.org/10.3390/12092228>
- Husen, A., Iqbal, M., & Aref, I. M. (2016). IAA-induced alteration in growth and photosynthesis of pea plants grown under salt stress *Pisum sativum*. *Journal of Environmental Biology*, 37, 421-429.
- İşlek, C., Koç, E., & Sülün Üstün, A. (2010). Biber (*Capsicum annuum* L.) tohumlarında bazı bitki büyüme düzenleyicilerinin *in vitro* çimlenme üzerine etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bil. Enst. Dergisi*, 12, 42-49.
- Jovanović, S. V., Kukavica, B., Vidović, M., Morina, F., & Menckhoff, L. (2018). Class III Peroxidases: functions, localization and redox regulation of isoenzymes. In: D.K. Gupta, J.M. Palma, & F.J. Corpas (Eds.) *Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants* (pp. 269-300). Springer, Cham.
- Kaya, C., Tuna, A. L., Dikilitas, M., & Cullu, M. A. (2010). Responses of some enzymes and key growth parameters of salt-stressed maize plants to foliar and seed applications of kinetin and indole acetic acid. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 405-422. <https://doi.org/10.1080/01904160903470455>
- Kaya, C., & Okant T.A. (2013) Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*, 34, 529-538. <https://doi.org/10.3906/tar-0906-173>
- Khalid, A., & Aftab, F. (2020). Effect of exogenous application of IAA and GA3 on growth, protein content, and antioxidant enzymes of *Solanum tuberosum* L. grown *in vitro* under salt stress. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-10047-x>

- Kumlay, A. M., & Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişmesini düzenleyici maddeler: bitki hormonları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 47-56.
- Kuşvuran, A., Kiran, S.U., Nazlı, R.I., & Kusvuran S. (2015). Morphological response and ion regulation in maize (*Zea mays* L.) varieties under salt stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 124-131.
- Kusvuran, S., Kiran, S., & Altuntas, O. (2021). Influence of salt stress on different pepper genotypes: Ion homeostasis, antioxidant defense, and secondary metabolites. *Global Journal of Botanical Science*, 9, 14-20.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P., Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 495, 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>
- Molina-Quijada, D. M. A., Medina-Juárez, L. A., González-Aguilar, G. A., Robles-Sánchez, R. M., & Gámez-Meza, N. (2010). Phenolic compounds and antioxidant activity of table grape (*Vitis vinifera* L.) skin from northwest Mexico. *CyTA-Journal of Food*, 8, 57-63.
- Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 523-530.
- Nielsen, S. S. (2017). Sodium determination using ion-selective electrodes, Mohr titration, and test strips. In S.S. Nielsen (Eds.), *Food Analysis Laboratory Manual* (pp. 161-170). Springer, Cham.
- Ünlükara, A., Cemek, B., & Karadavut, S. (2006). Farklı çevre koşulları ile sulama suyu tuzluluğu ilişkilerinin domatesin büyüme, gelişme, verim ve kalitesi üzerindeki etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23, 15-23.
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses. *New Phytologist*, 217, 523-539. <https://doi.org/10.1111/nph.14920>
- Yılmaz, E., Tuna, A., & Bürün, B. (2011). Bitkilerin tuz stresi etkilerine karşı geliştirdikleri tolerans stratejileri. *Celal Bayar University Journal of Science*, 7, 47-66.