

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARULDA SELENYUM UYGULAMALARININ TUZA TOLERANSIN  
SAĞLANMASI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Alaattin SOYLU

TARIM VE YAŞAM BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI  
2024

Her hakkı saklıdır

## TEZ ONAYI

Alaattin SOYLU tarafından hazırlanan “**Marulda selenyum uygulamalarının tuza toleransın sağlanması üzerindeki etkisi**” adlı tez çalışması 16/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

**Jüri Üyeleri** :

**Başkan** : Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

**Üye** : Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DURUKAN KUM

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ersoy YILMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Marulda selenyum uygulamalarının tuza toleransın sağlanması üzerindeki etkisi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (11/08/2024).

**Alaattin SOYLU**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MARULDA SELENYUM UYGULAMALARININ TUZA TOLERANSIN SAĞLANMASI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Alaattin SOYLU

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

Marulda tuza toleransın artırılmasına yönelik olarak Selenyum (Se) uygulamalarının etkinliğinin araştırıldığı çalışma su kültürü koşullarında gerçekleştirilmiş olup materyal olarak Caipira (Şakira) kıvırcık marul çeşidi (Batavia tipi) kullanılmıştır. Stres bitkileri için, fide dikiminden 20 gün sonra 100 mM NaCl (tuz) dozu uygulanmış, Se uygulamalarında ise tuz stresi ile birlikte 5 ve 10 µM dozları, haftada bir kez olmak üzere yapraktan spreyleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Stres sonunda hasat edilen bitkiler, yeşil aksam, yaş ve kuru ağırlıkları, bitki boyu, bitki çevre ve taç genişliği, kök boğazı çapı, yaprak alanı, toplam verim, yaprak su oransal içeriği (YOSİ), yeşil aksam Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup> ve Ca<sup>+2</sup> içeriği, malondialdehit (MDA), toplam klorofil ve karotenoid içeriği bakımından incelenmiştir. Tuz stresi bitki büyüme parametreleri, toplam verim ile YOSİ, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde azalmaya neden olmuş; Na ve Cl iyon konsantrasyonu ile MDA içeriğinde ise artış meydana gelmiştir. Buna karşın, tuz stresi ile birlikte Se uygulamalarında tuz stresine oranla ortalama olarak yaş ve kuru ağırlıkta %28-57; bitki boyu ve kök boğazı çapında %16-34; bitki çevre ve taç genişliğinde %13-28; yaprak alanında %41-89, toplam verimde %106-127, YOSİ değerlerinde %22-40; K içeriğinde %26-39; Ca<sup>+2</sup> içeriğinde %67-104; fotosentetik pigmentlerde %13-110 oranlarında iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca Na<sup>+</sup> iyon alımı %23-43, Cl<sup>-</sup> iyon alımı %15-31 düzeyinde sınırlandırılırken; MDA içeriğindeki artış %25-49 düzeyinde sınırlanmıştır. Çalışma sonucunda, Selenyum uygulamalarının tuz stresi ile ortaya çıkan zararlanmayı değişen oranlarda iyileştirdiği ve toleransı artırmada etkili olduğu, uygulamalar arasında bu olumlu etki açısından 10 µM Se dozunun ön plana çıktığı belirlenmiştir.

2024, 45 sayfa

**ANAHTAR KELİMELER:** *Lactuca sativa*, MDA, Selenyum, Sodyum klorür, Tuz Stresi

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### THE EFFECT of SELENIUM APPLICATIONS ON SALT TOLERANCE in LETTUCE

Alaattin SOYLU

Çankırı Karatekin University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Agriculture and Life Sciences

Advisor: Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

A study investigating the effectiveness of Selenium (Se) applications for increasing salt tolerance in lettuce was carried out under aquaculture conditions and Caipira (Şakira) curly lettuce variety (Batavia type) was used as the material. For stressed plants, 100 mM NaCl (salt) dose was applied 20 days after seedling planting, and in Se applications, 5 and 10 µM doses were sprayed on the leaves once a week together with salt stress. Plants harvested at the end of stress were examined in terms of green parts, fresh and dry weights, plant height, plant circumference and crown width, root collar diameter, leaf area, total yield, leaf relative water content (ROWC), green parts Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>+2</sup> contents, malondialdehyde (MDA), total chlorophyll and carotenoid contents. Salt stress caused a decrease in plant growth parameters, total yield, and ROWC, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, total chlorophyll and carotenoid contents; There was an increase in Na and Cl ion concentrations and MDA content. On the other hand, in Se applications with salt stress, on average, compared to salt stress, improvements were achieved by 28-57% in fresh and dry weight; 16-34% in plant height and root collar diameter; 13-28% in plant circumference and crown width; 41-89% in leaf area, 106-127% in total yield, 22-40% in YOSI values; 26-39% in K<sup>+</sup> content; 67-104% in Ca<sup>+2</sup> content; and 13-110% in photosynthetic pigments. In addition, while Na<sup>+</sup> ion uptake was limited to 23-43% and Cl<sup>-</sup> ion uptake was limited to 15-31%; the increase in MDA content was limited to 25-49%. As a result of the study, it was determined that Selenium applications improved the damage caused by salt stress at varying rates and were effective in increasing tolerance, and 10 µM Se dose stood out in terms of this positive effect among the applications.

**2024, 45 pages**

**Keywords:** *Lactuca sativa*, MDA, Silicon, Sodium chloride, Salt stress

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca gerek akademik gerekse günlük hayatımda ihtiyacım olduğu anlarda bilgi, öneri ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında kendisini hep yanımda hissettiğim içtenliği, sabrı ve gülümsemesi ile her zaman yanımda hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim yaşamım boyunca her zaman maddi, manevi desteğini esirgemeyen rahmetli olan Anneme, yüksek lisansa başlamam için en güçlü motivasyon kaynağım, her daim yanımda olan Babama sonsuz teşekkür ederim.

**Alaattin SOYLU**

**Çankırı, Ağustos 2024**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
2.1. Tuz Stresinin Etkileri.....	4
2.2. Tuz Stresi ve Selenyum .....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
3. 1. Materyal .....	10
3. 2. Yöntem .....	10
3.2.1 Stres Uygulamaları.....	11
3.2.2 Ölçüm ve analizler.....	14
3.3. Verilerin Değerlendirilmesi.....	16
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	17
4.1 Yaş ve Kuru Ağırlıkları.....	17
4.2 Bitki Boyu .....	18
4.3 Bitkilerin Çevre ve Taç Genişliği.....	19
4.4 Yaprak Alanı .....	20
4.5 Marul Bitkilerinde Kök Boğazı Çapı .....	21
4.6 Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı.....	22
4.7 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ).....	24
4.8 Toplam Verim .....	24
4.9 Malondialdehid (MDA) İçeriği .....	25
4.10 Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği .....	26
4.11. İyon İçerikleri.....	27
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	36

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>38</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## SİMGELER DİZİNİ

EC	Elektriksel iletkenlik
g	Gram
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
L	Litre
mg	Miligram
mM	Milimolar
K	Potasyum
cm	Santimetre
cm <sup>2</sup>	Santimetre kare
Se	Selenyum
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
%	Yüzde

## KISALTMALAR DİZİNİ

LSD	Az önemli fark testi
MDA	Malondialdehit
ROS	Reaktif oksijen türleri
SOD	Süperoksit dismutaz
YOSİ	Yaprak oransal su içeriği
Se	Selenyum
Uygul.	Uygulamaları



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Marul fidelerinin su kültürüne alınması.....	12
Şekil 3.2 Su kültüründe yetiştirilen marul bitkileri.....	12
Şekil 3.3 Marulda uygulamaların gerçekleştirilmesi .....	13
Şekil 3.4 Marulda farklı Nano- Se uygulamaları .....	13
Şekil 3.5 Marulda hasat sonrası ölçümlerin gerçekleştirilmesi.....	15
Şekil 4.1. Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının yaş ağırlık üzerindeki etkisi .....	17
Şekil 4.2 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının kuru ağırlık üzerindeki etkisi .....	18
Şekil 4.3 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının bitki boyu üzerindeki etkisi .....	18
Şekil 4.4 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının bitki çevre genişliği üzerindeki etkisi.....	19
Şekil 4.5 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının bitki taç genişliği üzerindeki etkisi.....	20
Şekil 4.6 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının yaprak alanı üzerindeki etkisi .....	21
Şekil 4.7 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının kök boğazı çapı üzerindeki etkisi .....	22
Şekil 4.8 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerindeki etkisi .....	23
Şekil 4.9 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 4.10 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının YOSİ üzerindeki etkisi	24
Şekil 4.11 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının toplam verim üzerindeki etkisi .....	25
Şekil 4.12 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının toplam MDA içeriği üzerindeki etkisi.....	26
Şekil 4.13 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının toplam klorofil üzerindeki etkisi .....	27
Şekil 4.14 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının toplam karatonoid üzerindeki etkisi.....	27
Şekil 4.15 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının NA içeriği üzerindeki etkisi .....	28
Şekil 4.16 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının Cl içeriği üzerindeki etkisi .....	28
Şekil 4.17 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının K içeriği üzerindeki etkisi .....	29
Şekil 4.18 Marulda tuz stresi koşullarında Se uygulam. Ca içeriği üzerindeki etkisi.....	30

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Marulda Tuz ve Se Uygulamaları .....	11
--	----



## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması beslenme ihtiyacını da artırmaktadır (Mora *et al.* 2020). Gıda ihtiyacına olan talepteki artış ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri göz önüne alındığında, tarımsal faaliyetler yetersiz kalmaktadır (Lowry *et al.* 2019). Bu nedenle, tarımsal üretimde verimlilik ön plana çıkmakta ve mevcut üretim alanlarından maksimum verimi elde etmek için çalışmalar hızlanmaktadır. Dünya çapında gıda güvenliği, kalitesi ve bitki verimliliği, kuraklık, yüksek sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörleri tarafından sınırlanabilmektedir (Zhao *et al.* 2021).

Bitkisel verimliliği etkileyen kayıpların %50'si tuz stresi nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Zhao *et al.* 2021). Tuzluluk, tarım ve gıda güvenliği üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Bu yüzden, tuz stresine dayanıklılığın sağlanması, dünya genelinde gıda güvenliğinin güçlenmesine ve tarımın sürdürülebilir bir biçimde devam etmesine olanak tanıyan önemli bir faktördür.

Tuzluluk, bitkilerin büyümesini ve gelişimini, dolayısıyla verimini olumsuz yönde etkileyen temel kısıtlayıcı faktörlerden biridir. Tuzluluk, toprakta bulunan kalsiyum, magnezyum, klor ve sülfat seviyelerinin değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkabilir. Özellikle sodyum ve sodyum karbonat tuzlarının neden olduğu alkalın hidroliz bu duruma yol açmaktadır (Torun 2023).

Tuz stresi bitkilerde farklı fizyolojik süreçlerini engelleyerek zarar vermektedir. Topraktaki sodyum (Na) seviyesinin artması, bitkilerin su ve besin alımını kısıtlar. Tuz stresi, ozmotik stres, iyonik stres, su eksikliği ve beslenme dengesizliği gibi birincil streslere neden olurken, oksidatif stres bu birincil streslerin bir sonucu olarak ortaya çıkar ve aynı zamanda ikincil bir stres faktörü olarak işlev görebilir. Tuz stresi, çeşitli fizyolojik ve moleküler değişikliklere yol açarak fotosentez oranını düşürür ve bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkiler (Van Zelm *et al.* 2020, Gong 2021).

Bitkiler için selenyumun (Se) gerekli olduğu henüz belirlenmemiş olsa da, düşük konsantrasyonlarda Se faydalı olabileceğini ve bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Son yirmi yıl içerisinde, birçok araştırmacı selenyumun bitkilerde oynadığı fizyolojik rolünü incelemiştir (Hasanuzzaman *et al.* 2013, Bybordi. 2016, Bybordi *et al.* 2018). Günümüzde selenyumun, tuzluluk ve kuraklık da dahil olmak üzere çeşitli abiyotik ve biyotik streslere tolerans geliştirmede önemli bir rol oynadığı da ifade edilmektedir.

Marul, yeşil yapraklı sebzeler arasında önemli bir yer tutar ve en büyük üreticisi Çin'dir. Çin, dünya marul üretiminin %60'ını karşılayarak 10 milyon 725 bin 853 tonluk bir üretim gerçekleştirirken, ABD 4 milyon 186 bin 674 tonla ikinci, Hindistan ise 939 bin 993 tonla üçüncü sıradadır. İspanya (958 bin 529 ton), İtalya (855 bin 467 ton), Japonya (552 bin 705 ton), Fransa (427 bin 423 ton), İran (343 bin 050 ton), Türkiye (391 bin 432 ton) ve Meksika (343 bin 050 ton) diğer büyük marul üreticisi ülkeler arasında yer alır (FAO, 2020). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2021 yılında Türkiye'de toplam 527 bin 600 ton marul üretilmiştir. Bu miktarın 224 bin 800 tonu kıvırcık marul, 208 bin tonu göbekli marul ve 94 bin 800 tonu ise iceberg maruludur. Salata-marul türleri, Asteraceae (Compositae) familyasından *Lactuca* cinsine ait olup, genellikle tek yıllık sebzeler arasında sınıflandırılır. Üretimleri genellikle sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde yapılır ve salata-marul, yaprak ve yenilen kısımlarının yapısına göre dört botanik türü altında gruplandırılır (Keskin 2022).

Yaprakları taze olarak tüketilen sebze türleri arasında yer alan marul (*Lactuca sativa* L.), C vitaminleri, karotenoidler, antioksidanlar ve flavanoller açısından zengin bir türdür. Maruldaki besin bileşenlerinin, kardiyovasküler hastalık ve belirli kanser riskinde azalma dahil olmak üzere sağlık açısından önemli bir yere sahip olduğu belirlenmiştir (Hung *et al.* 2004). Marul nispeten tuza duyarlı bir sebze olarak bildirilmektedir (Xu and Mou 2015). Tohum çimlenmesi, sürgünün taze ve kuru ağırlığı ve marulun kök ağırlığı tuzluluk nedeniyle hem iyonik hem de ozmotik değişimlere bağlı olarak olumsuz etkilenmektedir (Barassi *et al.* 2006). Bu nedenle marulda tuzluluk koşullarında büyüme ve gelişmesi ile verimi artırıcı çalışmaların yaygınlaştırılması önemlidir.

Bu doğrultuda selenyum uygulamalarının marulda tuz stresi karşısında bitki büyüme ve gelişme, dolayısıyla tuza tolerans bakımından etkilerinin incelenmesi bu çalışmanın en önemli amacını oluşturmaktadır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1 Tuz Stresinin Etkileri

Marulda tuz stresinin fizyolojik ve biyokimyasal değişimler üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada 3 farklı tuz dozuna yer verilmiştir. Stres koşullarında yaş ağırlık, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, renk, klorofil a ve b içeriklerinde azalma meydana gelirken; suda çözünebilir kuru madde içeriği, elastikiyet, fenolik madde içeriğinde artış meydana gelmiştir (Garrido *et al.* 2014).

(Ahmed *et al.* 2019) marulda 0, 50, 150 ve 200 mM NaCl uygulamalarının morfolojik (gövde uzunluğu, kök uzunluğu, toplam bitki ağırlığı, yaprak sayısı), fizyolojik (su içeriği ve oransal su içeriği) ve biyokimyasal (prolin, protein, fenolik bileşikler, indirgenmiş ve indirgenmemiş şeker içeriği) değişimler üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, stres uygulamasından 21 gün sonra morfolojik ve fizyolojik parametrelerde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar tuz konsantrasyonundaki artış ile birlikte prolin ve protein içeriğinde artış meydana geldiğini ancak toplam fenol içeriğinde azalma meydana geldiğini, şeker içeriğinin ise 50 mM NaCl dozu dışındaki tuz konsantrasyonlarında artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda marulun 50 mM NaCl dozu üzerindeki tuz dozlarına karşı hassas olduğu bildirilmiştir (Ahmed *et al.* 2019).

(Hniliková *et al.* 2019) marulda tuz stresinin (0, 50, 100, 200 ve 300 mM NaCl) etkilerini inceledikleri çalışmalarında, bitki kuru ağırlıklarında azalma meydana gelirken, elektriksel geçirgenlik ve Na<sup>+</sup> iyon alımında artış meydana geldiğini, daha dūřük K/Na oranına sahip olduğunu, en dūřük tuz konsantrasyonları da dahil olmak üzere tuz stresinden önemli ölçüde olumsuz etkilendiğini ifade etmişlerdir (Hniliková *et al.* 2019).

Farklı sodyum klorür konsantrasyonlarında (0, 50, 100, 200, 300 ve 400 mM) sekiz gün süre ile yetiştirilen marul bitkilerinde klorofil floresan (CF), büyüme parametreleri, fitokimyasal içerikler [prolin, klorofil, askorbik asit, toplam fenol içeriği (TPC), toplam

flavonoid içeriği (TFC)] ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. İki gün süre ile gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, CF, büyüme parametreleri ve fitokimyasal içerikler ilerleyen stres süresi ve artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermiş, bu parametreler ile fotosentetik aktiviteler 400 mM NaCl uygulamasında önemli azalmalar göstermiştir (Shin *et al.* 2020).

Marulda farklı genotiplerin 100 mM NaCl ile gerçekleştirilen tuz stresi karşısında tolerans düzeyleri incelenmiştir. Otuz sekiz farklı marul genotipinin yer aldığı çalışmada bitkiler morfolojik ve fizyolojik parametreler bakımından değerlendirilmişlerdir. İncelenen genotipler bakımından PI 212099, Buttercrunch-1 ve PI 171676 tuz stresine tolerans düzeyleri en yüksek genotipler olarak belirlenmiştir (Adhikari *et al.* 2021).

(Bres *et al.* 2022), su kültürü koşullarında gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında farklı konsantrasyonlardaki NaCl (10, 20, 40 ve 60 mmol L<sup>-1</sup>) uygulamalarının marulda fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tuz stresi özellikle 60 mmol L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda, N (-11%), K (-35.7%), Mg (-24.5%) içeriğinde azalmaya yol açarken; Na<sup>+</sup> içeriğinde %2400 düzeyinde artış meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak Na ve K oranında artış ortaya çıkmıştır. Marul yapraklarındaki Cl<sup>-</sup> iyon içeriğindeki artık nitrat içeriğinde azalmaya neden olmuş, yaprak oransal su içeriği ile bitki büyüme parametrelerinde kontrol bitkilerine oranla kayıplar meydana gelmiştir (Bres *et al.* 2022).

Tuz stresinin bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres koşullarından biri olduğunu ifade eden (Sardar *et al.* 2023), marulda farklı tuz konsantrasyonlarda uyguladıkları (25, 50, 75 ve 100 mM NaCl) tuz stresi koşullarında bitki büyüme ve gelişmesi, verim, karotenoid ve fotosentetik pigment içerikleri, K<sup>+</sup> iyon içeriği bakımından kontrol bitkilerine oranla azalma, bununla birlikte MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği, antioksidatif enzim aktivitelerinde ise artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir (Sardar *et al.* 2023).

Tuz stresinin etkisi, büyük ölçüde iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle her yıl daha yaygın hale geldiğini ifade eden (Adhikari *et al.* 2023), marulda sodyum klorür (NaCl)

farklı dozlarının (0, 50, 100 ve 150 mM) geç bitki ve erken baş oluşumu aşamalarında büyümesi ve beslenmesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Stres sonucu Sonuçlar, her iki aşamada da artan NaCl dozuna bağlı olarak yaş ağırlıkta %76 oranında azalma meydana gelmiş, stoma iletkenliğinde azalma meydana gelirken karbon asimilasyonunu sabit kalmıştır. Tuz stresi altında B ve Fe iyon konsantrasyonunda artış, P ve Ca iyon içeriklerinde ise kontrol bitkilerine oranla azalma meydana gelmiştir. Fenolikler ve şekerler tuz stresi altında doğrusal olarak artmıştır, Tuz uygulaması ile sodyum/potasyum iyon oranı arasındaki pozitif ilişki, marulun her iki aşamada da tuz stresine tolerans düzeyinin belirlenmesinde etkili bulunmuştur (Adhıkarı *et al.* 2023).

## 2.2 Tuz Stresi ve Selenyum

Toprakta veya diğer bitki yetiştirme ortamlarında yüksek tuzluluk, ozmotik potansiyeli düşürerek su alımını azaltır. Bu durum, hücrelerde su kaybına ve stoma kapanmasına yol açar (Chokshi *et al.* 2017). Ozmotik stres ve iyon toksisitesi bitkilerin fotosistemlerini bozar ve aşırı miktarda reaktif oksijen türleri (ROS) ( $1O_2$ ,  $O_2^{\bullet-}$ ,  $H_2O_2$  ve  $OH^{\bullet}$ ) üretir (Hasanüzzaman *et al.* 2013).

Marulda gerçekleştirilen bir çalışmada, tuz stresi koşullarında Se uygulamasının yaprak oransal su içeriği ve klorofil içeriğinde iyileşme sağladığı bildirilmiştir (Khalifa *et al.* 2016). Selenyum (Se), antioksidan özellikleri ile bilinir ve stres koşullarında, özellikle su ve tuz stresi altında, reaktif oksijen türlerini temizleme yeteneğine sahip olduğu bildirilmiştir.

(Ardebili *et al.* 2014) Se ve salisilik asit (SA) uygulamalarında antioksidan sistem üzerindeki olumlu etkilere bağlı olarak fotosentez ve azot metabolizmasındaki olumsuzlukların sınırlandırılabilceği böylece tuz stresine tolerans düzeyinin artabileceğini ifade etmişlerdir (Keling *et al.* 2013). Tuz stresi koşullarında Se uygulamaları ile kavunda MDA düzeyinde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

(Nawaz *et al.* 2016), 40 ppm selenyum (Se) uygulamasının mısır bitkisinde süperoksit dismutaz (SOD) %53, katalaz (CAT) %30, peroksidaz (POD) %27 ve askorbik asit peroksidaz (APX) %27 enzimlerinin aktivitelerinde artış sağladığını rapor etmişlerdir. Se uygulamasının tuz stresi altında, kanola (Hashem *et al.* 2013), dereotu (Shekari *et al.* 2017), soğan (Bybordi *et al.* 2018) ve domates (Mozafariyan *et al.* 2016) gibi bitkilerde POD ve CAT aktivitelerini artırdığı belirlenmiştir (Shekari *et al.* 2017). Dereotunda Se uygulamasının stres koşullarında SOD ve CAT aktivitelerini anlamlı şekilde artırdığını, ancak MDA içeriğinin yüksek kaldığını ve bu nedenle ROS üretiminin antioksidanlar tarafından temizlenenden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Kanola bitkisinde, zeolit ve Se uygulamalarının tuz stresi altında yaprak bağıl su içeriği, klorofil içeriği ve fotosentez oranını artırdığı, en yüksek bağıl su içeriği ve fotosentez oranlarının 10 ton/ha zeolit ve 4 g/L Se uygulaması ile sağlandığı bildirilmiştir (Bybordi. 2016).

(Bybordi. 2016) ve arkadaşları, farklı Se uygulama dozlarının (2.5, 5, 10 ppm) Giza 716 bakla çeşidinde bitki boyu ve gövde çapında anlamlı bir artış sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, (Jiang *et al.* 2017) tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde 1 µM Se uygulamasının mısır bitkisinin boyunu önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

(Shalaby *et al.* 2017) Se (100 ppm) uygulamasının tuzluluğun marulda büyüme ve gelişime üzerindeki olumsuz etkisini hafiflettiğini, baş ağırlığını, yaprak alanını, yaprak kuru ağırlığını ve klorofil içeriğini kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında sırasıyla %46,4, %66,4, %61,8 ve %31,5 oranında arttırdığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, 100 ppm Se kullanımı sonucunda katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) aktiviteleri sırasıyla %108,8 ve %123,6 oranında artmış, marul yapraklarından elektrolit sızmasını kontrole göre %68,4 oranında azaltmıştır. Se'nin (100 ppm) tuzluluk altında marul üzerindeki olumlu etkisi, kontrole göre %42,1 oranında artan toplam verim verileriyle tamamen doğrulanmıştır. Yaprak uygulaması, maruldaki Se içeriğini toksik seviyeyi aşmadan artırmış ve topraktaki kalıntı Se diğer uygulamalar arasında en düşük olmuştur. Mevcut çalışmada, tuzdan etkilenen topraklarda marulun Se (100 ppm) ile püskürtülmesinin

büyüme, antioksidan kapasitesi, Se zenginleşmesi ve verim kalitesini iyileştirdiği rapor edilmektedir (Shalaby *et al.* 2017).

(Karimi *et al.* 2020), selenyumun (Se) dört seviyede ( $\text{Na}_2\text{OSe}_4$ ; 0, 5, 10 ve 20 mg L<sup>-1</sup>) yaprak uygulamasının, asmada farklı tuzluluk seviyelerinde (NaCl; 0 veya 75 mM) bazı fitokimyasal özellikleri üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Asmalar haftada iki kez büyüme dönemi boyunca bitki boyu, yaprak sayısı ve yaprak alanı incelenmiş ve fitokimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Se uygulamasının, özellikle 5 mg L<sup>-1</sup> ve bir dereceye kadar 10 mg L<sup>-1</sup> Se seviyelerinde, bitki boyu, yaprak sayısı, yaprak alanı ve fotosentetik pigment içeriği üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür. Tuzluluk stresi altında, 5 mg L<sup>-1</sup> dozda Se'nin yaprak uygulaması elektrolit sızmasını ve lipid peroksidasyon değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Selenyum, tuzluluk stresi (75 mM NaCl) kaynaklı toplam fenol, toplam flavonoid, çözümlü şekerler ve asma yapraklarındaki prolin içeriğini artırmış, 5 ve 10 mg L<sup>-1</sup> dozlarında tuzluluk ve Se'nin etkileşimi, antioksidan enzim aktivitelerini iyileştirmiştir. Benzer şekilde, Se'nin yaprak uygulaması, 75 mM NaCl ile uygulanan asmalarda yaprak mineral içeriği bakımından olumlu katkısı bulunmuştur. Çalışma sonucunda, selenyumun (5 veya 10 mg L<sup>-1</sup> dozda Se) yaprak uygulaması, besin dengesindeki iyileşme ve asma yapraklarındaki enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan kapasite yoluyla tuz toleransını artırdığı ifade edilmiştir (Karimi *et al.* 2020).

Darı bitkisinde tuz stresini azaltmada Se'nin rolünün değerlendirildiği çalışmada, tuzluluk stresine (150 mM NaCl) ve üç konsantrasyonda Se (1 µM, 5 µM ve 10 µM) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Se (1 µM), 150 mM NaCl stresi altındaki darı bitkilerinin taze ağırlığını %44,14, biyokütle birikimini %46,78, sürgün uzunluğunu %95,42 ve kök uzunluğunu %19,45 oranında iyileştirmiştir. Se, süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz, guaiakol peroksidazlar, glutatyon-S-transferazlar ve glutatyon redüktaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini sırasıyla %24,37, %28,59, %18,99, %45,46, %24,5 ve %11,37 oranında artırmıştır. Ayrıca prolin, glisin betain ve toplam çözümlü şeker gibi ozmolit seviyelerini sırasıyla %37,98, %17,33 ve %22,31 oranında iyileştirmiş, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriğini %20,68 oranında azaltmıştır. Se uygulaması SOS1, SOS2, SOS3, HKT ve NHX taşıyıcılarının ekspresyonunu sırasıyla 3,1, 6,1, 3,4, 3,1 ve 2,8 kat artırmıştır. Sonuç

olarak, düşük dozlarda Se, antioksidan mekanizmayı güçlendirerek ve Na<sup>+</sup> taşıyıcılarını düzenleyerek bitkinin savunma mekanizmalarını geliştirmiş, böylece tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini azaltmıştır (Rasool *et al.*2023).



### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

Araştırmada, Caipira (şakira) kıvırcık marul çeşidine (Batavia tipi) yer verilmiştir.

#### **3.2 Yöntem**

ankırı Karatekin Üniversitesi Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu'nun araştırma ve uygulama sırasında yapılan çalışmada, fideler özel bir tedarik firmasından alınmıştır. Fideler, 50 litre hacmindeki sert plastikten yapılmış 105 x 55 cm boyutlarındaki PVC kaplarda, bitki köklerinin besin çözeltisi içinde kalacak şekilde durgun su kültürü yöntemi kullanılarak yetiştirilmiştir (şekil 3.1 ve 3.2). Bitki besleme amacıyla stok özeltiler, Stok A ve Stok B adında iki ayrı gübre tankında hazırlanmıştır. Marul bitkisi için kullanılan su kültürü besin çözeltisinin element konsantrasyonları izelge 3.1'de yer almaktadır.

Çalışmada stres ve kontrol uygulamaları 3 tekrarlamalı olarak düzenlenmiş ve her tekrarda 10 bitki olacak şekilde planlanmıştır. Tesadüf blokları deneme deseni kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1** Su kültürü çalışmasında marul yetiştiriciliği için kullanılan besin çözeltisi (Keskin 2022).

Mineral besin elementi	Konsantrasyon (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Azot (N)</b>	230
<b>Fosfor (P)</b>	50
<b>Kalsiyum (Ca)</b>	220
<b>Magnezyum (Mg)</b>	60
<b>Demir (Fe)</b>	4,0
<b>Çinko (Zn)</b>	0,50
<b>Bor (B)</b>	0,51
<b>Bakır (Cu)</b>	0,23
<b>Molibden (Mo)</b>	0,18
<b>Mangan (Mn)</b>	0,78

### 3.2.1 Stres Uygulamaları

Fideler saksılara şaşırtıldıktan 20 gün sonra tuz stresi uygulamalarına başlanmıştır. Bu amaçla çalışmada 0 (kontrol) ve 100 mM NaCl dozuna yer verilmiştir. Selenyum uygulaması için Se kaynağı olarak sodyum selenat (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>) kullanılmış olup, 5 ve 10 µM olmak üzere 2 farklı konsantrasyon çalışmaya dahil edilmiş uygulamalar yapraktan spreyleme şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Kontrol bitkilerinde herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Buna göre çalışmada yer alan uygulamalar aşağıda belirtilmiştir.

1. Kontrol
2. Tuz (100 mM NaCl)
3. Tuz (100 mM NaCl)+ Se 5 µM
4. Tuz (100 mM NaCl)+ Se 10 µM



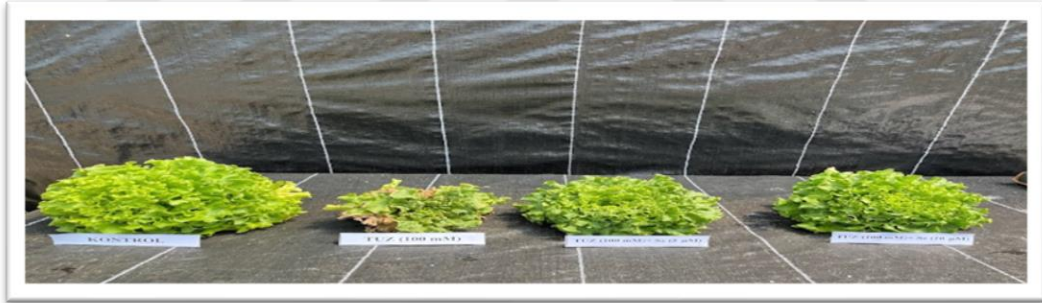
**Şekil 3.1** Marul fidelerinin su kültürüne alınması



**Şekil 3.2** Su kültüründe yetiştirilen marul ürünleri



Şekil 3.3 Marulda uygulamaların gerçekleştirilmesi



Şekil 3.4 Marulda tuz ve farklı dozlarda Se uygulamalarının etkileri

### 3.2.2 Ölçüm ve analizler

#### Yaş ve kuru ağırlıklar

Marul üzerinde yapılan çalışmada, stres uygulamasının ardından on yedi gün beklenmiş ve bitkiler hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerin yaş ağırlıkları hassas terazilerle ölçülmüş, ardından 65 °C'de 48 saat süreyle kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

#### Bitki boyu

Hasat edilen marul bitkilerinin boyları, santimetre ( $\pm 0,5$ ) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 3.4).

#### Bitkilerin çevre ve taç genişliği (cm)

Marul bitkilerinin çevresi ve taç genişliği de santimetre ( $\pm 0,5$ ) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 3.4).

#### Kök boğazı çapı (mm)

Kök boğazı çapı, marul bitkilerinin köklerin hemen üzerinde yaprakların çıktığı gövdenin genişliği, kumpas kullanılarak milimetre (mm) cinsinden ölçülmüştür.

#### Yaprak alanı

Yaprak alanı CI BIO Science CI 202 model yaprak alan ölçer cihazı ile  $\text{cm}^2/\text{bitki}$  olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.5** Marulda hasat sonrası ölçümlerin gerçekleştirilmesi

### **Yaprak oransal su içeriği**

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) (Sanchez *et al.* 2004) ve Türkan *et al.* 2005) tarafından önerilen yöntemlerle ölçülmüştür. Hasat edilen bitkilerin taze ağırlıkları belirlenmiş ve bu yaprak örnekleri 65°C'de 48 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş yaprakların kuru ağırlıkları gram olarak kaydedilmiştir.

### **Toplam verim (kg/m<sup>2</sup>)**

Her uygulama için, hasat edilen bitkilerin tartılmasıyla toplam verim değerleri elde edilmiştir.

### **Lipid peroksidasyon içeriği (MDA)**

Lipid peroksidasyonunun değerlendirilmesi amacıyla, 200 mg yaprak örneği tartılmış ve üzerine 5 ml %0,1'lik trikloroasetik asit (TCA) eklenmiştir. Bu karışım, 12500 rpm hızında 20 dakika santrifüj edilmiştir. MDA içeriği, Lutts *et al.* (1996) yöntemine göre ölçülmüştür.

## **Toplam klorofil ve karotenoid içeriği**

Fotosentetik pigmentlerin analizi, (Kusvuran *et al.* 2021) yöntemine göre yapılmıştır. Ekstraktlarda, toplam klorofil ve karotenoidlerin absorbans değeri UV spektrofotometresinde sırasıyla 652 nm ve 470 nm'de ölçülmüştür.

## **İyon içerikleri**

İyon içeriklerinin tespiti, Dasgan ve Koc (2009) tarafından belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin klor konsantrasyonları ise (Nielsen 2017) ve Mohr metodu kullanılarak belirlenmiştir.

### **3.3. Verilerin Değerlendirilmesi**

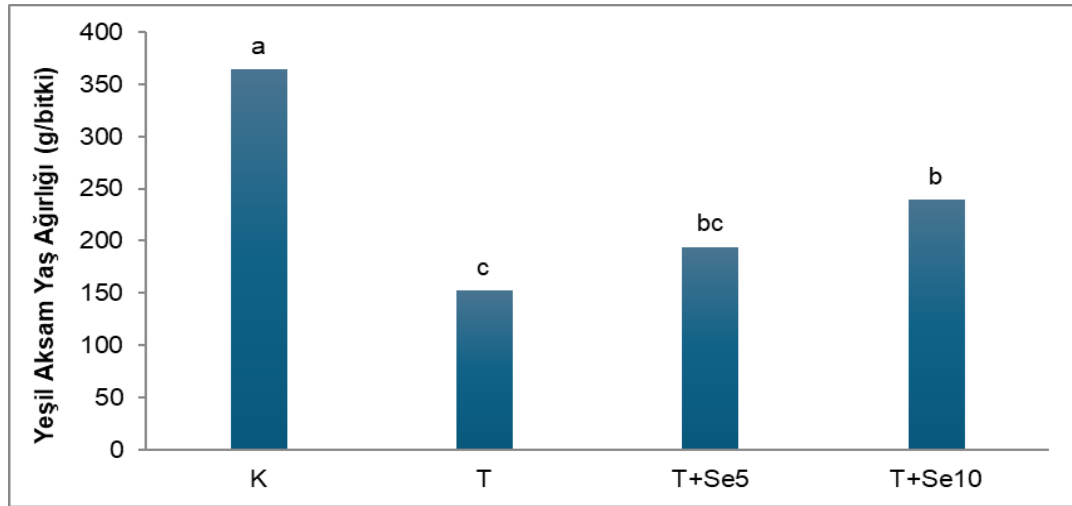
Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre, her tekrarda 10 bitki ile 3 tekrar şeklinde yapılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi JMP (versiyon 8.0) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve gruplar arasındaki farklılıklar LSD testine ( $p \leq 0.05$ ) göre belirlenmiştir.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

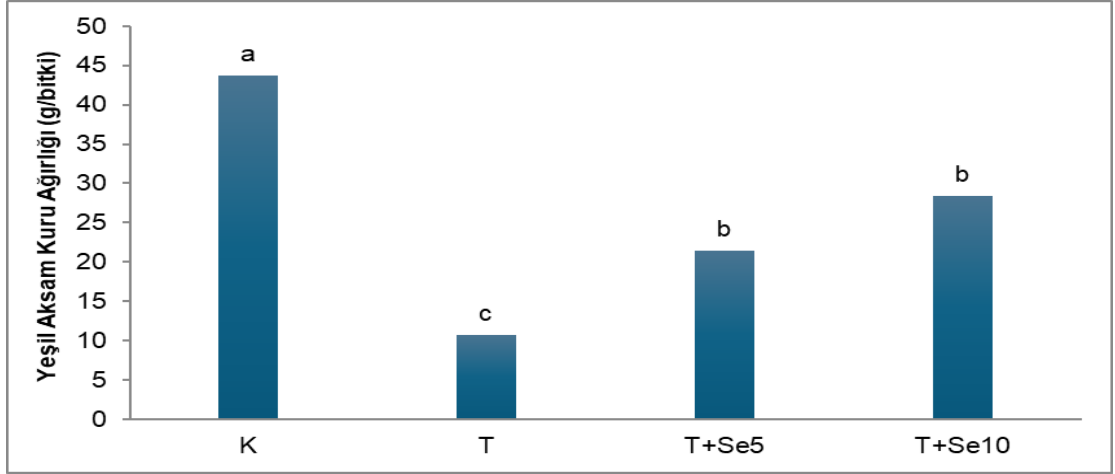
Marulda, selenyum (Se) uygulamalarının tuza tolerans üzerindeki etkisinin incelendiği araştırmada elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

#### 4. Yaş ve Kuru Ağırlıkları

Marulda 100 mM NaCl uygulaması yaş ve kuru ağırlık değerlerinde %58.12, kuru ağırlıkta ise %75.57 düzeyinde azalma gerçekleşmiştir (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Tuz stresi karşısında kontrol bitkilerine oranla 5 µM Se uygulamasında yaş ağırlıkta %46.59, kuru ağırlıkta ise %51.04 oranında azalma meydana gelirken; 10 µM Se uygulamasında yaş ağırlıkta %34.30, kuru ağırlıkta ise %35.10 oranında azalma meydana gelmiştir. Tuz uygulaması ile karşılaştırıldığında 5 µM Se uygulaması ile yaş ağırlıkta %27.54, kuru ağırlıkta %100.37; 10 µM Se uygulaması ile yaş ağırlıkta %56.88 ve kuru ağırlıkta %165.60 oranına iyileşme meydana gelmiştir.



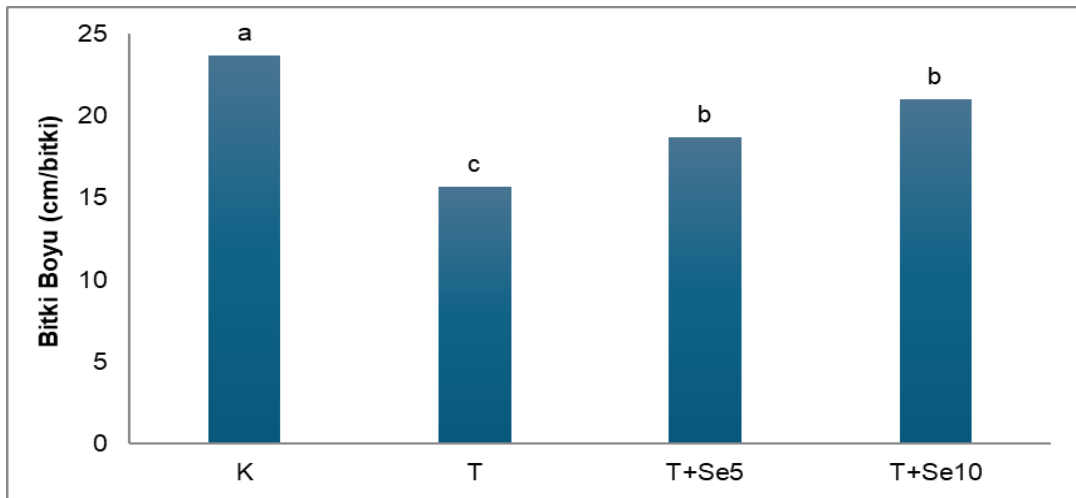
Şekil 4.1 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile yaş ağırlıkta meydana gelen değişim



Şekil 4.2 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile kuru ağırlıkta meydana gelen değişim

#### 4.2 Bitki Boyu

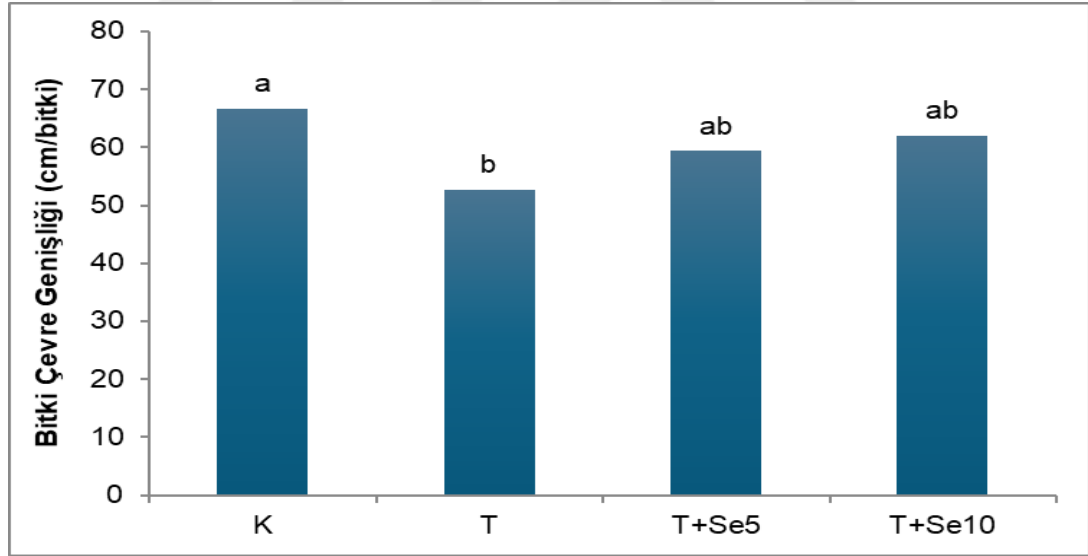
En yüksek bitki boyu kontrol bitkilerinde 23.67 cm/ bitki olarak belirlenmiştir. Tuz stresi (100 mM NaCl) bitki boyunda azalmaya yol açmış en düşük bitki boyu Se uygulanmayan tuz bitkilerinde 15.37 cm/bitki olarak saptanmış ve kontrol bitkilerine oranla %33.80 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.3). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Tuz stresi karşısında tuz bitkilerine oranla 5 µM Se uygulamasında bitki boyunda %21.12; 10 µM Se uygulamasında ise %34.01 oranına iyileşme meydana gelmiştir.



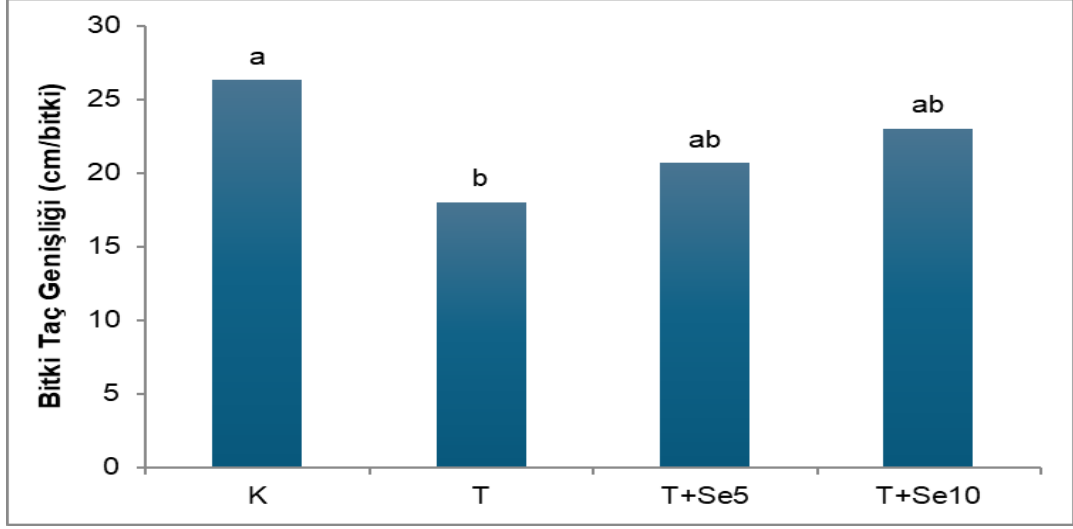
Şekil 4.3 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile bitki boyunda meydana gelen değişim

### 4.3 Bitkilerin Çevre ve Taç Genişliği

Bitki çevre ve taç genişliği bakımından en yüksek gelişim kontrol bitkilerinde belirlenmiştir (66.67 ve 26.33 cm/bitki). Marulda 100 mM NaCl uygulaması bitki çevre ve taç genişliği değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Bu azalma kontrol bitkilerine oranla çevre genişliğinde %21.00, taç genişliğinde ise %31.64 düzeyinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.4. ve Şekil 4.5). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Tuz stresi karşısında kontrol bitkilerine oranla 5  $\mu$ M Se uygulamasında bitki çevre genişliği %11.01, taç genişliğinde ise %21.50 oranında azalma meydana gelirken; 10  $\mu$ M Se uygulamasında çevre genişliğinde %7.00, taç genişliğinde ise %12.65 oranında azalma meydana gelmiştir. Tuz uygulaması ile karşılaştırıldığında 5  $\mu$ M Se uygulaması ile bitki çevre genişliğinde %12.64, taç genişliğinde %14.83; 10  $\mu$ M Se uygulaması ile bitki çevre genişliğinde %17.71 ve taç genişliğinde %27.78 oranına iyileşme görülmüştür.



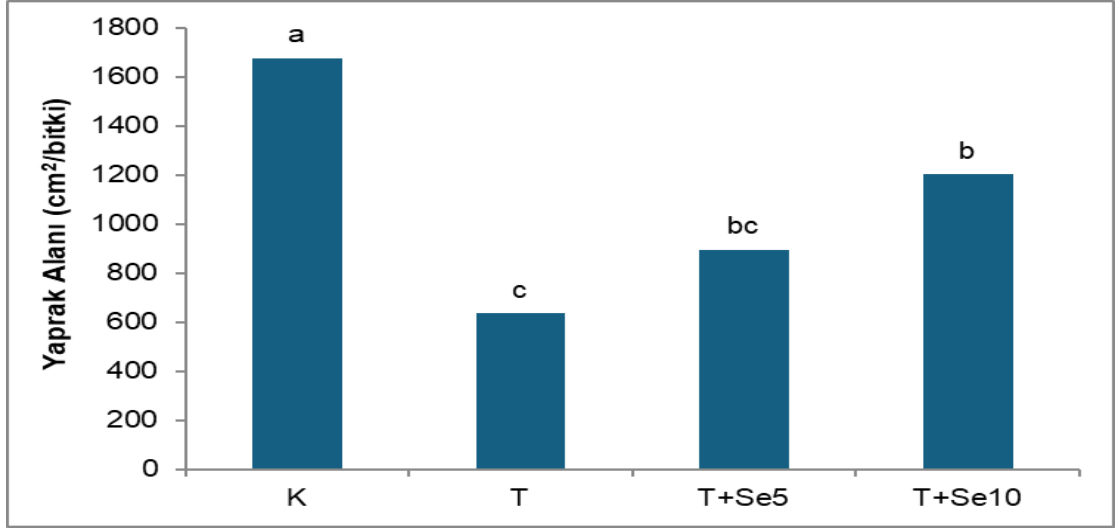
Şekil 4.4 Marulda NaCl ve Se uygul.ile bitki çevre genişliğinde meydana gelen değişim



Şekil 4.5 Marulda NaCl ve Se uygul.ile bitki taç genişliğinde meydana gelen değişim

#### 4.4 Yaprak Alanı

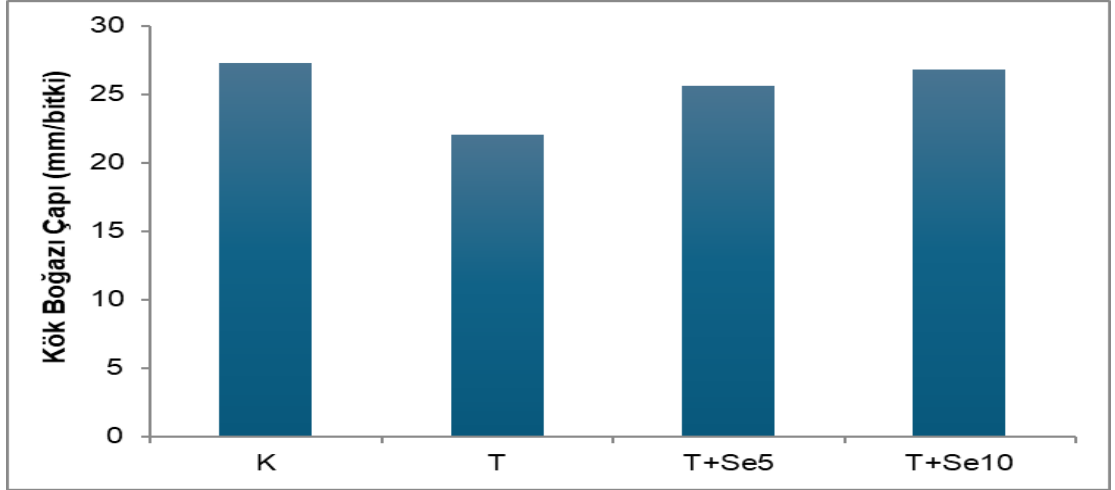
Marulda en yüksek yaprak alanı  $1677.54 \text{ cm}^2/\text{bitki}$  ile kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Tuz stresi (100 mM NaCl) yaprak alanı bakımından azalmaya yol açmış en düşük yaprak alanı Se uygulanmayan tuz bitkilerinde  $635.85 \text{ cm}^2/\text{bitki}$  olarak saptanmış ve kontrol bitkilerine oranla %62.10 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.6). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Buna göre 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %46.59; 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %28.34 oranında ortaya çıkmıştır. Tuz stresi karşısında tuz bitkilerine oranla 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında yaprak alanında %40.91; 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında ise %89.06 oranına iyileşme belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile yaprak alanında meydana gelen değişim

#### 4.5 Marul Bitkilerinde Kök Boğazı Çapı

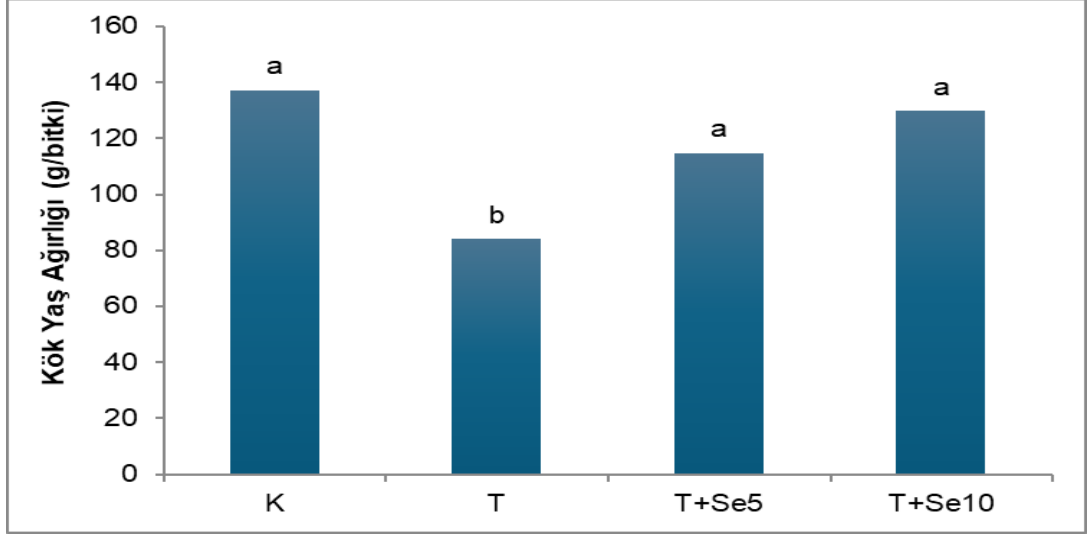
En yüksek kök boğazı çapı kontrol bitkilerinde 27.24 cm/ bitki olarak belirlenmiştir. Tuz stresi (100 mM NaCl) kök boğazı çapında azalmaya yol açmış en düşük kök boğazı çapı Se uygulanmayan tuz bitkilerinde 22.03 cm/bitki olarak saptanmış ve kontrol bitkilerine oranla %19.13 düzeyinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.7). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Bu değişim 5 µM Se uygulamasında %6.13; 10 µM Se uygulamasında %1.73 oranında ortaya çıkmıştır. Tuz stresi karşısında tuz bitkilerine oranla 5 µM Se uygulamasında kök boğazında %16.07; 10 µM Se uygulamasında ise %21.52 oranına iyileşme ortaya çıkmıştır.



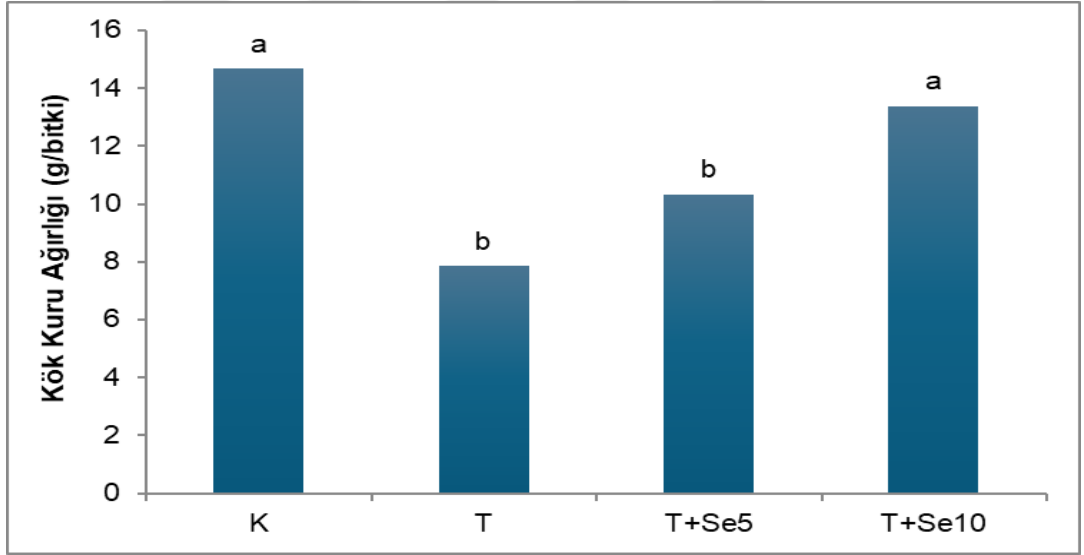
Şekil 4.7 Marulda NaCl ve Se uygul.ile kök boğazı çapında meydana gelen değişim

#### 4.6 Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

Kök yaş ve kuru ağırlığı bakımından en yüksek gelişim kontrol bitkilerinde belirlenmiştir (137.10 ve 14.67 cm/bitki). Marulda 100 mM NaCl uygulaması kök yaş ve kuru ağırlık değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Bu azalma kontrol bitkilerine oranla kök yaş ağırlığında %38.77, kök kuru ağırlığında ise %46.56 düzeyinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Tuz stresi karşısında kontrol bitkilerine oranla 5  $\mu$ M Se uygulamasında kök yaş ağırlığında %16.37, kök kuru ağırlığında ise %29.65 oranında azalma meydana gelirken; 10  $\mu$ M Se uygulamasında kök yaş ağırlığında %7.00, taç genişliğinde ise %8.86 oranında azalma meydana gelmiştir. Tuz uygulaması ile karşılaştırıldığında 5  $\mu$ M Se uygulaması ile kök yaş ağırlığında %36.57, kök kuru ağırlığında %31.63; 10  $\mu$ M Se uygulaması ile kök yaş ağırlıkta %54.64 ve kök kuru ağırlıkta %70.54 oranına iyileşme sağlanmıştır.



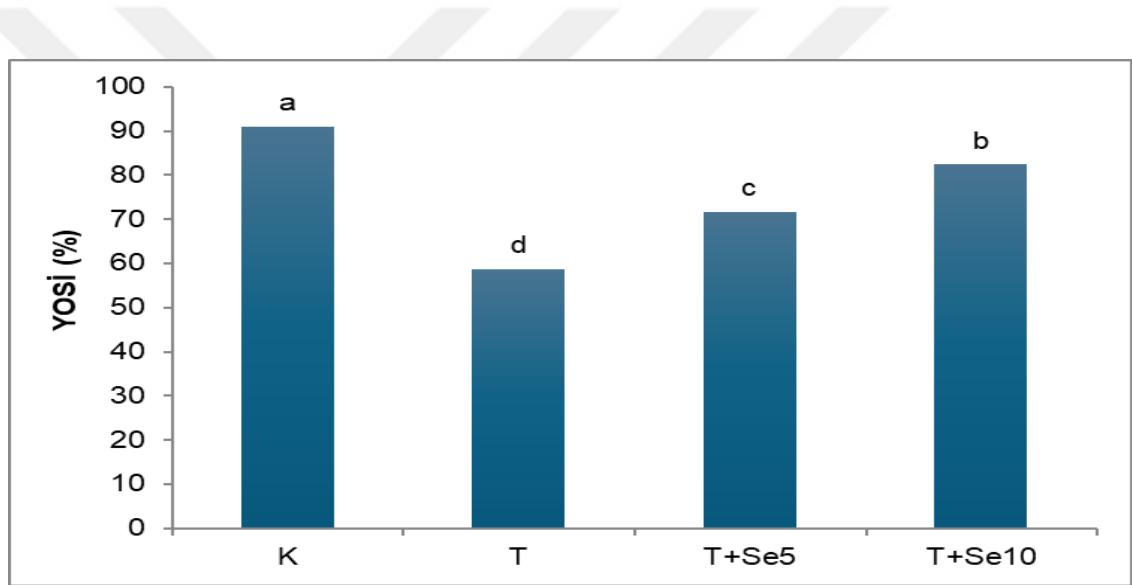
Şekil 4.8 Marulda NaCl ve Se uygul. ile kök yaş ağırlığında meydana gelen değişim



Şekil 4.9 Marulda NaCl ve Se uygul. ile kök kuru ağırlıkta meydana gelen değişim

#### 4.7 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)

Marulda kontrol bitkilerinde YOSİ %91.00 ile en yüksek değer olarak belirlenmiştir. Tuz stresi (100 mM NaCl) YOSİ bakımından azalmaya yol açmış en düşük YOSİ Se uygulanmayan tuz bitkilerinde %58.67 olarak saptanmış ve kontrol bitkilerine oranla %35.53 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.10). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Buna göre 5  $\mu$ M Se uygulamasında %21.24; 10  $\mu$ M Se uygulamasında %9.53 oranında ortaya çıkmıştır. Tuz stresi karşısında tuz bitkilerine oranla 5  $\mu$ M Se uygulamasında yaprak alanında %22.16; 10  $\mu$ M Se uygulamasında ise %40.33 oranında artış belirlenmiştir.

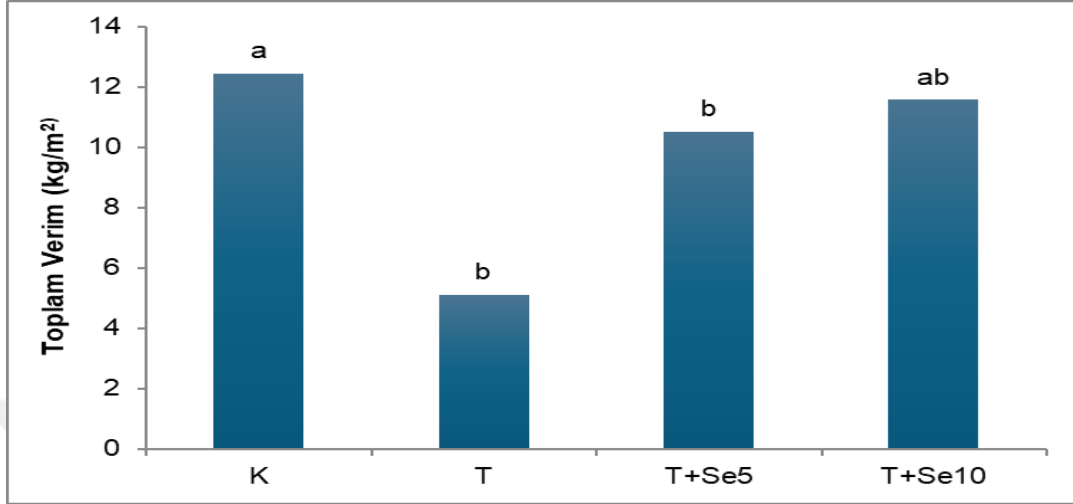


Şekil 4.10 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile YOSİ’de meydana gelen değişim

#### 4.8 Toplam Verim

Tuz stresi koşullarında Se uygulamalarının marulda ortaya koyduğu etkilerin incelendiği çalışmada toplam verim en yüksek kontrol bitkilerinde 12,44 kg/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11). Su kültüründe gerçekleştirilen çalışmada 100 mM NaCl uygulaması toplam verimde %59 oranında azalmaya yol açmıştır (5,1 kg/m<sup>2</sup>). Selenyum uygulamaları toplam verim üzerinde olumlu etki ortaya koymuş, 5  $\mu$ M Se uygulamasında toplam verimde meydana gelen azalma %15 (10,52 kg/m<sup>2</sup>); 10  $\mu$ M Se uygulamasında ise %7 (11,58 kg/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde 5  $\mu$ M Se uygulamasında,

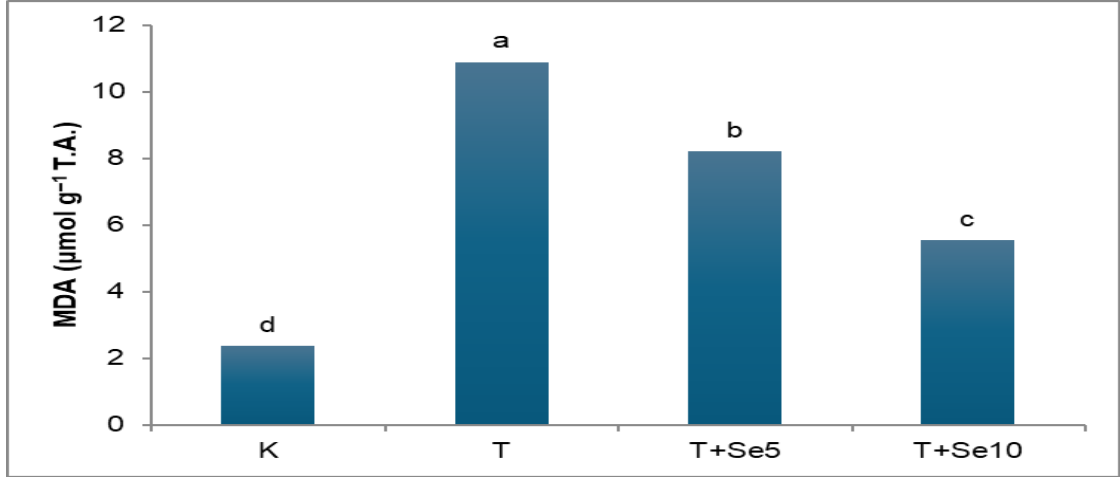
uygulama gerçekleştirilmeyen tuz bitkilerine oranla %106 oranında iyileşme sağlanırken, bu oran 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %127 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11 Marulda NaCl ve Se uygul. ile toplam verimde meydana gelen değişim

#### 4.9 Malondialdehid (MDA) İçeriği

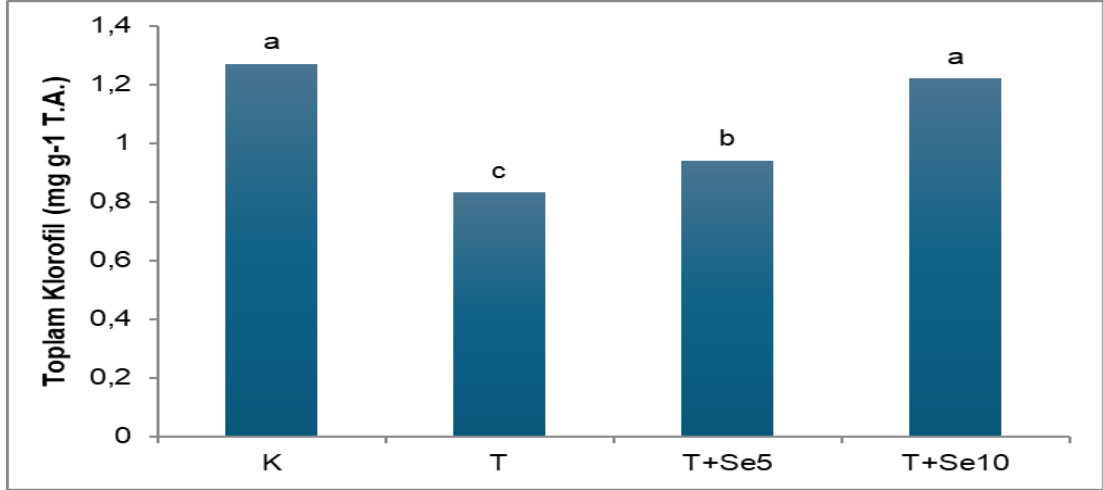
MDA içeriği tuz stresi ile birlikte artış göstermiş ve  $10.89 \mu\text{mol g}^{-1}$  T.A (%361.44 artış) düzeyinde belirlenmiştir (Şekil 4.12). MDA içeriği Se uygulamaları ile birlikte daha düşük düzeyde seyretmiştir. Buna göre kontrol bitkilerine oranla MDA düzeyindeki artış 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %247.46; 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %134.75 oranında ortaya çıkmıştır. Tuz stresi karşısında tuz bitkilerine oranla 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında MDA içeriği bakımından %24.70; 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında ise %49.13 oranına iyileşme sağlanmış, başka bir deyişle MDA içeriği sınırlanmıştır.



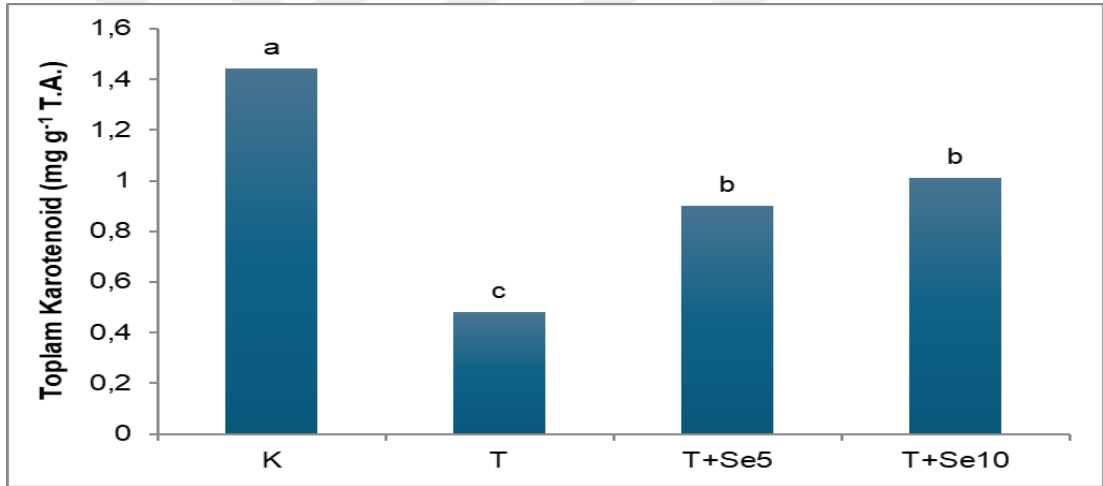
Şekil 4.12 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile MDA içeriğinde meydana gelen değişim

#### 4.10 Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği

Toplam klorofil ve karotenoid içeriği bakımından en yüksek değerler kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Marulda 100 mM NaCl uygulaması toplam klorofil ve karotenoid değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Bu azalma kontrol bitkilerine oranla toplam klorofil içeriğinde %34,65, toplam karotenoid içeriğinde ise %66,67 düzeyinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Selenyum uygulamaları genel olarak tuzun olumsuz etkisini sınırlandırmıştır. Tuz stresi karşısında kontrol bitkilerine oranla 5 µM Se uygulamasında kök yaş ağırlığında %16,37, kök kuru ağırlığında ise %37,50 oranında azalma meydana gelirken; 10 µM Se uygulamasında toplam klorofil içeriğinde %3,94, toplam karotenoid içeriğinde ise %29,86 oranında azalma meydana gelmiştir. Tuz uygulaması ile karşılaştırıldığında 5 µM Se uygulaması ile toplam klorofil içeriğinde %13,25, toplam karotenoid içeriğinde %87,50; 10 µM Se uygulaması ile toplam klorofil içeriğinde %46,99 ve kök kuru ağırlıkta %110,42 oranında iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.13 Marulda NaCl ve Se uygul. ile toplan klorofil içeriğinde meydana değişim

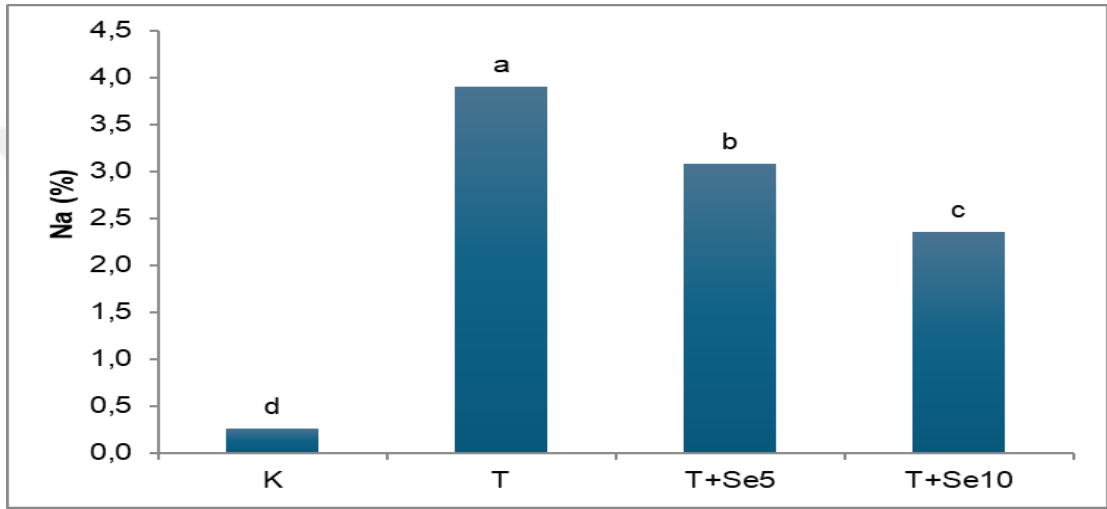


Şekil 4.14 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile toplam karot içeriğinde meydana gelen değişim

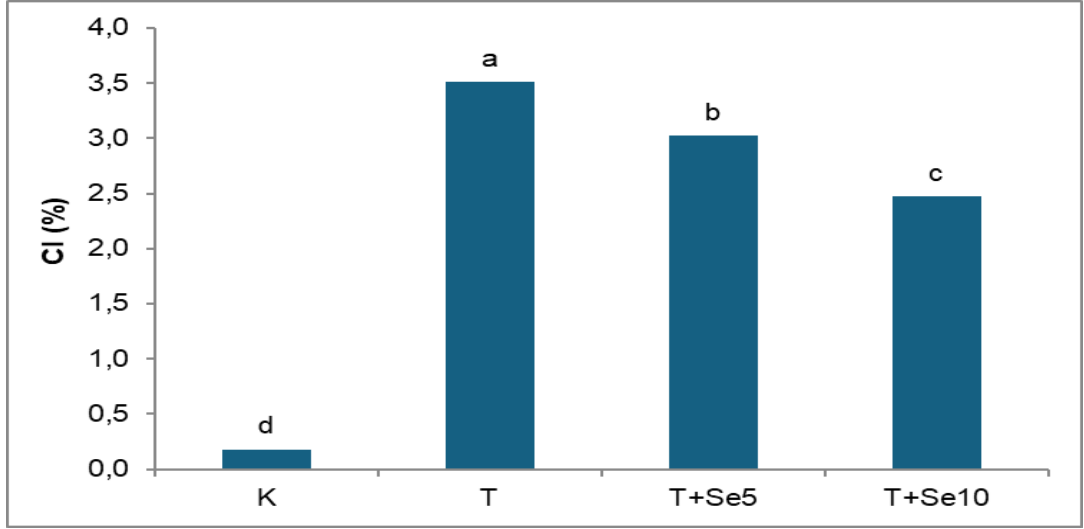
#### 4.11 İyon İçerikleri

Marulda 100 mM NaCl uygulaması Na (%1460 artış) ve Cl (%1850 artış) iyon içeriklerinde artışa yol açarken K (%31 azalma) ve Ca (%60 azalma) iyon içeriklerinde değişen oranlarda azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.15-4.18). Se uygulamaları, tuz stresinin olumsuz etkisini genel olarak azaltmıştır. Kontrol bitkilerine oranla 5 µM Se uygulamasında Na içeriğinde %1132 ve 10 µM Se uygulamasında %840; Cl içeriğinde

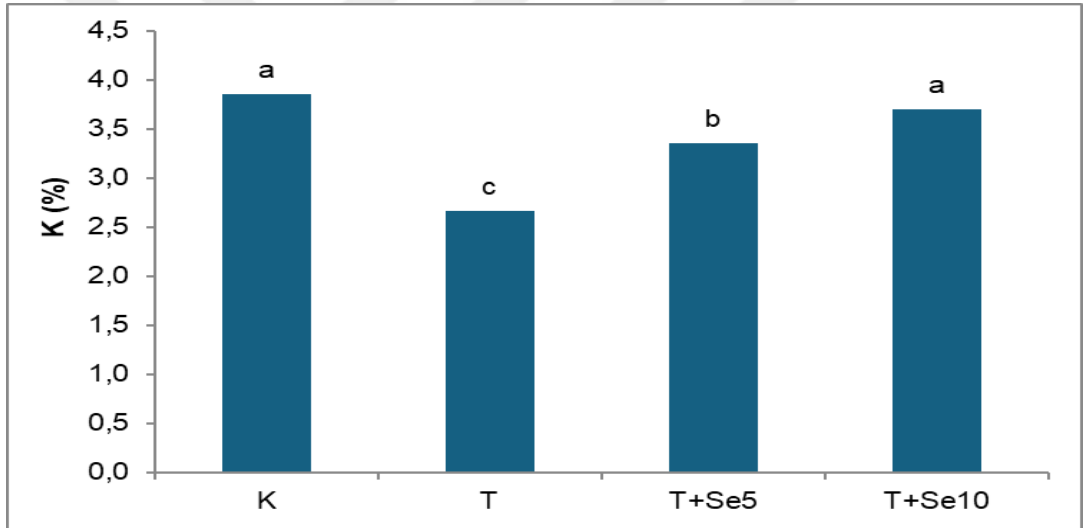
ise 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %1578 ve 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %1272 oranında artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte K içeriğinde 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %13 ve 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %4 düzeyinde azalma meydana gelirken bu oran Ca iyon içeriğinde 5  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında %33 ve 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında ise %18 düzeyinde azalma şeklinde kendini göstermiştir. Selenyum uygulamaları genel olarak tuz stresi karşısında sodyum ve klor iyon alımının %13-40 düzeyinde sınırlandırılmasında etkili olmuş, potasyum ve kalsiyum iyon içeriği %25-104 düzeyinde korunmuştur.



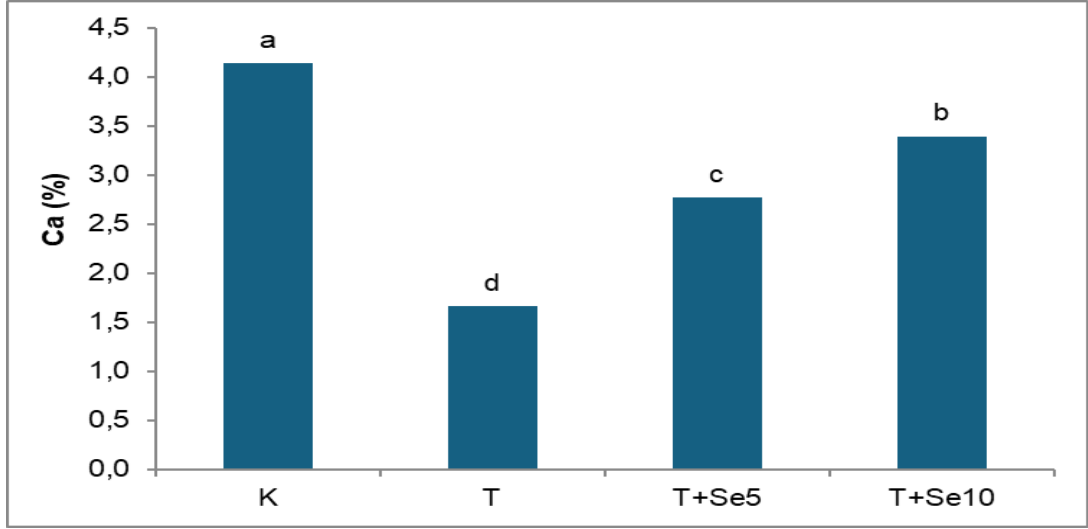
**Şekil 4.15** Marulda NaCl ve Se uygul. ile sodyum içeriğinde meydana gelen değişim



Şekil 4.16 Marulda NaCl ve Se uygulamaları ile klor içeriğinde meydana gelen değişim



Şekil 4.17 Marulda NaCl ve Se uygul. ile potasyum içeriğinde meydana gelen değişim



**Şekil 4.18** Marulda NaCl ve Se uygul. ile kalsiyum içeriğinde meydana gelen değişim

Dünya nüfusunun artışı ve bu artışa bağlı olarak beslenme ihtiyaçlarının karşılanması, tarımsal üretim ve verimlilik konularına büyük bir önem kazandırmıştır. Bitkisel üretim verimliliğinin artırılması, küresel tarım sorunları arasında öncelikli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, tuz stresi önemli bir çevresel tehdit olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde sulama yapılan tarım arazilerinin yaklaşık %20'si toprak tuzlanmasından etkilenmektedir. Bu sorunun temel nedenleri arasında doğal çevre bozulması, yetersiz sulama uygulamaları, aşırı gübreleme ve iklim değişiklikleri yer almaktadır. Tuz stresinin tarımsal üretkenliği nasıl etkilediği ve bu etkilere karşı nasıl etkili önlemler alınabileceği konusunda çalışmalar büyük önem taşımaktadır (Zhao *et al.* 2021).

Tuzluluk, bitkiler üzerinde bir dizi olumsuz etkiye neden olmaktadır. Tuzlu ortamlar, bitkilerde morfolojik ve biyokimyasal fonksiyonları bozar; bu da tohum çimlenmesi, bitki büyümesi, gelişmesi ve verimi üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratır (Zhang and Dai 2019). Tuzluluk, klorofil ve karotenoid içeriklerini azaltarak, kloroplast yapısını ve fotosistem II (PSII) sistemini bozar. Bu durum, fotosentetik sistemlerin etkinliğini kısıtlar (Pan *et al.* 2020). Tuzlu topraklar, toprak su potansiyelini ve yaprak su potansiyelini düşürür. Bu da bitki su ilişkilerinde dengesizliklere yol açar ve sonuçta ozmotik strese neden olur (Navada *et al.* 2020). Tuzluluk, sodyum ve klor iyonlarının artışı ile ozmotik stresi tetikler. Stres koşulları altında bitki büyüme ve gelişmesinde azalma yaşanır ve

reaktif oksijen türleri (ROS) düzeylerinde artış gözlemlenir; bu da oksidatif strese yol açar (Arif *et al.* 2020, Abdel Latif *et al.* 2021).

Selenyumun bitkiler için gerekliliği henüz kesin olarak kanıtlanmamış olsa da, bazı araştırmalar düşük konsantrasyonlarda olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermektedir. Son yirmi yılda, selenyumun bitkilerdeki fizyolojik işlevleri üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Selenyumun bitkiler için temel bir mikro besin olup olmadığı doğrulanmamışken, çeşitli çalışmalar düşük miktarlarda selenyumun bitki büyüme ve gelişimini destekleyici etkiler gösterdiğini bildirmektedir (Hasanuzzaman *et al.* 2013, Bybordi 2016, Shekari *et al.* 2017, Bybordi *et al.* 2018). Ayrıca, günümüzde selenyumun, tuzluluk ve kuraklık gibi birçok abiyotik ve biyotik strese karşı bitkilerin toleransını artırmada önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir.

Marulda Se etkisinin incelendiği çalışmada, 100 mM NaCl yaş ve kuru ağırlık, kök boğazı çapı, bitki çevre ve taç genişliği, yaprak alanı gibi morfolojik parametrelerde azalmaya yol açmıştır. Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyen en kritik faktörlerden biri tuz stresi olarak öne çıkmaktadır. Stres koşulları altında ozmotik etkiler, iyon toksisitesi, fotosentez verimliliğinde azalma ve beslenme eksiklikleri gibi fizyolojik sorunlar ortaya çıkar (Almodares *et al.* 2008). Tuz stresi durumunda toprak su potansiyeli düşer, bu da bitki gelişiminin yavaşlamasına yol açar. Ayrıca, toksik iyonlar, iyonik fazda birikerek vakuollerde uzun süre tutulmadığında, hücre duvarı veya sitoplazmada hızla birikerek hücrel zararları neden olabilir (Acosta-Matos *et al.* 2017).

Marulda tuz stresinin fizyolojik ve biyokimyasal değişimler üzerindeki etkisini inceleyen Garrido *et al.* (2014), Stres koşullarında yaş ağırlık, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği gibi fizyolojik parametreler bakımından azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Benzer sonuçlar (Ahmed *et al.* 2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da vurgulanmış, araştırmacılar stres uygulamasından 21 gün sonra morfolojik ve fizyolojik parametrelerde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Tuz stresinin bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres koşullarından biri olduğunu ifade eden (Sardar *et al.* 2023), marulda farklı tuz konsantrasyonlarda uyguladıkları (25, 50, 75 ve 100 mM NaCl) tuz stresi koşullarında bitki büyüme ve

gelişmesinde azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Yapılan araştırmalar, Se uygulamalarının tuz stresinin neden olduğu olumsuz etkileri ve zararları önemli ölçüde azalttığını, bu azalmanın uygulama dozuna bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Genel olarak, bitki büyüme parametrelerinde Se uygulamalarıyla %12-165 oranında bir iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir. Selenyum bitkiler için gerekli olduğuna dair doğrudan bir kanıt olmamasına rağmen, düşük Se konsantrasyonlarının bitki büyümesini ve fotosentezi ve kök ve sürgün büyümesini arttırmak, çimlenmeyi ve azot asimilasyonunu teşvik etmek, nişasta birikimini arttırmak, yaşlanmayı geciktirmek gibi fizyolojik süreçleri etkilemektedir. Se'nin tuz, kuraklık, yüksek sıcaklık ve ağır metaller gibi farklı çevresel streslerin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığı, antioksidan kapasiteyi geliştirerek, fotosentetik indeksleri artırarak ve ikincil metabolizmayı teşvik ederek bitkileri strese karşı toleransın artırılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Wu *et al.* 2023, Nedjimi 2024), (Jiang *et al.* 2017). Mısır bitkilerine 1 µM Se uygulanmasının bitki büyümesini arttırdığını ve NaCl'nin bitki gelişimi üzerindeki zararlı etkisini hafiflettiğini, ayrıca Se'nin yüksek NaCl konsantrasyonlarının neden olduğu kloroplast altyapısındaki bozulmayı hafiflettiğini ve dolayısıyla fotosentezi arttırdığını bildirmiştir. Marulda 100 mM NaCl uygulaması bitki büyüme parametreleri ile verimde azalmaya neden olmuş bu azalma kontrol bitkilerine oranla %14-75 düzeyinde gerçekleşmiştir. Çalışmada Se uygulamaları değişen oranlarda stresin olumsuz etkisini sınırlanmış ve %12-165 oranında iyileşme sağlanmasına olanak vermiştir. Benzer şekilde toplam verimde stres koşullarında %59 oranında azalma meydana gelirken; Se uygulamalarında %7-15 olarak tespit edilmiştir (%106 ve %127 iyileşme). Tuz stresine (150 mM NaCl) maruz kalan domateste (*Solanum lycopersicum* "Ailsa Craig") Se uygulamalarının etkisi incelenmiş, düşük konsantrasyondaki sodyum selenit (25 µM Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), domates fidelerinin biyokütlesini (bitki boyu, taze ve kuru ağırlıkları), kök morfolojik özelliklerini ve klorofil pigment içeriğini önemli ölçüde iyileştirmiştir (Wu *et al.* 2023). Ayrıca, 10 µM selenat (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>) uygulaması, *Salicornia iranica* büyümesi üzerindeki tuz stresinin olumsuz etkisini azaltmış (Mohammadzadeh and Hajiboland 2023), hıyarda gerçekleştirilen bir çalışmada ise tuz stresi koşullarında (EC 4.49 dS m<sup>-1</sup>) 25 mg L<sup>-1</sup> nano-Se'nin yaprak uygulaması bitki büyüme parametrelerinde stresin olumsuz etkisinin sınırlandırılarak iyileşme sağlanmasında rol oynamıştır (Shalaby *et al.* 2021). Yine kabakta tuz stresi

büyüme ve gelişme parametreleri ile verimde azalmaya neden olmuş, bu azalma Se uygulamalarında daha düşük oranlarda gerçekleşmiştir (Alsamadany *et al.* 2023).

Yüksek tuz konsantrasyonları, toprakta ozmotik basıncın artmasına neden olarak bitkilerin su alımını azaltır ve hatta tamamen durdurabilir. Na ve Cl iyonlarının oluşturduğu iyon toksisitesi, su taşınımında rol oynayan hücrelerde hasara yol açarak bitkilerin su dengesinde bozulmalara neden olur. Marul üzerine yapılan bu çalışmada, tuz stresine maruz kalan bitkilerde yaprakların oransal su içeriği %40 oranında azalmıştır. (Khand *et al.* 2022), yaprakların oransal su içeriğindeki azalmanın, Na ve Cl iyonlarının toksisitesiyle bağlantılı olabileceğini öne sürmüştür. Araştırmada, selenyum uygulamalarının stres koşullarında azalan yaprak oransal su içeriğini iyileştirmede etkili olduğu (%22 ila %40 artış) ve özellikle 10 µM Se uygulamasının bu konuda öne çıktığı bulunmuştur. Selenyumun bitki dokularındaki suyun korunması, kök gelişiminin uyarılması ve su alma kapasitesinin artırılmasında etkili olup, tuz stresi koşullarında hücre turgorunun korunmasında rol oynamaktadır (Semida *et al.* 2021). (Alsamadany *et al.* 2023) kabakta yapmış oldukları çalışmalarında tuz stresinin YOSİ değerlerinde azalmaya yol açtığını, Se uygulamaları ile bu azalmanın sınırlandırıldığını hücrenin ihtiyaç duyduğu optimal oransal su içeriğinin karışlandığını ve bunun ozmo düzenleyici bileşiklerin artışı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Çeşitli bitki türleri üzerinde yapılan araştırmalarda, stres koşullarında Se uygulamalarının yaprak oransal su içeriğinde artışa neden olduğu rapor edilmiştir (Badawy *et al.* 2021, Semida *et al.* 2021, Shalaby *et al.* 2021).

Stres durumunda meydana gelen serbest radikaller, membran lipidleri ve proteinlerin geri dönüşümsüz hasar görmesine yol açar. Reaktif oksijen türleri, membran lipidlerine zarar vererek doymamış aldehytlerin üretimine neden olur. Serbest radikallerin neden olduğu doku hasarının temel mekanizması, hücre zarındaki lipidlerin peroksidasyonuna bağlıdır. Bu radikaller, çoklu doymamış yağ asitleriyle etkileşime girerek lipid peroksidasyonunu başlatır. Lipid peroksidasyonu sürecinin bir sonucu olarak malondialdehit (MDA), eten ve panten oluşur. MDA, hücre zarındaki iyon değişimini etkileyerek, membranda bulunan bileşiklerin çapraz bağlanmasına neden olur. Bu durum, iyon geçirgenliğinde ve enzim aktivitelerinde olumsuz değişikliklere yol açabilir. Lipid peroksidasyonu, hücre zarı

bütünlüğünün bozulmasına ve hücrenin elektrolitlere karşı geçirgenliğinin artmasına sebep olabilir (Gözen ve Kuşvuran 2021). Farklı bitkiler üzerinde yapılan araştırmalar, tuz stresi altında MDA içeriğinin arttığını ortaya koymuştur. Örneğin, marullarda 100 mM NaCl uygulaması ile MDA içeriğinde kontrol bitkilerine kıyasla %361'lik bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, selenyum uygulamaları MDA içeriğindeki artışı %25-49 oranında azaltmıştır. (Diao *et al.* 2014), Se uygulamasının bitki metabolik reaksiyonlarını iyileştirdiğini, (Karimi *et al.* 2020) Se antioksidatif özelliklerinin tuz stresi dahil olmak üzere çevresel stresler karşısında hücre zarlarında lipid peroksidasyonun önlenmesinden sorumlu olduğunu bildirmişlerdir. Marul (Hawrylak -Nowak 2015), patlıcan (Rady *et al.* 2020) ve kabak (Alsamadany *et al.* 2023) türlerinde gerçekleştirilen çalışmalarda Se uygulamalarının oksidatif stresi azaltarak lipid peroksidasyonu azalttığı ifade edilmiştir.

Tuz stresi, kloroplastların parçalanmasına, pigment-protein komplekslerinin kararsız hale gelmesine, klorofil kaybına ve karotenoidlerin miktarı ve bileşiminde değişikliklere yol açar (Bayram *et al.* 2021). Marulda gerçekleştirilen çalışmada toplam klorofil ve karotenoid içeriği en yüksek kontrol bitkilerinde elde edilmiş, 100 mM NaCl uygulaması ile birlikte %35 ve %67 oranında azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte Se uygulamaları fotosentetik pigmentler bakımından %13-110 düzeyinde iyileşme sağlamış, özellikle 10 µM Se uygulaması ön plan çıkmıştır. Tuz stresi nedeniyle hıyar (Hawrylak-Nowak 2009), domates (Diao *et al.* 2014) ve kabak (Alsamadany *et al.* 2023) gibi farklı bitkilerde klorofil içeriği üzerinde Se'nin benzer potansiyelleri olduğunu bildirmiştir. Bu sonuç, solunum zincirinde elektronların taşınmasına ve son olarak solunuma yardımcı olan rolü nedeniyle Se uygulamasına bağlı olarak klorofilin hızlı biyosentezi ile ilişkilendirilmektedir Ayrıca sonuçlarımız (Ghanbari *et al.* 2023) elde ettiği sonuçlarla uyumlu olarak Se uygulanan bitkilerde klorofil ve karotenoid içeriklerinde artış gerçekleşmiştir.

Kök bölgesinde tuz birikimi sonucu oluşan ozmotik stres, potasyum ve kalsiyum gibi makro besin elementlerinin alımını azaltırken, sodyum ve klor alımını artırarak hücredeki iyon dengesini bozabilir. İyon toksisitesi, fotosentez ve protein sentezini olumsuz etkileyerek enzimlerin işlevini yitirmesine ve kloroplastlar ile diğer organellere zarar vermesine neden olur. Sodyum seviyeleri toksik düzeye ulaştığında, potasyum ve

kalsiyum iyonlarının alımı ve düzenlenmesi bozulur; klor toksik seviyelere çıktığında ise  $\text{NO}_3^-$  anyonunun alımı ve düzenlenmesi olumsuz etkilenir (Atalan ve Gökçe 2021). Aktif alım yoluyla bitkilerde potasyum, ozmotik potansiyelin sağlanmasında önemli rol oynar ve hücre içi su girişine katkıda bulunur. Ayrıca, tuzluluk kuraklık stresini de beraberinde getirir. Kuraklık koşullarında kökler su alımını sınırlayarak besin maddelerinin doku ve organlara taşınmasını azaltır ve besin elementi eksikliklerine yol açar. Bu süreçte dokularda kalsiyum seviyeleri de düşer. Patlıcanda tuz stresi, yeşil dokularda Na ve Cl iyonlarının artışına neden olmuş ve bu artış genotipler arasında farklılık göstermiştir (Kıran ve arkadaşları 2015). Çeşitli çalışmalarda, NaCl uygulamalarıyla oluşturulan tuz stresinin bitkilerde Na ve Cl iyonlarının artışına yol açtığı ifade edilmiştir. Stres durumunda büyümedeki azalma, stomaların kapanmasıyla ve yapraklarda toksik Na ve Cl birikimi nedeniyle fotoasimilat üretiminin sınırlanması ile ilişkilidir. Marulda gerçekleştirilen bu çalışmada, Se uygulamaları Na ve Cl iyon alımını %22-42 ve %14-31 oranında sınırlandırırken; K içeriğinde %26-39 ve Ca içeriğinde %67-104 oranında iyileşme sağlamıştır. Tuz stresi koşullarında selenyumun bitki büyüme ve gelişmesindeki olumlu etkisi Na toksik etkisini azaltması ve K alımını artırması ile bağlantılıdır (Sieprawska *et al.* 2015). Tuzluluk stresi altındaki dereotu bitkisinde selenyum kullanmanın K konsantrasyonunu kök ve sürgünde önemli ölçüde artırdığı (Shekari *et al.* 2017), (Jiang *et al.* 2017), NaCl ve Se etkileşiminin sürgünde K içeriğini önemli ölçüde artırırken kökte Na içeriğini azalttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, (Boghdady *et al.* 2017) selenyum kullanıldığında bakla bitkisinin tohumlarında N, P, K ve ham protein içeriklerinde önemli bir artış olduğunu, 10 ppm selenyum uygulamasında bu parametrelerin en yüksek değerlere ulaştığını saptamışlardır. (Bybordi *et al.* 2018), Se uygulamasının yapraktaki K içeriğinin artmasına ve Na içeriğinin azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir (Admasie 2022).

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bitkisel üretim ve verimi olumsuz etkileyen en önemli stres faktörlerinden biri tuz stresidir. Marulda gerçekleştirilen bu çalışmada bitki yaş ve kuru ağırlık değerleri ile kök yaş ve kuru ağırlık değerleri en yüksek kontrol bitkilerinde elde edilirken 100 mM NaCl uygulaması ile birlikte kontrol bitkilerine oranla ortalama olarak %39-76 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu azalma Se uygulamalarında %5-51 düzeyinde meydana gelmiş ve sadece tuz uygulaması gerçekleştirilen bitkilere oranla %28-166 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu değişim 10 µM Se uygulamasında ön plana çıkmıştır.

Bitki boyu, bitki çevre ve taç genişliği en yüksek kontrol bitkilerinde sırasıyla 23,67, 66,67 ve 26,33 cm/bitki olarak belirlenmiştir. Tuz stresi sözkonusu parametrelerde kontrol uygulamasına oranla %21-34 oranında azalmaya yol açmıştır. Bu azalma Se uygulamalarında ortalama olarak %7-22 oranlarında gerçekleşmiş ve Se uygulanmayan tuz bitkilerine oranla %13-34 düzeyinde iyileşme belirlenmiştir.

En yüksek yaprak alanı değeri 1677,54 cm<sup>2</sup>/bitki ile kontrol bitkilerinde saptanmıştır. Tuz stresi ile birlikte kontrol bitkilerine oranla %62 oranında azalma meydana gelirken Se uygulamalarında bu oran %47 (5 µM Se) ve %28 (10 µM Se) düzeyinde kalmış, %41 ve %89 oranında tuzun zararlı etkisi sınırlandırılmıştır.

Toplam verim en yüksek kontrol bitkilerinde 12.44 kg/m<sup>2</sup> olarak elde edilirken, en düşük verim değerleri sadece 100 mM NaCl uygulaması gerçekleştirilen bitkilerde 5,1 kg/m<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Se uygulamaları ile verim değerleri %100 ve %127 oranında artış göstermiştir.

Marulda gerçekleştirilen bu çalışmada tuz stresi sonucunda fotosentetik pigment içeriği (%35 ve %67 azalma), YOSİ (%35 azalma), K (%31 azalma) ve Ca (%60 azalma) içeriğinde azalma, MDA (%361 artış), Na (%1460 artış) ve Cl (%1850 artış) içeriğinde ise artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte selenyum, hücresel oksidatif hasarı hafifleterek tuzluluğun olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu doğrultuda Se uygulamaları sonucunda ortalama olarak %15-110 oranında stresin olumsuz etkisi

sınırlandırılarak iyileşme sağlanmıştır. Bitki büyüme ve gelişmesindeki bu olumlu etki özellikle 10  $\mu\text{M}$  Se uygulamasında ön plana çıkmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde marul üretiminde tuz stresinin olumsuz etkisini azaltmak için Se uygulamaları önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M. and Rhaman, M. S. 2021. Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11(3): 547.
- Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. and Hernandez, J. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1): 18.
- Adhikari, B., Olorunwa, O. J., Wilson, J. C. and Barickman, T. C. 2021. Morphological and physiological response of different lettuce genotypes to salt stress. *Stresses*, 1(4): 285-304.
- Adhikari, B., Olorunwa, O. J., Brazel, S., Barickman, T. C. and Bheemanahalli, R. 2023. Impact of salt stress on physiology, leaf mass, and nutrient accumulation in romaine lettuce. *Photosynthetica*, 61(3): 342-353.
- Admasie, M.A. 2022. Fasulye bitkisinde sulama suyu kaynakli tuzluluk stresine azaltilmasinda selenyum ve silisyum uygulamalarinin etkisi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 152 sayfa, Antalya.
- Ahmed, S., Roy Choudhury, A., Chatterjee, P., Samaddar, S., Kim, K., Jeon, S. and Sa, T. 2019. The role of plant growth-promoting rhizobacteria to modulate proline biosynthesis in plants for salt stress alleviation. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management: Volume 1: Rhizobacteria in Abiotic Stress Management*, 1-20.
- Almodares, A., Hadi, M. R. and Dosti, B. 2008. The effects of salt stress on growth parameters and carbohydrates contents in sweet sorghum. *Res. J. Environ. Sci.*, 2(4): 298-304.
- Alsamadany, H., Alharby, H. F., Al-Zahrani, H. S., Kuşvuran, A., Kuşvuran, S. and Rady, M. M. 2023. Selenium fortification stimulates antioxidant-and enzyme gene expression-related defense mechanisms in response to saline stress in *Cucurbita pepo*. *Scientia Horticulturae*, 312, 111886.
- Ardebili, N.O., Saadatmand, S., Niknam, V. and Khavari-Nejad, R.A. 2014. The alleviating effects of selenium and salicylic acid in salinity exposed soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36 (12): 3199–3205.

- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and Hayat, S. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156: 64-77.
- Atalan, İ.K. and Gökçe Öztürk, Z.N. 2021. Tuzluluk Stresi. In: *Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri*. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgan, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp: 157-203, Ankara.
- Bayram, M., Dere, S., Arpacı, B.B and Daşgan, Y. 2021. Sebzelerde çoklu stres faktörleri ve bitki reaksiyonları. In: *Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri*. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgan, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp: 277-311, Ankara.
- Badawy, S. A., Zayed, B. A., Bassiouni, S. M., Mahdi, A. H., Majrashi, A., Ali, E. F. and Seleiman, M. F. 2021. Influence of nano silicon and nano selenium on root characters, growth, ion selectivity, yield, and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity conditions. *Plants*, 10(8): 1657.
- Barassi, C. A., Ayrault, G., Creus, C. M., Sueldo, R. J. and Sobrero, M. T. 2006. Seed inoculation with *Azospirillum* mitigates NaCl effects on lettuce. *Scientia Horticulturae*, 109(1): 8-14.
- Boghdady, M.S., Desoky, E.M., Azoz, S.N. and Nassar, D.M.A. 2017. Effect of selenium on growth, physiological aspects and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.). *Egyptian Journal of Agronomy*, 39 (1): 83–97.
- Breś, W., Kleiber, T., Markiewicz, B., Mieloszyk, E. and Mieloch, M. 2022. The effect of NaCl stress on the response of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*, 12(2): 244.
- Bybordi, A. 2014 Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *Int J Agric.*, 13:1889–1899.
- Bybordi, A., Saadat, S. and Zargaripour, P. 2018. The effect of zeolite, selenium and silicon on qualitative and quantitative traits of onion grown under salinity conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64 (4): 520–530.
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A. and Mishra, S. 2017. Salinity induced oxidative stress alters the physiological responses and improves the biofuel potential of green microalgae *Acutodesmus dimorphus*. *Bioresources and Technology*, 244, 1376–1383.

- Daşgan, H.Y. and Koç, S. 2009. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 7(2): 363-372.
- Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A. and Liu, H. Y. 2014. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. *Journal of plant growth regulation*, 33(3): 671-682.
- Garrido, Y., Tudela, J. A., Marín, A., Mestre, T., Martínez, V. and Gil, M. I. 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multi-leaf lettuce caused by salt stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(8): 1592-1599.
- Ghanbari, F., Bag-Nazari, M. and Azizi, A. 2023. Exogenous application of selenium and nano-selenium alleviates salt stress and improves secondary metabolites in lemon verbena under salinity stress. *Scientific Reports*, 13(1), 5352.
- Gong, Z. 2021. Plant abiotic stress: New insights into the factors that activate and modulate plant responses. *J. Integr. Plant Biol.*, 63: 429.
- Gözen, V. ve Kusvuran, S. 2021. Düşük sıcaklık stresi. In: *Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri*. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgahn, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp. 157-203, Ankara.
- Hawrylak-Nowak, B. 2015. Selenite is more efficient than selenate in alleviation of salt stress in lettuce plants. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 57(2).
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R. and Fujita, M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5): 9643- 9684.
- Hashem, H.A., Hassanein, R. fa A., Bekheta, M.A. and -Kady, F.A. El 2013. Protective role of selenium in canola (*Brassica napus* l.) plant subjected to salt stress. *Egyptian Journal of Experimental Biology*, 9 (2): 199–211.
- Hniličková, H., Hniliček, F., Orsák, M. And Hejník, V. 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> content in selected plant species. *Plant, Soil & Environment*, 65(2).
- Hung, H. C., Joshipura, K. J., Jiang, R., Hu, F. B., Hunter, D., Smith-Warner, S. A., and Willett, W. C. 2004. Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of the National Cancer Institute*, 96(21): 1577-1584.

- Jiang, C.Q., Zu, C.L., Lu, D.J., Zheng, Q.S., Shen, J., Wang, H.Y. and Li, D.C. 2017. Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na<sup>+</sup> accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Scientific Reports*, 7: 1–14.
- Karimi, R., Ghabooli, M., Rahimi, J. and Amerian, M. 2020. Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(14): 2226-2242.
- Keskin, B. 2022. Su kültüründe baş salata (ICEBERG) marul yetiştiriciliğinde biyostimulantların etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 77 sayfa, Adana.
- Khan, M. A. H., Baset Mia, M. A., Quddus, M. A., Sarker, K. K., Rahman, M., Skalicky, M. and Hossain, A. 2022. Salinity-induced physiological changes in pea (*Pisum sativum* L.): germination rate, biomass accumulation, relative water content, seedling vigor and salt tolerance index. *Plants*, 11(24), 3493.
- Khalifa, G.S., Abdelrassoul, M., Hegazi, A. and Elsherif, M.H. 2016. Mitigation of saline stress adverse effects in lettuce plant using selenium and silicon. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5 (3): 347–361.
- Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Özkay, F., Özgün, Ö., Sönmez, K., Özbek, H. and Ellialtıoğlu, Ş.Ş. 2015. Bazı patlıcan anaçlarının tuzluluk stresi koşullarındaki gelişmelerinin karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi (TABAD)* 8(1): 20-30.
- Kusvuran, S., Kıran, S. and 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
- Lowry, G. V., Avellan, A. and Gilbertson, L. M. 2019. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature nanotechnology*, 14(6): 517-522.
- Lutts, S, Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-Induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.*, 78: 389-398.
- Mohammadzadeh, P. Hajiboland, R. 2023. Effect of selenium on salt signaling and tolerance in *Salicornia iranica*. *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), 3121-3141.

- Mora, O., Le Mouël, C., de Lattre-Gasquet, M., Donnars, C., Dumas, P., Réchauchère, O. and Marty, P. 2020. Exploring the future of land use and food security: a new set of global scenarios. *PloS one*, 15(7): e0235597.
- Mozafariyan, M., Kamelmanesh, M.M., ve Hawrylak-Nowak, B. 2016. Ameliorative effect of selenium on tomato plants grown under salinity stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62 (10): 1368–1380
- Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A. K., Spanu, C., Mikkelsen, O. and Kolarevic, J. 2020. Biofilms remember: osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. *Water Research*, 176: 115732.
- Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M.Y., Tahir, M.N., Zulfiqar, B., Salahuddin, M., Shabbir, R.N. and Aslam, M. 2016. Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7 (September): 1–13
- Nedjimi, B. 2024. Selenium as a powerful trace element for mitigation of plant salt stress: A review. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 100123.
- Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M. and Shabala, S. 2021. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(8): 791-825.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. and Prasad, S. M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science And Pollution Research*, 22(6): 4056-4075.
- Rady, M. M., Belal, H. E., Gadallah, F. M. And Semida, W. M. 2020. Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266: 109290.
- Rasool, A., Hafiz Shah, W., Padder, S. A., Tahir, I., Alharby, H. F., Hakeem, K. R. and ul Rehman, R. 2023. Exogenous selenium treatment alleviates salinity stress in Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) by enhancing the antioxidant defence system and regulation of ionic channels. *Plant Growth Regulation*, 100(2): 479-494.

- Sanchez, F.J., Andres, E.F., Tenorio, J.L. and Ayerbe, L. 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*, 86: 81-90.
- Sardar, H., Khalid, Z., Ahsan, M., Naz, S., Nawaz, A., Ahmad, R. and Abou Fayssal, S. 2023. Enhancement of salinity stress tolerance in lettuce (*Lactuca sativa* L.) via foliar application of nitric oxide. *Plants*, 12(5): 1115.
- Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Abdelkhalik, A., Hemida, K. A., Abdurrahman, H. A., Howladar, S. M. and Rady, M. O. 2021. Selenium modulates antioxidant activity, osmoprotectants, and photosynthetic efficiency of onion under saline soil conditions. *Agronomy*, 11(5): 855.
- Shalaby, T., Bayoumi, Y., Alshaal, T., Elhawat, N., Sztrik, A. and El-Ramady, H. 2017. Selenium fortification induces growth, antioxidant activity, yield and nutritional quality of lettuce in salt-affected soil using foliar and soil applications. *Plant and Soil*, 421: 245-258.
- Shahzad, B., Rehman, A., Tanveer, M., Wang, L., Park, S. K. and Ali, A. 2022. Salt stress in brassica: effects, tolerance mechanisms, and management. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(2): 781-795.
- Shekari, F. A., and Mustafavi, S. H. 2017. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 16: 367-374.
- Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W., Cho, M. C., Yang, E. Y. and Lee, J. G. 2020. Response to salt stress in lettuce: Changes in chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities. *Agronomy*, 10(11): 1627.
- Sieprawska, A., Kornas, A. and Filek, M. 2015. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions-review. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 57(1).
- Stavridou, E., Hastings, A., Webster, R. J. and Robson, P. R. 2017. The impact of soil salinity on the yield, composition and physiology of the bioenergy grass *Miscanthus × giganteus*. *Gcb Bioenergy*, 9(1): 92-104.

- Torun, G. 2023. Marulda Nano Silisyum Dozları ve Uygulama Yöntemlerinin Tuza Toleransın Sağlanması Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 61 sayfa, Çankırı.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. Acutifolius* gray and drought sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediates water stress. *Plant Science*, 168: 223-231.
- Van Zelm, E., Zhang, Y. and Testerink, C. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 71: 403–433.
- Wu, H., Fan, S., Gong, H. and Guo, J. 2023. Roles of salicylic acid in selenium-enhanced salt tolerance in tomato plants. *Plant and Soil*, 484(1): 569-588.
- Xu, C. and Mou, B. 2015. Evaluation of lettuce genotypes for salinity tolerance. *HortScience*, 50(10): 1441-1446.
- Zhang, Q. and Dai, W. 2019. Plant response to salinity stress. In: *Stress Physiology of Woody Plants*, CRC Press, pp. 155-173.
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C. and Wang, P. 2021. Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9): 4609.