



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOMATESTE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)  
TOHUM ÇİMLENMESİ VE BİTKİ BÜYÜMESİ ÜZERİNE  
ÇİNKONUN ETKİSİ**

**Taylan KÖSEKAL  
Biyoloji Anabilim Dalı  
Botanik Programı**

**Danışman  
Doç.Dr. Muammer ÜNAL  
HAZİRAN, 2005**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOMATESTE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)  
TOHUM ÇİMLENMESİ VE BİTKİ BÜYÜMESİ ÜZERİNE  
ÇİNKONUN ETKİSİ**

**Taylan KÖSEKAL  
Biyoloji Anabilim Dalı  
Botanik Programı**

**Danışman  
Doç.Dr. Muammer ÜNAL  
HAZİRAN, 2005**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 22 / 06 / 2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı Botanik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr. Muammer ÜNAL (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Prof.Dr. Semahat YENTÜR  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Prof.Dr. Orhan KÜÇÜKER  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Prof.Dr. Sabri SÜMER  
Marmara Üniversitesi  
Fen Edebiyat Fakültesi

Doç.Dr. Gül CEVAHİR ÖZ  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve tezin her aşamasında bana yol gösteren tez danışmanım Doç.Dr. MUAMMER ÜNAL' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her alanda yardımlarını esirgemeyen Botanik Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam Prof.Dr. SEMAHAT YENTÜR' e,

Tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerine başvurduğum hocalarım Doç.Dr. GÜL CEVAHİR' e, Yard.Doç.Dr. SERAP SAĞLAM-ÇAĞ' a, Yard.Doç.Dr. MİNE SARSAĞ' a ve Araş.Gör. NADİM YILMAZER' e,

Çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Araş.Gör. SIRRI YÜZBAŞIOĞLU' na, Araş.Gör. ELİF AYTAMKA' ya, Araş.Gör. EDA KAPLAN' a ve Araş.Gör. ÇİĞDEM ÇİNGİL' a,

Hayatımın her alanında ve her zaman yanımda olduklarını bildiğim, sevgi ve sıcaklıklarını eksik etmeyen çok sevgili ANNEME, BABAMA, ABLALARIMA ve ABİM' e,

Ve her zaman yanımda olacağını bildiğim hayat arkadaşım, sevgili eşim GÜLDEN' e,

İçtenlikle teşekkür ederim.

**Haziran, 2005**

**Taylan KÖSESAKAL**

T-327/03112003 No' lu tez projemi destekleyen İ.Ü. REKTÖRLÜĞÜ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ YÜRÜTÜCÜ SEKRETERLİĞİ' ne ve tüm çalışanlarına içtenlikle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ÖNSÖZ</b> .....   | <b>i</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....   | <b>iii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....   | <b>v</b>    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....  | <b>viii</b> |
| <b>ÖZET</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>SUMMARY</b> .....   | <b>x</b>    |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2. GENEL KISIMLAR</b> .....                                     | <b>2</b>    |
| 2.1. Tohum ve Çimlenme .....                                       | 2           |
| 2.2. Bitkilerde Mineral Beslenme .....                             | 6           |
| 2.2.1. Çinkonun Bitki Büyümesi ve Gelişmesi Üzerine Etkileri ..... | 10          |
| <b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....                                  | <b>14</b>   |
| 3.1. Bitki Materyali ve Çinko Uygulamaları .....                   | 14          |
| 3.2. Çimlenme Yüzdesi .....  | 15          |
| 3.3. Bitki Büyümesi .....  | 16          |
| 3.4. Antosiyanin Tayini .....                                      | 16          |
| 3.5. Klorofil Tayini .....   | 16          |
| 3.6. Total Protein Miktarının Tayini .....                         | 16          |
| 3.7. Peroksidaz Aktivitesinin Spektrofotometrik Tayini .....       | 17          |
| 3.8. İstatistiksel Hesaplamalar .....                              | 18          |
| <b>4. BULGULAR</b> .....   | <b>19</b>   |
| 4.1. Çimlenme Yüzdesi .....  | 19          |
| 4.2. Bitki Büyümesi .....  | 20          |
| 4.3. Antosiyanin İçeriği .....                                     | 22          |
| 4.4. Klorofil İçeriği .....  | 23          |
| 4.5. Karotinoid İçeriği .....                                      | 26          |
| 4.6. Protein İçeriği .....   | 27          |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 4.7. Peroksidaz Aktivitesi .....  | 30        |
| <b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b> | <b>33</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>            | <b>39</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>             | <b>51</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Şekil 2.1</b>  | : Tohum çimlenmesi ve fide büyümesi ile ilgili önemli olayların zaman çizelgesi. .... 5  |
| <b>Şekil 2.2</b>  | : Bitki dokusundaki mineral madde konsantrasyonu ile bitki büyümesi arasındaki ilişki..... 9   |
| <b>Şekil 3.1</b>  | : Protein miktarlarının belirlenebilmesi için kullanılan standart protein grafiği. .... 17   |
| <b>Şekil 4.1</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates tohumlarının çimlenme yüzdeleri..... 20   |
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları.. 21                                |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates fidelerinin 8. gündeki genel görünüşleri. .... 21                                     |
| <b>Şekil 4.4</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdiği antosiyanin miktarları..... 23        |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdiği antosiyanin miktarları..... 23        |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri total klorofil miktarları. .... 24 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri total klorofil miktarları. .... 25 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri karotinoid miktarları..... 26      |
| <b>Şekil 4.9</b>  | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri karotinoid miktarları..... 27      |
| <b>Şekil 4.10</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin köklerdeki protein miktarları. .... 28                          |
| <b>Şekil 4.11</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerindeki protein miktarları. .... 29                  |
| <b>Şekil 4.12</b> | : Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarındaki protein miktarları. .... 30                   |
| <b>Şekil 4.13</b> | : Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin köklerdeki peroksidaz enzimi aktivitesi. .... 31                 |
| <b>Şekil 4.14</b> | : Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerindeki peroksidaz enzimi aktivitesi. .... 32         |



**Şekil 4.15** : Kontrol, H-(Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktivitesi. .... 32

## TABLO LİSTESİ

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Tablo 2.1</b> | : Bitki tarafından gereksinim duyulabilecek elementlerin dokudaki düzeyleri. ....  | 8  |
| <b>Tablo 3.1</b> | : Hoagland çözeltisinin içeriği.....   | 15 |
| <b>Tablo 3.2</b> | : Çinko (Zn) Konsantrasyon serileri.....   | 15 |
| <b>Tablo 4.1</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates tohumlarının çimlenme yüzdeleri.....  | 19 |
| <b>Tablo 4.2</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları. ....                                    | 20 |
| <b>Tablo 4.3</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının içerdiği antosiyanin miktarları.....    | 22 |
| <b>Tablo 4.4</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri klorofil miktarları. ....                | 24 |
| <b>Tablo 4.5</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri klorofil miktarları. ....                | 25 |
| <b>Tablo 4.6</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının içerdikleri karotinoid miktarları. .... | 26 |
| <b>Tablo 4.7</b> | : Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki protein miktarları. ....         | 28 |
| <b>Tablo 4.8</b> | : Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl <sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktivitesi..... | 30 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| <b>A</b>                | : absorpsiyon            |
| <b>ABA</b>              | : absisik asit           |
| <b>DNA</b>              | : deoksiribonukleik asit |
| <b>Fe</b>               | : demir                  |
| <b>g</b>                | : gram                   |
| <b>GA<sub>3</sub></b>   | : gibberellik asit       |
| <b>IAA</b>              | : indolasetik asit       |
| <b>L</b>                | : litre                  |
| <b>mg</b>               | : miligram               |
| <b>Mg</b>               | : magnezyum              |
| <b>ml</b>               | : mililitre              |
| <b>mM</b>               | : milimolar              |
| <b>Mn</b>               | : mangan                 |
| <b>RNA</b>              | : ribonukleik asit       |
| <b>ZnCl<sub>2</sub></b> | : çinko klorür           |
| <b>µg</b>               | : mikrogram              |
| <b>Δ</b>                | : delta                  |

## ÖZET

### DOMATESTE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.) TOHUM ÇİMLENMESİ VE BİTKİ BÜYÜMESİ ÜZERİNE ÇİNKONUN ETKİSİ

Bu çalışmada çinkonun domateste (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Deney ortamı olarak çinko içermeyen Hoagland çözeltisi ile 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland çözeltileri kullanılmıştır. Tohumlar deney çözeltilerinde 24 saat imbibe edildikten sonra içinde deney çözeltileri ile ıslatılmış filtre kağıtları bulunan petri kaplarına transfer edildi ve büyüme odasında 25±1°C de 5 gün süreyle çimlenmeleri izlendi. İmbibisyonu ardışık olarak 8 günlük bitkilerin kök, hipokotil ve kotiledonlarında antosiyanin, karotinoid, klorofil ve protein içerikleri ile peroksidaz aktivitesi ölçüldü.

Çinko eksikliğinin tohum çimlenmesi üzerine belirgin bir etkisi gözlenmedi. 1 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamının çimlenmeyi teşvik ettiği ve artan çinko konsantrasyonlarının (3, 5, 7 mM) ise çimlenmeyi inhibe ettiği bulunmuştur. 1 mM ZnCl<sub>2</sub> de kök ve hipokotil büyümesi teşvik edildi. Hem çinko eksikliğinde hem de 3, 5, 7 mM ZnCl<sub>2</sub> de kök ve hipokotil büyümesi inhibe edildi. Özellikle çinko eksikliği ve fazlalığı (3, 5, 7 mM ZnCl<sub>2</sub>) koşullarında peroksidaz aktivitesinde artış saptandı. 1-5 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarında kotiledon ve hipokotilde karotinoid ve total klorofil miktarının arttığı tespit edildi. Sonuçlar bitki büyüme ve gelişmesi ile ilgili olarak değerlendirilmiştir.

## **SUMMARY**

### **THE EFFECT OF ZINC ON SEED GERMINATION AND PLANT GROWTH IN TOMATO (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)**

In this study, effect of zinc on seed germination and plant growth in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) was investigated. Hoagland solutions containing 1, 3, 5, and 7 mM ZnCl<sub>2</sub> and lacking Zn were employed as experimental medium. Seeds were imbibed in experimental solutions for 24 hours and then transferred into petri dishes containing filter paper soaked with experimental solutions. They were observed for 5 days in view of germination at 25±1°C in growth chamber. After imbibition, anthocyanin, carotenoid, chlorophyll, and protein contents, and peroxidase activity were measured, in roots, hypocotyls, and cotyledons of 8 days old plants.

There was no marked effect of zinc deficiency on seed germination. 1 mM of ZnCl<sub>2</sub> was found to have induced germination, while increasing concentrations (3, 5, and 7 mM) inhibited it. Growth of root and hypocotyl was induced in 1 mM ZnCl<sub>2</sub>, but inhibited in 3, 5, and 7 mM ZnCl<sub>2</sub> and zinc deficiency. Conditions of Zn deficiency and abundance (3, 5, and 7 mM ZnCl<sub>2</sub>) resulted in an elevation of peroxidase activity. Increased carotenoids and total chlorophyll contents in the cotyledon were detected at 1-5 mM ZnCl<sub>2</sub> concentrations. The results were discussed with regard to plant growth and development.

## 1. GİRİŞ

Çinko bitkilerin normal büyüme ve gelişmesi için gerekli olan mikro elementlerden biridir. Çinko eksikliği global olarak farklı iklim bölgelerinde ve neredeyse bütün dünya ülkelerinde görülen en yaygın mikro element eksikliklerinden bir tanesidir. Çinko eksikliği ülkemiz topraklarında başta Orta Anadolu olmak üzere oldukça yaygındır ve yaklaşık olarak topraklarımızın % 49,8 inde görülmektedir. Aynı zamanda bazı endüstriyel, tarımsal ve kentsel aktiviteler sonucunda lokal çinko kirliliği de görülebilmektedir. Bu çalışmada çinkonun, eksikliğinin ve artan konsantrasyonlarının bitki üzerinde önemli etkilere neden olabileceği düşünülerek ülkemiz ekonomisi için önemli bir bitki olan domateste tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olan etkisi araştırılmak istenmiştir.

Tezin genel kısımlar bölümünde, tohum çimlenmesi ve çimlenmeyi etkileyen faktörler, bitkilerde mineral beslenme, mikro element olarak çinkonun önemi, bitkideki görevleri, eksiklik ve fazlalığındaki etkileri ile ülkemiz ve dünya topraklarındaki durumu hakkında bilgi verilmiştir. Malzeme ve yöntem kısmında bitkiye uygulanacak çinko konsantrasyonlarının hazırlanışı anlatılmış ve çinkonun fizyolojik etkilerinin araştırılması için uygulanacak yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın bulgular bölümünde ise deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Tartışma ve sonuç bölümünde, bu tez çalışmasında elde edilen bulgular mevcut literatür bilgileri ile birlikte yorumlanmış ve çalışmanın geliştirilmesi için yapılabilecek araştırmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışmasında çinkonun domateste (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olan etkisi araştırılmak üzere domates tohumlarının, çinko içermeyen ve artan çinko konsantrasyonlarını içeren Hoagland besi çözeltilerindeki tohum çimlenmesi, bitki büyümesi, fidelerin değişik kısımlarının antosiyanin, klorofil, karotinoid ve protein miktarları ile peroksidaz aktiviteleri gibi bazı biyokimyasal değişimleri ölçülmüştür.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. TOHUM VE ÇİMLENME

Tohum, döllenme olayından sonra gelişmiş tohum taslağı içindeki embriyo ve besi dokularından meydana gelen, tohumlu bitkilerin üreme ve yayılma organıdır. Tohumun yapısı genellikle embriyo, endosperm ve testadan oluşur. Bazı tohumlar perisperm de içerebilir. Dişi ve erkek gamet nükleusunun birleşmesi yani, embriyo kesesindeki yumurta hücrenin polen tüpünden gelen erkek gamet nükleuslarından biri tarafından döllenmesi sonucunda zigot oluşur. Zigotun geçirdiği mitoz bölünmeler sonucunda ise embriyo gelişir. Embriyo kesesindeki polar nükleuslar ve diğer polen tüpü nükleusunun birleşmesi ile oluşan hücrenin bölünmeleri sonucu endosperm meydana gelir. Tohum örtüsü, tohum taslağındaki integümentlerin farklılaşması ile oluşur. Perisperm ise bir nusellus gelişmesidir [1, 2, 3]. Tohum, çimlenme sürecinde yararlanacağı maddeleri içerir. Bu maddeler sıklıkla (*Lycopersicon esculentum*, *Zea mays* ve *Triticum aestivum* da olduğu gibi) tohumun endospermünde, bazı bitkilerin kotiledonlarında (*Phaseolus vulgaris* ve *Lactuca sativa*), ya da perispermünde (*Yucca*, *Acorus spp.*, *Piper spp.*) depolanır. Tohum depo maddeleri karbonhidratlar, lipidler ve proteinlerdir. Bunların yanında mineral maddeler, bazı pigmentler, alkaloidler vb. gibi maddeler de bulunabilir. Testa embriyoyu dış çevre koşullarına karşı koruyucu bir göreve sahiptir. Embriyo, embriyonik eksen ve bir ya da daha fazla sayıda kotiledon içerir. Embriyonik eksen ise radikula, hipokotil ve plumula ya da epikotilden oluşur [1, 2].

Tohum çimlenmesini içsel ve çevresel faktörler etkilemektedir. Ancak, çimlenme için uygun çevresel koşullar bulunsa bile birçok tohumda çimlenme meydana gelmeyebilir. Böyle tohumlar, dormant olarak isimlendirilir ve bu duruma tohum dormansisi adı verilir [2]. Dormansi fizyolojik bir olaydır. Bitki dölünün devamı için bir sonraki büyüme mevsimine kadar uygun olmayan çevresel koşulların atlatılmasına yardımcı olur. Dormansi tohum kaynaklı olabilir veya çevresel faktörlere dayanabilir [4]. Dormansi değişik sebeplerden dolayı meydana gelebilir. Embriyonun gelişmemesi, tohum örtüsünün gazlara ve suya karşı impermabl oluşu, mekanik sebeplerden dolayı embriyo gelişmesinin engellenmesi, sıcaklık veya ışığa karşı özel gereksinimler veya çimlenmeyi inhibe eden maddelerin varlığı gibi faktörler dormansi sebebidir. Tohum

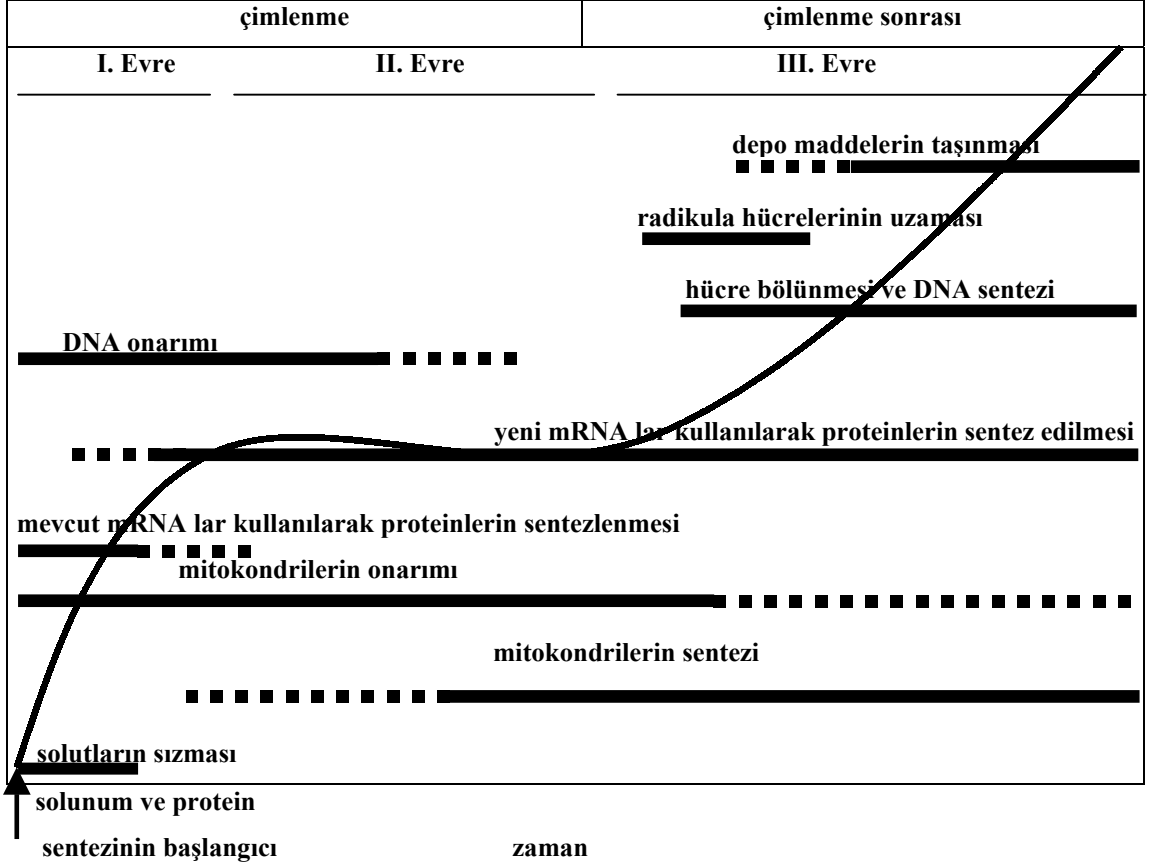
dormansisi olumsuz çevresel koşullarda çimlenmeyi engelleyerek tohumun hayatta kalma şansını mümkün olduğu kadar arttırmaktadır. Bunun yanında, çimlenme sürecinde geçici bir ertelemeye neden olarak tohumun daha uzak mesafelere dağılımı için tohuma ek bir zaman sağlar. Tohum dormansisi doğada oldukça yaygındır ve doğal populasyonların devamlılıklarını sürdürebilmeleri için son derece önemlidir [5, 6]. Tohum dormansisinin kırılması çeşitli çevresel faktörler tarafından sağlanabilir ve dormant tohumlar bu faktörlerden bir ya da birkaçına cevap vererek dormansilerini kaybederler. Bunlar ışık, sıcaklık ve tohumun içsel gelişmesinin tamamlanmasıdır. Işık çimlenmeyi etkileyen çevresel bir faktör olarak bilinir. Ancak, kültür bitkilerinde çimlenmeyi etkilediği ile ilgili çok az kanıt vardır. Birçok kültür bitkisinin tohumu karanlıkta ve ışıktaki iyi çimlenirler. Bunun aksine yabancı bitkilerin pek çoğunun ışığa karşı davranışlarının farklı olduğu gözlenmiştir. Çoğu tohum uygun çimlenme sıcaklığına konulmadan önce, belli düşük ya da yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmaya gereksinim duyar. İmbibe olmuş tohumların nemli koşullar altında düşük sıcaklığa maruz bırakılması stratifikasyon olarak tanımlanır. Dormansinin kırılması için yüksek sıcaklıklara gereksinim olduğunu gösterir bazı kanıtlar da vardır. Yüksek sıcaklığın bu tohumlarda tohum örtüsü yapısını etkileyerek permeabilite değişimine sebep olduğu düşünülmektedir. Tohumun içsel gelişiminin tamamlanması ile ilgili olarak ise, bazı tohumların ana bitkiden ayrıldıktan sonra çimlenemedikleri, ancak bunların ılık ve kuru depolama koşulları altında bitkinin türüne bağlı olarak birkaç haftadan birkaç aya kadar değişen zaman periyotlarında bırakıldıktan sonra dormansinin kırıldığı gözlenmiştir. Bu olay after-ripening olarak isimlendirilmektedir. Özellikle buğday, yulaf, pirinç gibi bazı monokotillerde ve *Xanthium*, *Datura*, *Brassica*, *Arabidopsis*, *Lycopersicon* ve *Acer* türleri gibi dikotillerde incelenmiştir [2, 6, 7].

Yüksek bitkilerde yeni döllerin sürekliliğinin sağlanması, diğer bir deyimle bitki neslinin devamı, birçok fizyolojik ve biyokimyasal özelliğe sahip olan tohumun çimlenmesi ile başlamaktadır [8]. Tohum çimlenmesi, tohumun su alması ile başlayan ve devamında embriyonik eksenin (genellikle radikula) testadan dışarı çıkması ile sonuçlanan bir dizi olaylar olarak tanımlanır. Tohum çimlenmesinin olabilmesi için kuru ve uyku halindeki tohum, mutlaka su alarak şişmelidir (imbibisyon). Aynı zamanda burada oksijene de gereksinim duyulmaktadır. Öte yandan sıcaklık gereksinimi çok değişkendir. Çimlenme geniş bir sıcaklık aralığında meydana gelebilir.



Buna rağmen her bir tür için ortalama bir sıcaklık derecesi ile çimlenme oranının çok düştüğü alt ve üst sıcaklık dereceleri de vardır. Ayrıca bazı tohumlar için ışık miktarı ve kalitesi de çimlenmede büyük önem taşımaktadır. Tohum çimlenmesi dormant haldeki tohum tarafından suyun alındığı evre (I), sonrasında protein sentezinin olduğu evre (II) ve bunu ardışık fide gelişiminin başladığı son evre (III) ile tamamlanan üç evreden meydana gelmektedir (Şekil 2.1). İlk iki evre çimlenme aşamasının başlangıç ve bitiş evreleri olmalarına rağmen son evre fide büyümesinin başladığı evre olarak değerlendirilir [1, 5].

Kuru ve uyku halindeki tohumda, su miktarı toplam ağırlığın % 5-20 si kadardır. Solunum hızı ve metabolizma aşırı derecede düşük, membran ve çeşitli hücre organelleri yapısal olarak belirsiz ve biyokimyasal olarak etkin değildirler. İmbibisyonun erken saatlerinde membranlar geçirgendir ve çeşitli düşük molekül ağırlıklı maddeler, iyonlar, şekerler ile amino asitler çimlenme ortamına geçebilirler. Membranların yenilenerek kendi normal yapılarına ve seçici geçirgenliklerine kavuşmaları, hidrasyondan sonra birkaç saat içerisinde olmaktadır. Bu süreçte meydana gelen diğer değişiklikler ise, mitokondri ve nukleus gibi organellerin yenilenmesi ve protein sentezinin başlamasıdır. Diğer yandan su miktarındaki artış ile solunum hızı ve oksijen tüketimindeki artış aynı paralelde gitmektedir. Bu aşamada embriyo oluşumu sürecinde tohumun hücrelerinde biriktirilen depo maddelerin sindirilmesi ve onlardan yararlanılması için hem tohumda önceden varolan enzimler aktif hale geçirilir hem de yeni enzimler sentez edilirler. Çimlenmenin erken evreleri boyunca glikoz yıkılması tamamen anaerobik olabilir. Fakat testanın yırtılmasıyla birlikte tohum oksijenli solunum yapmaya başlayacaktır. Hidrasyon, bazı solutların kaybına neden olurken aynı zamanda ABA ve bazı fenolikler gibi çoğu çimlenme inhibitörlerinin de etkisini ortadan kaldırmaktadır. Tohumun hidrasyonu uyku halindeki embriyonun metabolik aktivitesinin yeniden başlamasının yanında, embriyonik mekanizmayı aktive ederek embriyonun tohum dormansisinin kırılması için gerekli sinyalleri algılamasını da sağlar. Bu aşamada aynı zamanda aktif hormon formları ya sentez edilirler ya da dokudaki mevcut inaktif formlarından aktif formlarına dönüştürülürler [5, 10].



Şekil 2.1: Tohum çimlenmesi ve fide büyümesi ile ilgili önemli olayların zaman çizelgesi. Kuru ve uyku halindeki tohum tarafından suyun alınımı üç evrede gösterilir. I. evrede hızlı ve sonra plato evresi (II), devamında büyümenin başlamasıyla tekrar artan bir evre (III). Çimlenmenin tamamlanması için gerekli zaman süreci bitki türüne ve çimlenme koşullarına bağlıdır. Solunum hızı genellikle su alınımı hızı ile paralel gitmektedir ( Bewley (1997) den [9]).

Radikulanın uzaması ve testadan dışarı çıkması çimlenmenin tamamlandığını gösterir. Radikula çoğu tohumda büyüme başlar başlamaz onu çevreleyen yapılardan dış ortama çıkarken, diğer tohumlarda (*Vicia faba*) testanın kırılmasından önce belirgin bir şekilde radikula büyümesi vardır. Çimlenmenin tamamlanması, genellikle radikulanın testadan dışarı çıkması ile belirtilirken bazı tohumlarda hipokotil dışarı çıkan ilk yapı olabilmektedir. Bu olay *Bromeliaceae*, *Palmae*, *Saxifragaceae* *Chenopodiaceae*, *Onagraceae* ve *Typhaceae* familyalarının bazı üyelerinde meydana gelmektedir. Depo maddelerin çok azı çimlenmenin ikinci evresinde hidroliz edilmesine rağmen önemli miktarı üçüncü evrede tüketilmektedir. Bu heterotrofik beslenme periyodu genç fidenin topraktan dışarı çıkması ve fotosentez yapmaya başlamasına kadar sürmektedir. Genç fidenin büyümesi hücre bölünmeleri ve hücre genişlemesi tarafından sağlanmaktadır ve bu evrede fazla miktarda su ve enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Böylece üçüncü

evrede su alınımı ve solunum hızının arttığı gözlenmektedir. Fide gelişimi iki tipte incelenebilir: 1) Epigeik, bu tipte kotiledonlar hipokotilin uzaması ile toprak yüzeyinden yukarı doğru çıkarlar ve bir süre sonra fotosentetik hale gelirler (*Phaseolus vulgaris*, *Lycopersicon esculentum*). 2) Hipogeik, bu tipte hipokotilin uzamamasından dolayı kotiledonlar toprak altında kalırlar ve epikotilin uzaması ile ilk gerçek yapraklar toprak üzerinde yükselir (*Vicia faba*, *Zea mays*). Çimlenme tanımı fide büyümesini kapsamaz. Çünkü fide büyümesi çimlenmenin bitmesi ile başlamaktadır. Bu yüzden çimlenmenin tamamlandığının işareti olarak toprak yüzeyinde fidenin ortaya çıkması tanımı doğru olmayacaktır [1, 5].

Çimlenmenin kontrolü içsel ve çevresel faktörler olmak üzere iki kısımda incelenebilir. İçsel faktörler tamamen tohumun kendisinden kaynaklı bir durum olan dormansi, embriyonik yetersizlik, çimlenme inhibitörleri ve dormansinin genetik kontrolüdür. Çevresel faktörler ise, su, sıcaklık, gazlar ve ışıktır. Çimlenmeyi teşvik ediciler sitokininler (kinetin, zeatin), GA ile etilen gibi hormonlar ve potasyum nitrat, thiourea, strigol gibi basit yapılu bileşikler olarak sayılabilir. Çimlenmeyi engelleyiciler ise hormon olarak ABA ve bileşikler olarak ta trans-sinamik asit, kumarik asit, kumarin, kafeik asit, ferulik asit, siyanür, dinitrofenol ve hidroksilamin gibi maddelerdir [2, 5, 11]. Ayrıca tohum çimlenmesi toprakta varolan organik ve inorganik kimyasal maddeler tarafından da etkilenebilmektedir [1].

## 2.2. BİTKİLERDE MİNERAL BESLENME

Yerkabuğunda 92 doğal element mevcuttur ve bunların yerkabuğunda bulunuş oranları ile canlı sistemlerde bulunuş miktarları aynı değildir [12]. Bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için bazı mineral maddelere gereksinimleri vardır. Bu gereksinimlerini kökleri ve yaprakları aracılığı ile temin ederler. Bitkilerde altın, gümüş, kurşun, civa, arsenik ve uranyumu da kapsayan 60 kimyasal elementten daha fazlasının bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak bitkilerde bulunan mevcut elementlerin hepsinin bitki büyüme ve gelişmesinde gerekli olmadığı da açıktır. Bu elementlerin varlığı bitkinin büyüdüğü toprağın bileşiminin bir yansımasıdır. Bitkilerde bulunan kimyasal elementlerin büyük bir çoğunluğu toprak çözeltilerinden inorganik iyonlar olarak absorbe edilirler.

Bitkilerde mevcut olan kimyasal elementlerden bazılarının normal büyüme için zorunlu olduğu saptanmıştır. Bu elementlerden herhangi birinin yokluğu durumunda büyüme anomalileri veya eksiklik semptomları görülür. Bu elementler karbon, hidrojen, oksijen, potasyum, kalsiyum, magnezyum, azot, fosfor, kükürt, mangan, çinko, bakır, klor, bor, molibden, nikel ve demirdir. Bu elementler bitki büyümesi için gerekli, esas elementler olarak belirtilmektedir. Bir elementin esas element olarak tanımlanmasının kriteri; 1) bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması için zorunlu oluşu, 2) bitkinin herhangi bir molekülünün veya bileşeninin bir kısmı olmasıdır [10]. Mineral elementler bitki dokusundaki konsantrasyonlarına göre genellikle makro elementler ve mikro elementler olarak sınıflandırılırlar. 1 kg kuru ağırlıkta 1000 mg ya da daha fazla bulunanlar makro element, 1 kg kuru ağırlıkta 100 mg a eşit veya daha az bulunanlar ise mikro element olarak isimlendirilir. Tablo 2.1 de yüksek bitkiler için gerekli elementlerin listesi verilmiştir [6, 13, 14].

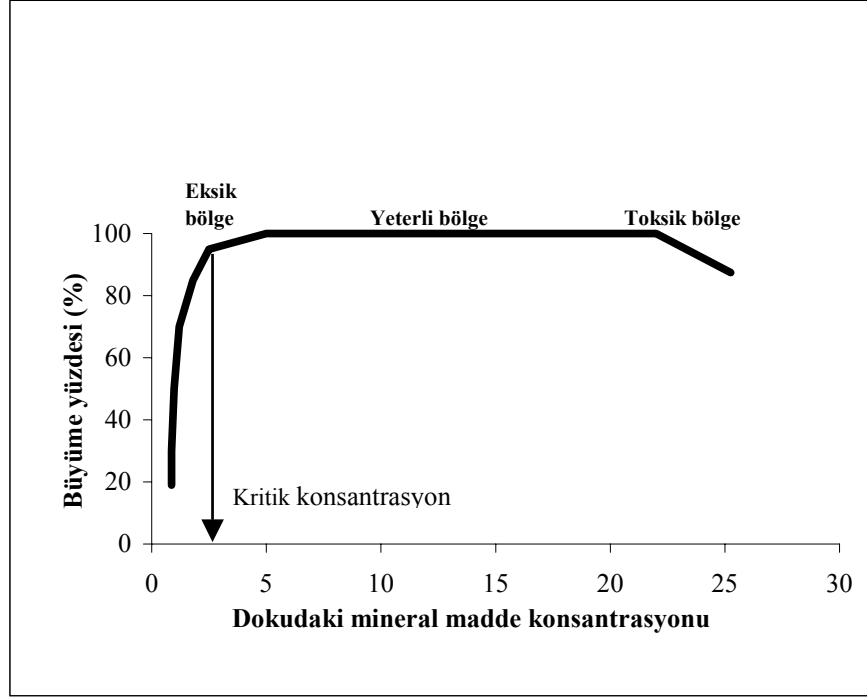
Tablo 2.1 de gösterilen mineral maddeler ve onların dokudaki konsantrasyonları normal bitki büyümesi için yeterli miktarlardır. Şekil 2.2 de ise bitki dokusundaki herhangi bir elementin konsantrasyonun bitki büyümesine olan etkisi gösterilmiştir. Düşük konsantrasyon aralığı, eksiklik bölgesi olarak adlandırılır ve burada mineral element eksikliğinden dolayı büyümede ve verimde düşüş gözlenmektedir. Kritik konsantrasyonda dokudaki mineral madde konsantrasyonu yeterlidir. Yeterli bölge olarak tanımlanan konsantrasyon aralıklarında bitki iyi gelişir. Bu sınırlar içinde konsantrasyon değişimlerinde dikkate değer büyüme ve gelişme farkı görülmez. Dokudaki mineral madde konsantrasyonu yeterli bölgenin üzerine çıkacak olursa bitkide toksik etki semptomları görülür, bitki büyüme, gelişmesi inhibe edilir ve bitkide anomaliler gözlenir [13].

Tablo 2.1: Bitki tarafından gereksinim duyulabilecek elementlerin dokudaki düzeyleri.

| Element   | Kimyasal Formül | Kuru ağırlıktaki konsantrasyon (% ya da ppm)* |
|---|-----------------|---|
| <b>Su ya da karbondioksitten elde edilenler</b> |                 |   |
| Hidrojen  | H               | 6   |
| Karbon  | C               | 45  |
| Oksijen   | O               | 45  |
| <b>Topraktan elde edilenler</b>                 |                 |   |
| <b>Makro elementler</b>                         |                 |   |
| Azot  | N               | 1.5   |
| Potasyum  | K               | 1.0   |
| Kalsiyum  | Ca              | 0.5   |
| Magnezyum                                       | Mg              | 0.2   |
| Fosfor  | P               | 0.2   |
| Kükürt  | S               | 0.1   |
| Silisyum  | Si              | 0.1   |
| <b>Mikro elementler</b>                         |                 |   |
| Klor  | Cl              | 100   |
| Demir   | Fe              | 100   |
| Bor   | B               | 20  |
| Mangan  | Mn              | 50  |
| Sodyum  | Na              | 10  |
| Çinko   | Zn              | 20  |
| Bakır   | Cu              | 6   |
| Nikel   | Ni              | 0.1   |
| Molibden  | Mo              | 0.1   |

Kaynak: Epstein 1972, 1999 [15, 16]

(\*): Mineral olmayan elementlerin (C, H, O) ve makro elementlerin değerleri yüzde (%) olarak, mikro elementlerin değerleri ise ppm olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Bitki dokusundaki mineral madde konsantrasyonu ile bitki büyümesi arasındaki ilişki.

Bitki beslenmesinde gerekli olan bu elementleri bitkideki hareketliliklerine göre mobil ve immobil olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz. Mobil bir elementin eksiklik belirtileri ilk olarak yaşlı yapraklarda gözlenmektedir. Diğer yandan immobil bir elementin eksiklik belirtileri ise, ilk olarak genç yapraklarda ortaya çıkmaktadır. Bu mineral elementleri hareketliliklerine göre sınıflandıracak olursak;

- Mobil elementler: Azot, Potasyum, Magnezyum, Fosfor, Klor, Sodyum, Çinko, Molibden
- İmmobil elementler: Kalsiyum, Kükürt, Demir, Bor, Bakır dır [6].

Bitki büyümesine mineral maddelerin etkileri incelenirken, bitkinin yetiştirildiği kültür ortamına incelenecek olan mineral madde değişik konsantrasyonlarda, diğer mineral maddeler ise yeterli düzeyde uygulanır [6].

### 2.2.1. Çinkonun Bitki Büyümesi ve Gelişmesi Üzerine Etkileri

Çinko (Zn), bitkilerin normal büyüme ve gelişmesi için önemli olan mikro elementlerden bir tanesidir ve birçok metabolik süreçte gereklidir [17, 18, 19, 20]. Hücre zarlarının ve hüresel içeriklerin moleküler yapısını dengede tutarak hücre ve organ bütünlüğünün süreklilik kazanmasına yardımcı olmaktadır. Kök hücrelerinin plazma zarlarının bütünlüğünde de önemli bir rol oynar [21]. Bunun yanında hücre zarlarının fosfolipid ve sülfidril gruplarını bağlayarak zarların stabilizasyonunu da sağlayabilir [22, 23, 24, 25, 26, 27]. Çinko karbonhidratlar, yağlar, proteinler ve nukleik asitlerin sentezi ve yıkılmasına katılan yaklaşık 300 kadar enzimin önemli bir bileşenidir [28]. Metaloenzimlerin bir bileşeni olmasının yanısıra aynı zamanda anhidrazlar, dehidrogenazlar, oksidazlar, peroksidazlar, aldolazlar, izomerazlar, transfosforilazlar, RNA ve DNA polimerazlar gibi birçok enzimde fonksiyonel, yapısal veya düzenleyici kofaktör olarak ta görev yapar [29, 30, 31]. Ayrıca çinko birçok enzimdeki Mg ve Mn nin yerine de geçebilir [31].

Çinko, bitkilerde DNA ve RNA metabolizması, kromatin yapısı ve gen ekspresyonunda çok önemli roller oynamaktadır [32]. Nukleik asit ve proteinlerin sentezinde önemli bir rol oynamasının yanında, tohum oluşumu boyunca fosfor ve azottan yararlanılmasına da yardım etmektedir [33, 34]. Ayrıca Zn içeren birkaç proteinin DNA replikasyonu ve gen transkripsiyonu ile ilgili olduğu da bilinmektedir [35]. Bitkilerde azot metabolizmasının düzenlenmesinde, hücre bölünmesinde, fotosentezde, solunumda, sitokrom c biyosentezi, sitoplazmik ribozomların normal tersiyer ve kuaterner yapılarının korunmasında , IAA ve GA<sub>3</sub> gibi bitki hormonları ile subsellular bitki organellerinin yapılarının stabilizasyonunda rol oynamaktadır [18, 26, 36, 37, 38, 39, 40, 41].

Çinko, biyokütle üretiminde de görev almaktadır. Ruano ve diğ. (1987, 1988) su kültüründe yüksek çinko konsantrasyonunda (0,75 mg l<sup>-1</sup>) yetiştirdikleri fasulye bitkilerinde biyokütle üretiminin önemli ölçüde baskılandığını belirtmişlerdir [42, 43]. Ayrıca çinkonun klorofil sentezine katıldığı veya klorofil yıkımını engellediği de düşünülmektedir [13]. Çinko klorofil konformasyonu ile ilgili minerallerin konsantrasyonuna etki edebilir ya da Fe ve Mg gibi klorofil molekülüne ait elemanları etkileyebilir [44, 45, 46].

Bitkilerin yaşadıkları ortamda olumsuz koşulların etkisi altında kalmaları olasıdır. Bu şekilde metabolizmayı, büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyen, herhangi bir çevresel faktör veya madde, stres olarak kabul edilmektedir. Stres geçici olsa bile, bitki büyüme ve gelişmesi gerilemeye başlar. Stres koşulları devam ederse, inhibisyon daha da ilerler. Bitki kapasitesinin sonuna ulaşıldığında ise, o ana kadar belirti göstermeden kalan zarar, kronik hastalığa ve geri dönüşümsüz bir zarara dönüşebilir. Stres faktörleri doğal ve antropogenik (insan kaynaklı) olarak sınıflandırılabilir. Doğal stres faktörleri; yüksek ışık, sıcaklık, soğuk, don, su azlığı ve fazlalığı, mineral eksikliği, böcek ve patojenleri kapsamaktadır. Antropogenik stres ise, herbisitler, fungusitler, pestisitler, ozon, asit yağmurları, aşırı azot uygulaması, ağır metaller vb. gibi faktörleri içermektedir [47]. Buradan da anlaşılacağı üzere bitki mineral elementlerinden biri olan çinko gerek mineral eksikliği yüzünden doğal stres faktörlerine ve gerekse de ağır metal olarak antropogenik stres faktörlerine girmektedir. Bu haliyle stres etmeni olarak çinkonun bitki dokusundaki eksikliği veya fazlalığı yüzünden bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde çeşitli etkilere sahip olabileceği beklenmelidir.

Çinko eksikliği en yaygın mikro element eksikliklerinden biridir. Global olarak farklı iklim bölgelerinde ve neredeyse bütün ülkelerin topraklarında görülmektedir. Çinko eksikliği özellikle alkali toprakların baskın olduğu, çorak ve yarıçorak bölgelerde görülür [48, 49, 50, 51, 52, 53]. Dünya da kültür altında bulunan toprakların yaklaşık % 30 unda çinko eksikliği görülmekte ve bu oran 3. Dünya ülkelerinde % 50 ye kadar çıkmaktadır [54, 55]. Çinko eksikliği ülkemizde başta Orta Anadolu olmak üzere oldukça yaygındır ve son yıllarda yürütülen geniş çaplı toprak analizi sonuçlarına göre Türkiye topraklarının yaklaşık % 49,8 inde (14 milyon hektar) çinko eksikliği tespit edilmiştir [56, 57]. Gerçekte topraklar toplam çinko yönünden yoksul olmayıp bitkilerin yüzlerce yıllık gereksinimlerini karşılayacak kadar zengindir. Ancak buradaki sorun, toprakta bulunan çinkonun çeşitli nedenlerle bitkiler tarafından alınamamasından kaynaklanmaktadır. Toprakta çinkonun alınımını engelleyen etmenlerin başında toprak pH sı gelmektedir. Yüksek toprak pH sı Zn nin topraktan absorpsiyonunu zorlaştırır ve böylece bitkiler tarafından yeterli çinko alınımını sınırlandırır [58]. Bitkilerde çinko eksikliğine neden olan diğer faktörler ise, toprağın organik madde miktarı, toprağın fosfor düzeyi, düşük toprak sıcaklığı ve su miktarıdır [59, 60]. Toprak solusyonundan çinkonun alınımı çoğunlukla difüzyon ile olmaktadır [61]. Toprakta Zn nin difüzyonu



toprağın nem miktarına bağlı olduğu için kurak ve yarıkurak bölgelerde yetiştirilen bitkiler çinko eksikliği çekmektedirler [62].

Toprağın ağır metallere kirlenmesi çevresel stres koşullarından bir tanesidir. Artan endüstriyel kirlenme, kentsel aktiviteler ve tarımsal uygulamalar ağır metallere bitki büyüme ortamında toksik düzeylerde birikmesine sebep olabilir [63, 64, 65, 66, 67, 68, 69]. Bazı ağır metallere düşük dozları bitkiler için mikro element olarak önemlidir. Ancak yüksek dozları çoğu bitki türünde metabolik bozukluklara ve büyümenin indirgenmesine neden olabilir [70]. Bu metallere bitkisel dokularda fazlaca birikimi bitkilerin büyüme ve gelişmesinde; mineral beslenme [71, 72], transpirasyon [73, 74], fotosentez [75,76], enzim aktivitesi [77, 78], klorofil [ 75, 79] ve nukleik asit biyosentezi [80, 81] gibi önemli süreçlerde değişikliklere neden olmaktadır. Bitki beslenmesinde çinkonun çok düşük konsantrasyonlarına gereksinim olmakla beraber, yüksek konsantrasyonları toksiktir ve bitkiler tarafından gelişimin erken aşamasında alındığı için toksik etki belirtileri de erken evrelerde görülebilir [82].

Daha önce de belirtildiği gibi, çinko, hem mikro element olarak eksikliğinde hem de ağır metal olarak fazlalığında, bitki büyümesi ve metabolizması üzerinde çeşitli etkilere yol açabilir. Bu şekilde bitkiler çeşitli stres koşullarında kaldıklarında mitokondri ve kloroplastlarındaki elektron transportunda belirgin derecede değişiklikler meydana getirirler. Bunun sonucu olarak,  $^1O_2$ ,  $O_2^-$ , OH ve  $H_2O_2$  gibi toksik oksijen türleri üretilir [83, 84, 85, 86]. Bu oksijen türlerinin yüksek konsantrasyonları lipidler, proteinler ve nukleik asitler gibi hayati öneme sahip hücresel içeriklerde hasara yol açabilir. Canlılar için yaşamsal öneme sahip bu moleküllerdeki oksidatif hasar sonucunda ise hücresel metabolizma bozulabilir [87, 88, 89, 90, 91, 92]. Ağır metal kaynaklı bazı çevresel stres koşullarına karşı antioksidan enzimlerin aktivitelerinin değişmesi üzerine raporlar bulunmaktadır [93, 94, 95, 96, 97]. Bitki hücrelerinin aktif oksijen türlerinin yarattığı oksidatif strese karşı koruyucu olarak katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi bazı enzim sistemlerinin aktivitelerini arttırdığı ve aynı zamanda askorbat, glutathion,  $\alpha$ - tokoferol, antosiyanin ve karotenoidler gibi enzimatik olmayan antioksidanları da içerdiği bilinmektedir [92, 98, 99, 100, 101,102].

Bu tez çalışmasında dünya ve özellikle ülkemiz topraklarında görülen çinko eksikliği ile bazı endüstriyel, kentsel ve tarımsal uygulamalar sonucunda çinkonun lokal olarak bitki büyüme ortamında toksik düzeylerde birikebileceği ve bitki gelişimi üzerinde çeşitli etkilere neden olabileceği düşüncesinden hareketle ülkemiz ekonomisi için büyük öneme sahip domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bitkisinde çinkonun tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olan etkisi incelenecektir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. BİTKİ MATERYALİ VE ÇİNKO UYGULAMALARI

Bu çalışmayı oluşturan deneylerde bitki materyali olarak domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohum ve fideleri kullanılmıştır. Domates tohumları H 2274 kod numaralı ve çimlenme yüzdesi %99,9-%96 olarak May Tohumculuktan (Bursa) temin edilmiştir.

Deney materyali olarak kullanılan domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumları çimlenme ve gelişmelerinin her aşamasında çinko eksik ve çinkonun artan konsantrasyonlarını içeren Hoagland [103] besi çözeltileri (Tablo 3.1) ile muamele edilmişlerdir. Kullanılan çinko konsantrasyonları ön denemelerden sonra seçilmiştir. 7 mM  $ZnCl_2$  den daha yüksek konsantrasyonlarda tohumlar çimlense bile kök ve hipokotil gelişmesinin aşırı derecede inhibe edildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle deneyde kullanılan  $ZnCl_2$  konsantrasyonları 1-7 mM arasında seçilmiştir. Sonuçta bu araştırmada; kontrol olarak Hoagland besi çözeltisi kullanılmıştır. Diğer besi çözeltilerinde ise Hoagland çözeltisi içindeki çinko konsantrasyonları, değiştirilerek kullanılmıştır (Tablo 3.2).

Domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumları % 60 etil alkolde 5 dakika steril edildikten sonra kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM  $ZnCl_2$  ortamlarında 24 saat imbibisyona bırakılmıştır. İmbibisyon ortamlarından alınan tohumlar distile su ile yıkandıktan sonra 14 cm lik petri kaplarına yerleştirilmiş ve deney besi çözeltileriyle ıslatılarak (12 ml) nemlendirilmiş çift katlı filtre kağıtları üzerine transfer edilmiştir. Ayrıca her bir konsantrasyon serisi için 5 adet petri kabı seçilmiş ve tohumlar her bir petriye 40 ar tane olmak üzere 2 cm aralıklarla ekilmiştir. Ekim işleminden sonra deney serilerine iki günde bir 8 ml distile su ilave edilmiştir. Petriler 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık ışıklandırma periyodunda,  $25 \pm 1^\circ C$  de ve 8000 lux ışık şiddeti koşullarındaki büyüme odalarına yerleştirilmişlerdir.

Tablo 3.1: Hoagland çözeltilisinin içeriği. Tabloda görülen mineral tuzlardan aşağıda belirtilen miktarlarda alınarak son hacim deiyonize su ile 1000 ml ye tamamlanmıştır.

| Mineral tuzlar                    | Konsantrasyon | 1 L için alınacak miktar (ml) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 1 M           | 5                             |
| KNO <sub>3</sub>                  | 1 M           | 5                             |
| MgSO <sub>4</sub>                 | 1 M           | 2                             |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 1 M           | 1                             |
| FeEDTA <sup>(*)</sup>             | 0,1 M         | 2                             |
| Mikro elementler                  | (**)          | 1                             |

(\*) FeEDTA (etilen diamin tetra asetik asitin Fe kompleksi) stok çözeltilde 5 mg/ml Fe içerecek şekilde hazırlanmıştır.

(\*\*) Mikro elementleri içeren stok çözeltilinin 1 litresinde bulunan mineral tuzların miktarları: 2,86 gr H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1,81 gr MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, 0,11 gr ZnCl<sub>2</sub>, 0,05 gr CuCl<sub>2</sub>, 0,025 gr Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.

Tablo 3.2: Çinko (Zn) Konsantrasyon serileri.

|                         | Konsantrasyonu | gr/L  |
|-------------------------|----------------|-------|
|                         | 1 mM           | 0,136 |
| <b>ZnCl<sub>2</sub></b> | 3 mM           | 0,409 |
|                         | 5 mM           | 0,681 |
|                         | 7 mM           | 0,954 |

Yapılan gözlemler sonucunda çimlenme yüzdesinin 5. günden sonra değişmediği saptanmıştır. Bu yüzden tohum çimlenmesi 5 gün süreyle izlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Gelişmenin sekizinci gününde 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi çözeltilinde, hipokotil uzamasının yavaşladığı saptanmış ve bu yüzden deney 8. günde sonlandırılmıştır. Analizler için fidelerin kök, hipokotil ve kotiledonları kullanılmıştır.

### 3.2. ÇİMLENME YÜZDESİ

Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamlarında 24 saat imbibisyona bırakılan ve daha sonra petrilere aktarılan domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumlarının çimlenmeleri sabit kalana kadar günlük olarak izlenmiş ve çimlenme

oranları yüzde olarak ifade edilmiştir. Radikulanın testadan dışarı çıkması çimlenme kriteri olarak alınmıştır.

### **3.3. BİTKİ BÜYÜMESİ**

Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin 8. gündeki kök ve gövde uzunlukları milimetrik taksimatlı cetvel kullanılarak ölçülmüştür.

### **3.4. ANTOSİYANİN TAYİNİ**

Taze ağırlıkları alınmış bitki kısımları (hipokotil, kotiledon) Mancinelli [104] metoduna göre %1 oranında asitlendirilmiş 18 ml metanolde ekstre edilmiştir. Ekstreler arasına çalkanarak 2 gün 3-5°C buzdolabında bekletildikten sonra filtre kağıdından süzülüş ve çözeltideki antosiyanin içeriği spektrofotometrede 530 nm dalga boyunda ölçülerek optik yoğunluk olarak ifade edilmiştir. Ekstredeki klorofil yıkım ürünlerinin de bu dalga boyunda absorpsiyon vereceği gözönüne alınarak örneklerin 657 nm deki değerleri de ölçülmüş ve ( $A_{530} - 0,33 \times A_{657}$ ) formülünde yerine konularak örneklerin birim taze ağırlığındaki antosiyanin içeriği tayin edilmiştir.

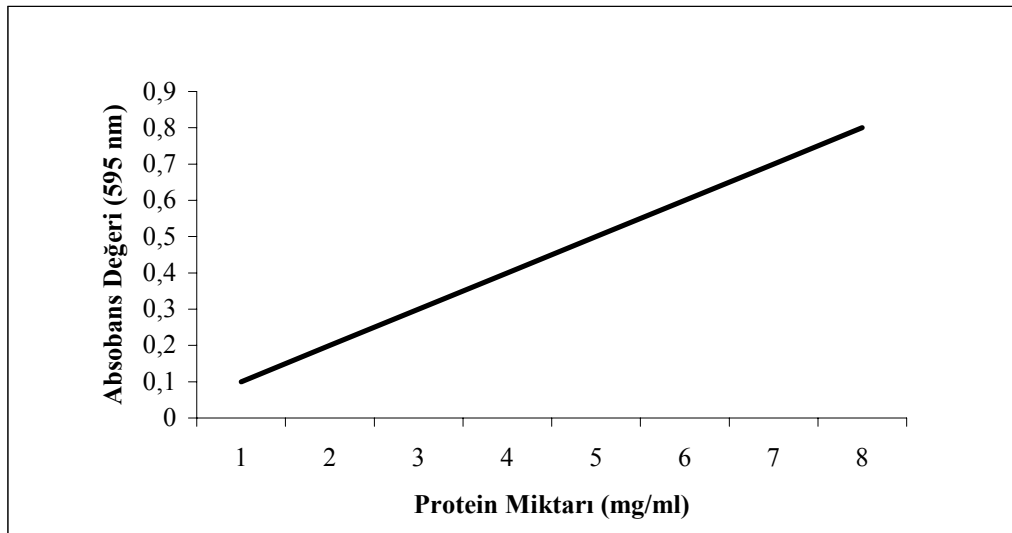
### **3.5. KLOROFİL TAYİNİ**

Klorofil tayini yapılacak olan bitki kısımları (hipokotil, kotiledon) taze ağırlığı alınarak bir miktar CaCO<sub>3</sub> tozu ile % 90 aseton içerisinde ekstre edilmiştir. Ekstreler 24 saat boyunca + 4°C de bekletildikten sonra 3000 g de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra buradan alınan örneklerin spektrofotometrede 630, 645, 665, 480 ve 750 nm dalga boylarındaki absorpsiyon değerleri saptanmıştır [105]. Bu değerlerin birim taze ağırlıktaki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotinoid içerikleri hesaplanmıştır.

### **3.6. TOTAL PROTEİN MİKTARININ TAYİNİ**

Total protein analizi için Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen fideler kök, hipokotil ve kotiledon kısımlarına ayrılmış ve taze ağırlıkları alınmıştır. Bitki kısımları 1.5 ml pH 7.0 fosfat tamponu

kullanılarak buz içindeki soğuk havanda ezilmiştir. Daha sonra ependorf tüplere alınan homojenatlar 13.000 devir/dakika 4°C de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Suda çözünen proteinleri içeren üst sıvı (süpernatant) yeni ependorf tüplere alınarak protein miktarı ve enzim aktivitesi ölçülmek üzere -20°C de saklanmıştır. Protein miktarının belirlenmesi Bradford [106] yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde bovin serum albuminin (BSA) suda çözülerek hazırlanan 16 mg/ml çözeltisinden 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 µl alınarak 0,1 ml ye tamamlanmıştır. BSA nın bu farklı konsantrasyonlarının 595 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerleri ölçülerek standart protein eğrisi çizilmiştir. 0,1 ml protein içeren süpernatant Bradford tamponu ile 5 ml ye tamamlanarak 595 nm dalga boyunda spektrofotometrik ölçüm yapılmıştır. Elde edilen absorpsiyon değerleri standart eğride yerine konularak bu absorpsiyonlara karşılık gelen total protein miktarları belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Protein miktarlarının belirlenebilmesi için kullanılan standart protein grafiği.

### 3.7. PEROKSİDAZ AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ

Taze ağırlıkları alınan bitki kısımlarının (kök, hipokotil, kotiledon) total protein tayininde anlatıldığı şekilde ekstraksiyonları yapıldıktan sonra elde edilen homojenatlar 13.000 devir/dakika da santrifüj edilmişlerdir. Bu işlem sonucunda elde edilen süpernatantlar -20°C de saklanmıştır. Peroksidaz aktivitesinin spektrometrik ölçümü için -20°C de saklanan örnekler, içerisinde % 0,1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile % 0,25 guaiakol bulunan 1 ml 0,1 M pH 7,0 fosfat tamponuna eklenmiştir. Hazırlanan karışımın 2 dakika içerisinde

10 sn aralıklarla 470 nm dalga boyundaki absorpsiyonları ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerine göre 1 gram bitki örneğindeki peroksidaz enziminin 1 dakikadaki aktivitesi tayin edilmiştir [107].

### 3.8. İSTATİSTİKSEL HESAPLAMALAR

Araştırmada yapılan deneylerde farklı sayıdaki ekstrakt üzerinde ölçümler yapılmış ve standart sapmalar aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

$\bar{X}$  : Aritmetik ortalama

$\sum X_i$  : Değerlerin toplamı (birinciden N. ciye kadar değişkenin bütün değerlerinin toplamı)

$N$  : Tekrarlanan deney sayısı

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N} - \frac{(\sum X_i)^2}{N^2}}$$

$s$  = Standart sapma

$X_i$  = Sapma değeri

## 4. BULGULAR

### 4.1. ÇİMLENME YÜZDESİ

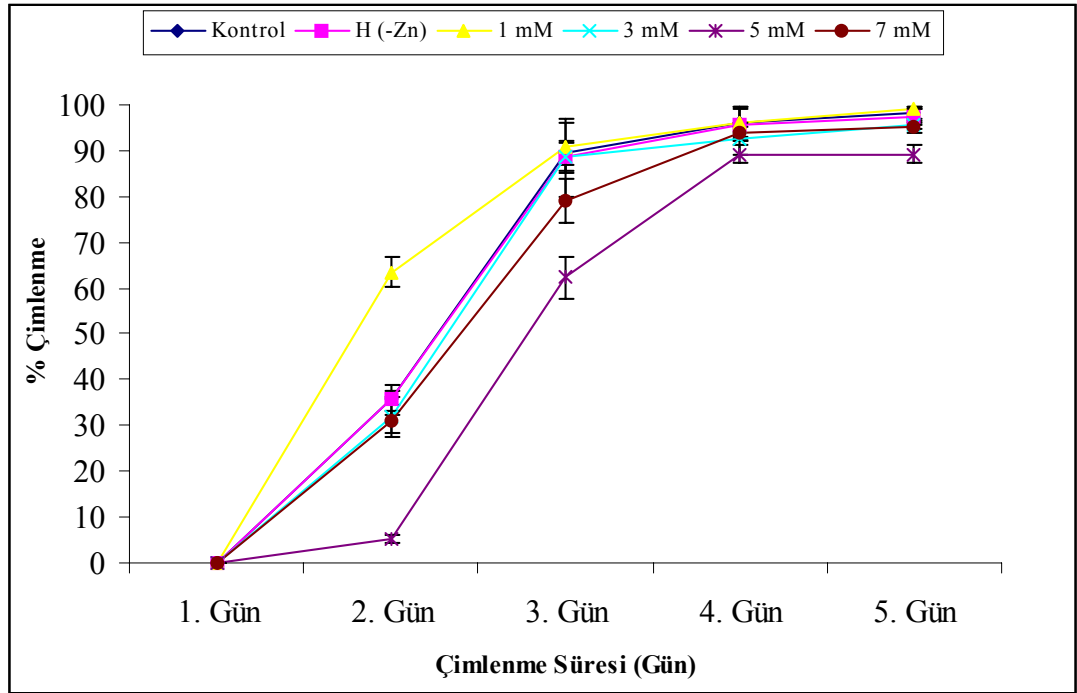
Sterile edildikten sonra Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltileri içerisinde oda sıcaklığında 24 saat imbibisyona bırakılan domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumları, deney besi çözeltileri ile ıslatılmış filtre kağıdı bulunan petri kaplarına transfer edilerek 25 ± 1°C sıcaklıkta büyüme odalarında çimlenmeye bırakılmışlardır. Çimlenme sonuçları Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 den de görüldüğü gibi 1. günde hiçbir ortamda çimlenme gözlenmemiştir. 2-5. günler arasında çinko içermeyen besi çözeltisi ortamındaki çimlenmelerde önemli bir gecikme ya da artış olmamış, konrole yakın değerler elde edilmiştir. 1 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi ortamında, 2. günde çimlenme önemli ölçüde teşvik edilmiş, %63 oranında çimlenme olduğu tespit edilmiştir. Çimlenmede gözlenen bu artış diğer günlerde de devam etmiş ve deney süresi sonunda %99,33 oranında çimlenme görülmüştür. 3 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi suyunda kontrole oranla çok az çimlenme gecikmesi gözlenmiştir. 5 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi suyu ortamında ise, özellikle 2. günde çimlenme çok belirgin bir şekilde geciktirilmiş ve ancak %5,38 oranında çimlenme ortaya çıkmıştır. 3-5. günler arasında da çimlenmenin geciktiği saptanmıştır.

Tablo 4.1: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates tohumlarının çimlenme yüzdeleri.

| Seriler            | Günlere Göre Çimlenen Ortalama Tohum Yüzdesi ( % ) |             |             |             |             |
|--------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | 1. Gün   | 2. Gün      | 3. Gün      | 4. Gün      | 5. Gün      |
| Kontrol (Hoagland) | 0  | 36.00 ± 1,7 | 89.40 ± 2,3 | 96.00 ± 3,4 | 98.25 ± 1,3 |
| H (-Zn)            | 0  | 35.60 ± 3,2 | 88.56 ± 8,6 | 95.63 ± 3,7 | 97.52 ± 1,8 |
| 1 mM               | 0  | 63.45 ± 3,3 | 90.72 ± 5,2 | 96.23 ± 3,4 | 99.33 ± 0,4 |
| 3 mM               | 0  | 32.06 ± 4,4 | 88.70 ± 3,6 | 92.47 ± 3,6 | 95.43 ± 0,8 |
| 5 mM               | 0  | 05.38 ± 0,8 | 62.23 ± 4,8 | 89.30 ± 2,1 | 89.30 ± 2,1 |
| 7 mM               | 0  | 30.80 ± 2,2 | 79.05 ± 4,9 | 93.83 ± 1,5 | 95.25 ± 1,2 |





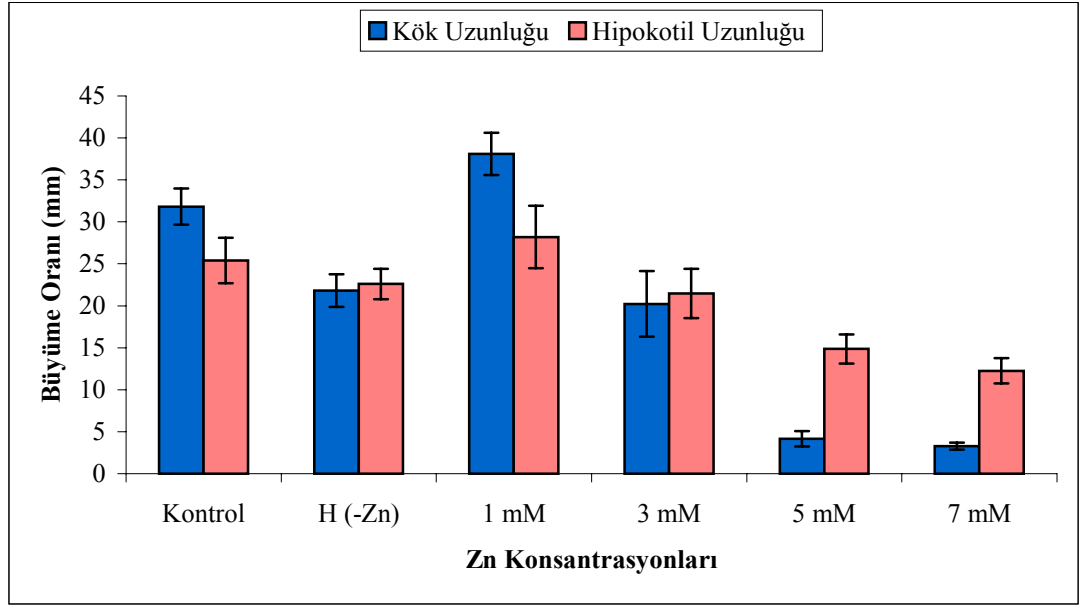
Şekil 4.1: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates tohumlarının çimlenme yüzdeleri.

## 4.2. BİTKİ BÜYÜMESİ

İmbibisyonu ardışık olarak 8. güne kadar Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde çimlendirilen ve yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları Tablo 4.2 ve Şekil 4.2 de, 8. gündeki genel görünüşleri ise Şekil 4.3 te gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları.

| Seriler            | Kök Uzunluğu (mm) | Hipokotil Uzunluğu (mm) |
|--------------------|-------------------|-------------------------|
| Kontrol (Hoagland) | 31,81 ± 2,15      | 25,40 ± 2,72            |
| H (-Zn)            | 21,80 ± 1,95      | 22,60 ± 1,82            |
| 1 mM               | 38,10 ± 2,51      | 28,20 ± 3,73            |
| 3 mM               | 20,23 ± 3,90      | 21,46 ± 2,94            |
| 5 mM               | 4,15 ± 0,92       | 14,86 ± 1,73            |
| 7 mM               | 3,29 ± 0,42       | 12,26 ± 1,51            |



Şekil 4.2: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları.



Şekil 4.3: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan domates fidelerinin 8. gündeki genel görünüşleri.

H (-Zn) içeren ortamda yetiştirilen fidelerin kök ve hipokotil büyüme oranlarının inhibe edildiği saptanmıştır. 1 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda ise hem kök büyümesi hem de hipokotil büyümesinin teşvik edildiği gözlenmiştir. 3, 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren yetiştirme ortamlarında büyütülen fidelerin hem kök büyüme oranlarının hem de hipokotil

büyümlerinin inhibe edildiği tespit edilmiştir. Bu inhibisyonun özellikle 5 ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarında çok ileri derecede olduğu görülmektedir (Tablo 4.2 ve Şekil 4.2). Ayrıca 7 mM ZnCl<sub>2</sub> den daha yüksek konsantrasyonlarda tohumlar çimlense bile hipokotil ve kök büyümesi izlenememiş ve bitkilerin öldükleri görülmüştür.

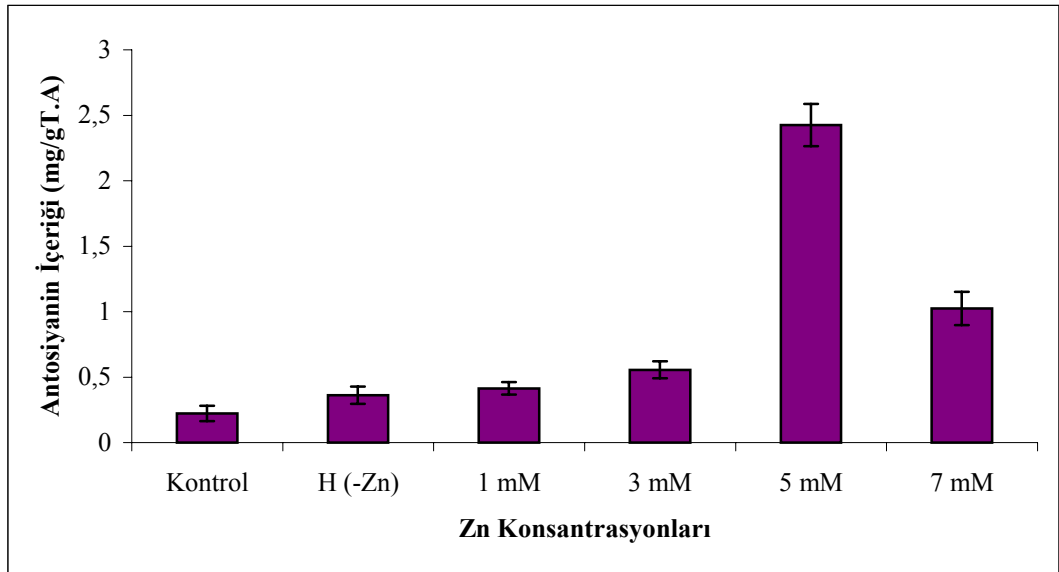
### 4.3. ANTOSİYANİN İÇERİĞİ

Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde 8. güne kadar yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının antosiyanin içerikleri ölçülmüş, bu sonuçlar Tablo 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 de gösterilmiştir.

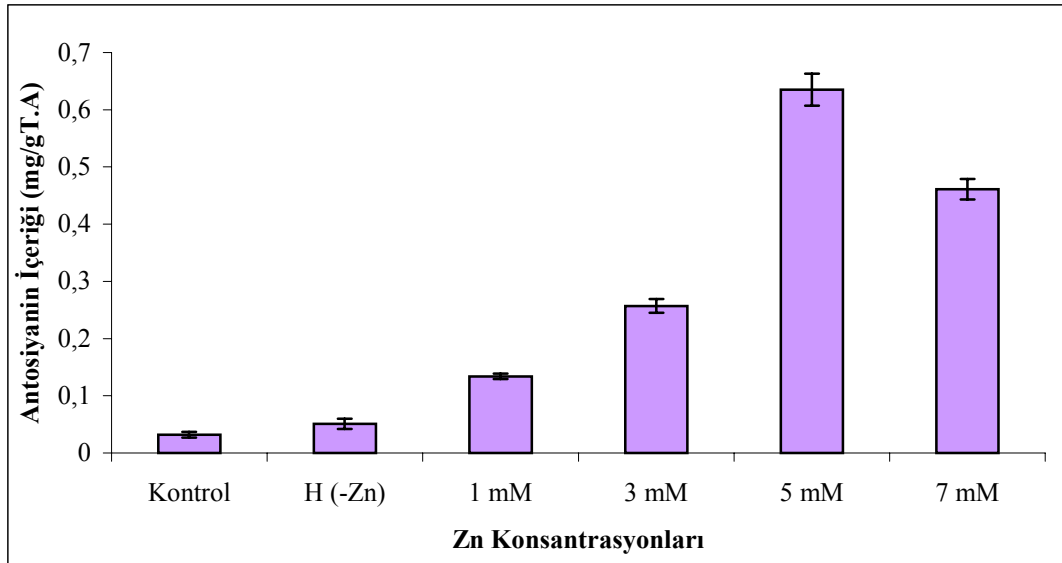
Tablo 4.3: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının içerdiği antosiyanin miktarları. Antosiyanin içeriği [mg/g taze ağırlık (T.A) ] olarak verilmiştir.

| Seriler | Hipokotil     | Kotiledon     |
|---------|---------------|---------------|
| Kontrol | 0,222 ± 0,058 | 0,032 ± 0,005 |
| H (-Zn) | 0,363 ± 0,066 | 0,051 ± 0,009 |
| 1 mM    | 0,414 ± 0,047 | 0,134 ± 0,005 |
| 3 mM    | 0,556 ± 0,065 | 0,257 ± 0,012 |
| 5 mM    | 2,425 ± 0,162 | 0,635 ± 0,028 |
| 7 mM    | 1,024 ± 0,127 | 0,461 ± 0,018 |

Çinko içermeyen ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotillerinin içerdikleri antosiyanin miktarlarının kontrolden daha yüksek olduğu görülmüştür. Artan çinko konsantrasyonuna bağlı olarak antosiyanin miktarının arttığı ancak 7 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamında yetiştirilen fidelerin hipokotillerinin 5 mM ninkinden daha düşük kaldığı gözlenmiştir (Tablo 4.3, Şekil 4.4). Aynı şekilde kotiledonların antosiyanin içeriklerinin hipokotillerden düşük olmasına rağmen değişen ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan antosiyanin içeriklerinin hipokotillere benzer şekilde değişim gösterdiği dikkat çekmektedir (Tablo 4.3, Şekil 4.5).



Şekil 4.4: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdiği antosiyanin miktarları.



Şekil 4.5: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdiği antosiyanin miktarları.

#### 4.4. KLOROFİL İÇERİĞİ

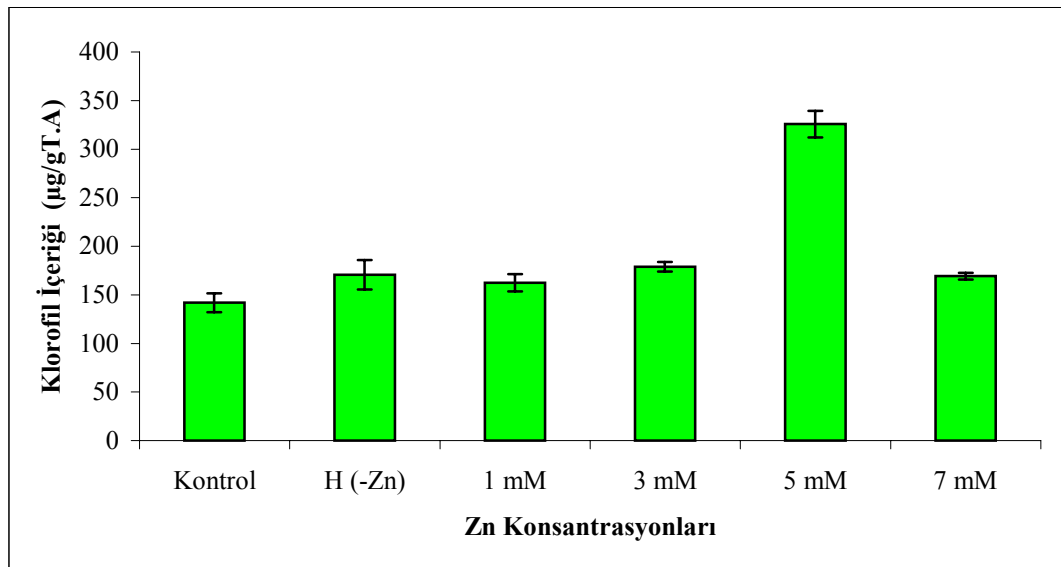
İmbibisyonu ardışık olarak Kontrol, H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde 8. güne kadar yetiştirilen domates (*Lycopersicon*

*esculentum* Mill.) fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının içerdikleri klorofil miktarları Tablo 4.4, Şekil 4.6 ve Tablo 4.5, Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

Çinko içermeyen ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotillerinin klorofil içerikleri kontrol olarak alınan fidelerin hipokotillerine göre yüksek bulunmuştur. 1-5 mM  $ZnCl_2$  içeren çözeltilerde yetiştirilen fidelerin hipokotillerindeki klorofil miktarlarının konsantrasyon artışına bağlı olarak arttığı, ancak 7 mM  $ZnCl_2$  konsantrasyonunda belirgin bir düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.6).

Tablo 4.4: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM  $ZnCl_2$  içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri klorofil miktarları. Klorofil içeriği ( $\mu g/gT.A$ ) olarak verilmiştir.

| Seriler | Hipokotil    |             |                |
|---------|--------------|-------------|----------------|
|         | Klorofil a   | Klorofil b  | Total klorofil |
| Kontrol | 95,2 ± 6,8   | 46,7 ± 5,5  | 141,9 ± 9,7    |
| H (-Zn) | 112,7 ± 10,1 | 57,9 ± 7,4  | 170,6 ± 15,1   |
| 1 mM    | 109,3 ± 6,6  | 53,2 ± 3,9  | 162,5 ± 8,9    |
| 3 mM    | 121,0 ± 3,8  | 57,9 ± 4,2  | 178,9 ± 4,9    |
| 5 mM    | 218,8 ± 11,9 | 107,0 ± 7,6 | 325,8 ± 13,7   |
| 7 mM    | 91,5 ± 4,9   | 77,8 ± 3,7  | 169,3 ± 3,5    |

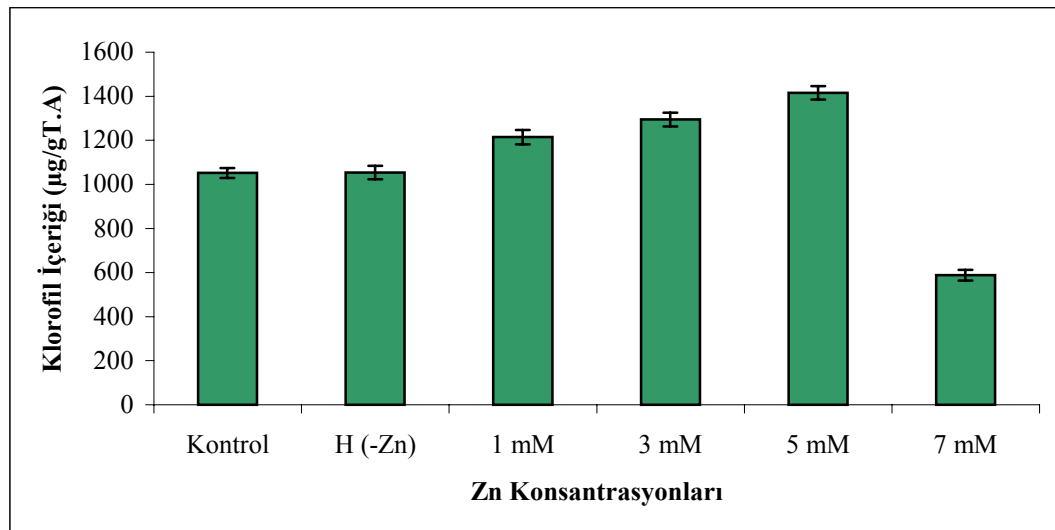


Şekil 4.6: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM  $ZnCl_2$  içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri total klorofil miktarları.

Kotiledonların klorofil içerikleri karşılaştırıldıkları zaman kontrol olarak kabul edilen Hoagland besi çözeltilinde yetiştirilen fidelerin kotiledonları ile çinko içermeyen besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin kotiledonlarının total klorofil içeriklerinin hemen hemen aynı olduğu ancak klorofil a ve b oranlarının değiştiği tespit edilmiştir. 1-5 mM  $ZnCl_2$  konsantrasyonları içeren ortamlarda yetişen fidelerin kotiledonlarının total klorofil miktarları konsantrasyon artışı ile bir paralellik göstermiştir. Ancak 7 mM  $ZnCl_2$  içeren ortamdaki bitkilerin kotiledonlarındaki klorofil içeriğinde çok büyük bir düşüş görüldüğü ve kontrollerin de çok altında kaldığı saptanmıştır (Tablo 4.5 ve Şekil 4.7).

Tablo 4.5: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM  $ZnCl_2$  içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri klorofil miktarları. Klorofil içeriği ( $\mu g/gT.A$ ) olarak verilmiştir.

| Seriler | Kotiledon    |              |                |
|---------|--------------|--------------|----------------|
|         | Klorofil a   | Klorofil b   | Total klorofil |
| Kontrol | 642,1 ± 11,1 | 409,4 ± 16,6 | 1051,5±21,9    |
| H (-Zn) | 575,3 ± 39,4 | 477,9 ± 42,9 | 1053,2±30,3    |
| 1 mM    | 805,2 ± 47,7 | 409,2 ± 35,2 | 1214,4±32,8    |
| 3 mM    | 808,8 ± 38,4 | 485,3 ± 16,3 | 1294,1±30,8    |
| 5 mM    | 1087,6±55,9  | 328,2 ± 21,1 | 1415,8±30,3    |
| 7 mM    | 431,3 ± 3,2  | 157,0 ± 3,3  | 588,3±23,9     |



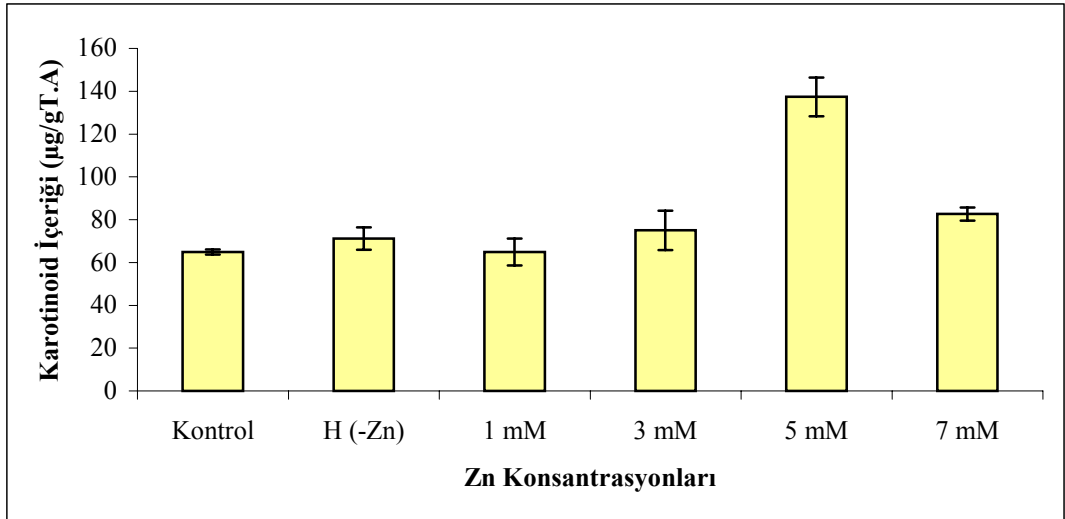
Şekil 4.7: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM  $ZnCl_2$  içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri total klorofil miktarları.

#### 4.5. KAROTİNOİD İÇERİĞİ

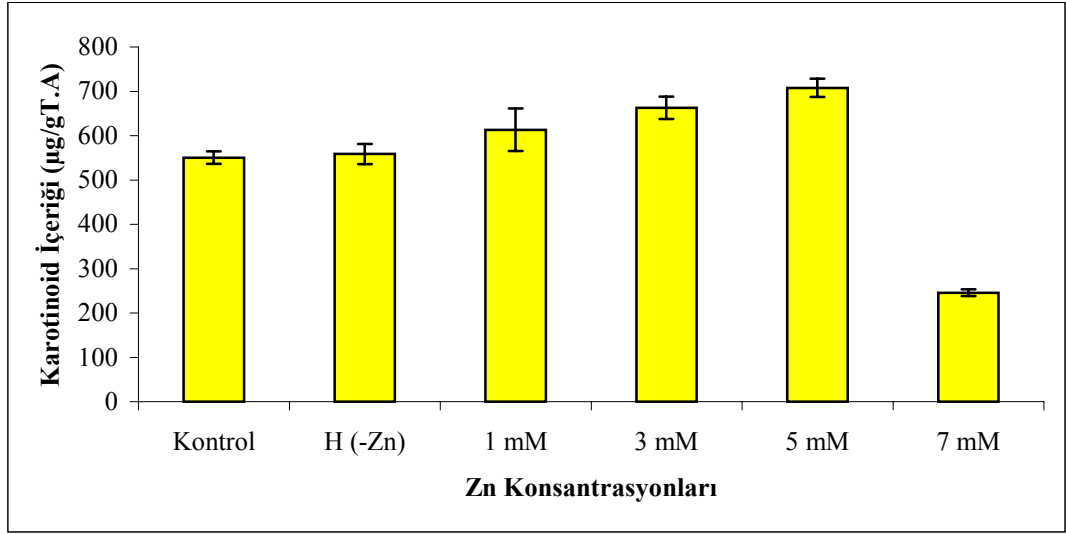
Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde 8. güne kadar yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının karotinoid miktarları Tablo 4.6, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 da gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotil ve kotiledonlarının içerdikleri karotinoid miktarları. Karotinoid içeriği (µg/g T.A) olarak verilmiştir.

| Seriler | Hipokotil       | Kotiledon        |
|---------|-----------------|------------------|
| Kontrol | 64,932 ± 1,183  | 550,445 ± 13,963 |
| H (-Zn) | 71,162 ± 5,274  | 558,797 ± 22,731 |
| 1 mM    | 64,873 ± 6,292  | 613,173 ± 48,161 |
| 3 mM    | 75,052 ± 9,184  | 662,765 ± 25,292 |
| 5 mM    | 137,356 ± 9,031 | 707,679 ± 20,621 |
| 7 mM    | 82,679 ± 3,069  | 245,772 ± 7,449  |



Şekil 4.8: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerinin içerdikleri karotinoid miktarları.



Şekil 4.9: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri karotinoid miktarları.

Çinkosuz ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotillerindeki karotinoid miktarları kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak karotinoid miktarının arttığı, 7 mM ZnCl<sub>2</sub> de ise düşüş gösterdiği saptanmıştır. Ancak yine de kontrolün içerdiği karotinoid miktarından yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.6 ve Şekil 4.8). Kotiledonların karotinoid içeriklerinin hipokotillerden çok yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Kontrolde ve çinko içermeyen ortamda yetiştirilen fidelerin kotiledonlarındaki karotinoid miktarları birbirine yakındır. Hipokotillerde olduğu gibi artan çinko (1-5 mM) içeriğine bağlı olarak kotiledonların karotinoid miktarları da artmaktadır. 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetişen fidelerin kotiledonlarında karotinoid içeriğinin çok aşırı şekilde düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Kontrollerin karotinoid içeriğinin ancak % 45 i kadar olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.6 ve Şekil 4.9).

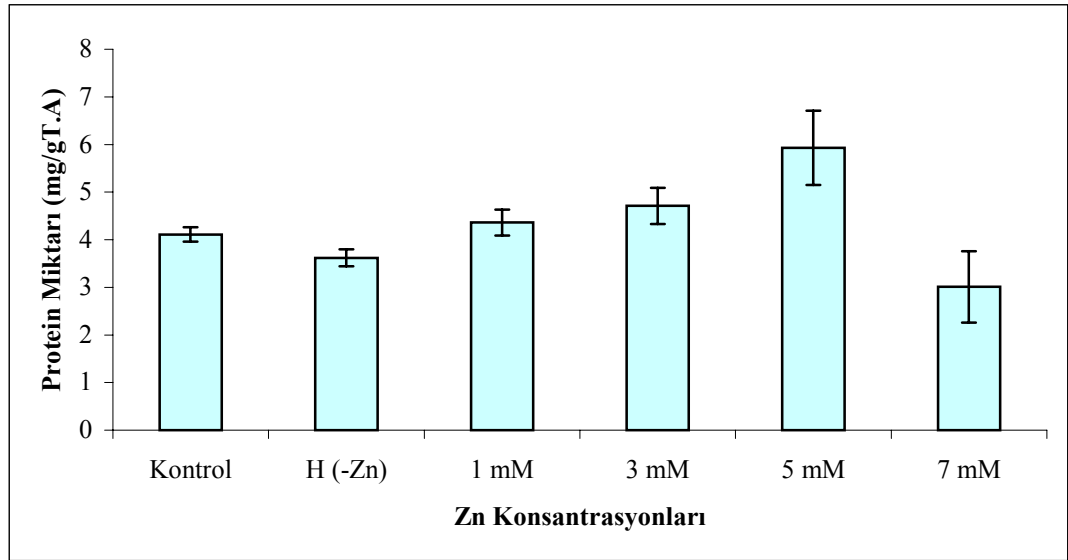
#### 4.6. PROTEİN İÇERİĞİ

Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde 8. güne kadar yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki total protein miktarları Tablo 4.7 ve Şekil 4.10-12 de gösterilmiştir.



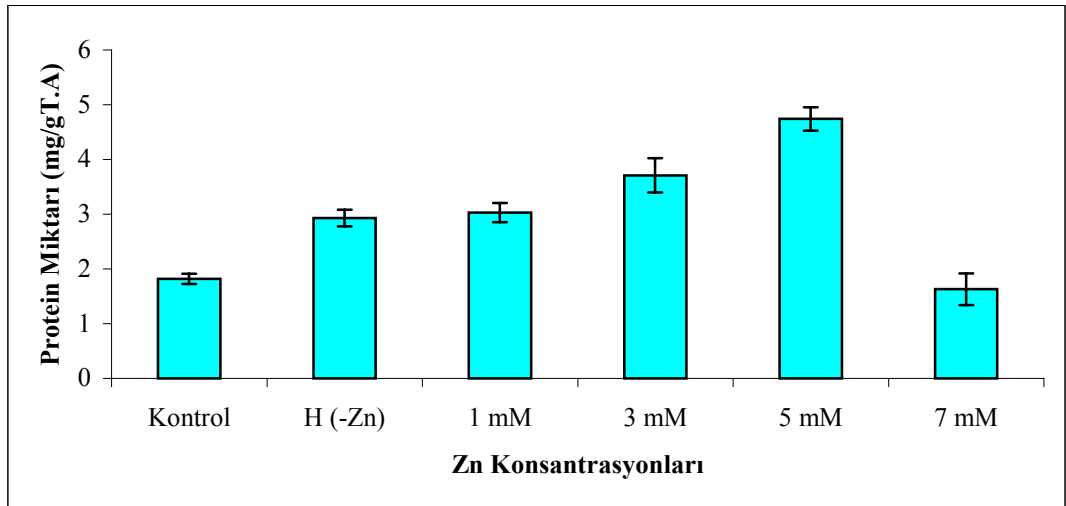
Tablo 4.7: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki protein miktarları. Protein miktarları (mg/g T.A) olarak verilmiştir.

| Seriler | Kök          | Hipokotil    | Kotiledon    |
|---------|--------------|--------------|--------------|
| Kontrol | 4,11 ± 0,152 | 1,82 ± 0,093 | 4,64 ± 0,225 |
| H (-Zn) | 3,62 ± 0,175 | 2,93 ± 0,153 | 6,23 ± 0,275 |
| 1 mM    | 4,36 ± 0,275 | 3,03 ± 0,175 | 4,81 ± 0,246 |
| 3 mM    | 4,71 ± 0,378 | 3,71 ± 0,314 | 4,93 ± 0,646 |
| 5 mM    | 5,93 ± 0,778 | 4,74 ± 0,212 | 5,12 ± 0,212 |
| 7 mM    | 3,01 ± 0,751 | 1,63 ± 0,289 | 3,63 ± 0,523 |



Şekil 4.10: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin köklerindeki protein miktarları.

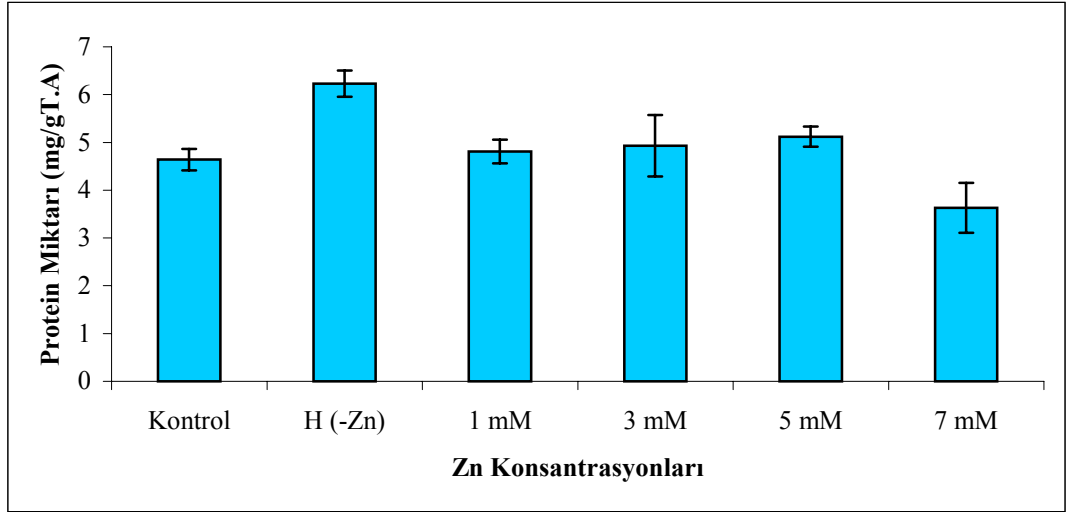
Çinko içermeyen besi ortamında yetiştirilen fidelerin köklerindeki total protein içeriği kontrole göre daha düşüktür. Çinko içeriği arttıkça köklerin total protein içeriklerinin de arttığı görülmektedir. Ancak 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren köklerin total protein miktarında düşüş vardır ve kontrol bitkilerinin köklerinin total protein içeriklerinden de daha düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 4.7 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.11: Kontrol, H (-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerindeki protein miktarları.

Çinkosuz ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotillerindeki total protein miktarları kontrole oranla yüksek bulunmuştur. 1-5 mM arasında artan çinko miktarları hipokotillerde total protein miktarı artışına neden olmuştur. Kontroller  $1,82 \pm 0,093$  mg/g T.A protein içerirken 5 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetişen bitkilerin hipokotillerindeki total protein içeriği  $4,74 \pm 0,212$  mg/g T.A olarak tespit edilmiştir. Ancak 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetişen bitkilerde hipokotillerin total protein içeriklerinde çok ani bir düşüş görülmüştür. Bu hipokotillerin total protein içerikleri kontrollerin de altında bulunmuş ve  $1,63 \pm 0,289$  mg/g T.A olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.7 ve Şekil 4.11).

Çinko içermeyen ortamda yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin kotiledonlarındaki total protein miktarları kontrole göre çok yüksek bulunmuştur. Diğer taraftan artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak (1-5 mM ZnCl<sub>2</sub>) total protein içeriğinin arttığı görülmüştür. Buna karşılık 7 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda kotiledonların total protein içerikleri aşırı derecede düşük bulunmuştur. Kontrollerin kotiledonlarının total protein miktarı  $4,64 \pm 0,225$  mg/g T.A olarak bulunurken, 7 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda yetişen bitkilerin kotiledonlarının total protein miktarı  $3,63 \pm 0,523$  mg/g T.A olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.7 ve Şekil 4.12).



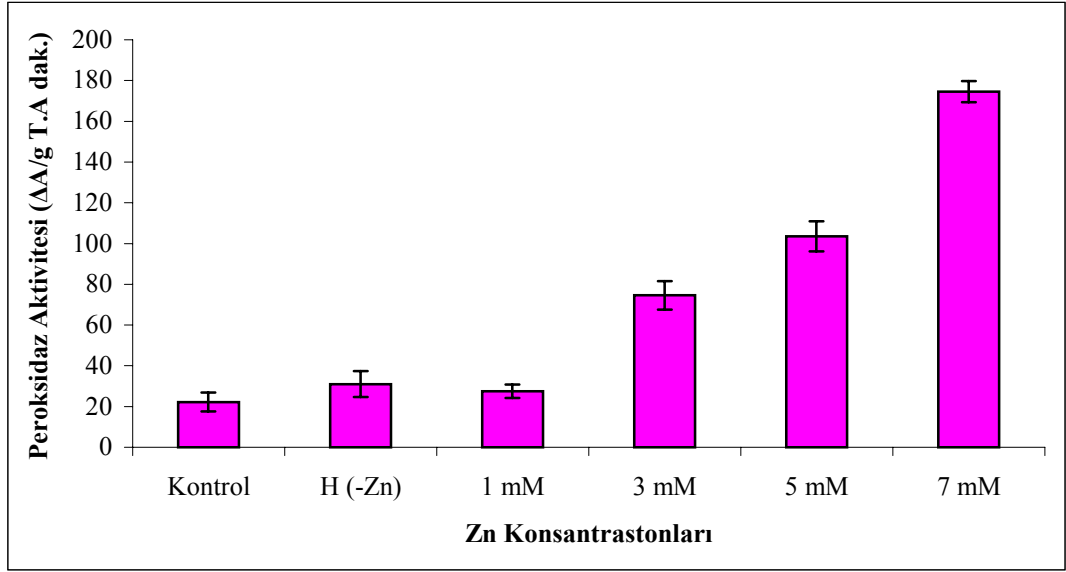
Şekil 4.12: Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarındaki protein miktarları.

#### 4.7. PEROKSİDAZ AKTİVİTESİ

Kontrol (Hoagland), H (-Zn), 1 mM, 3 mM, 5 mM ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilerinde 8. güne kadar yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler Tablo 4.8 ve Şekil 4.13-15 te verilmiştir.

Tablo 4.8: Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktivitesi. Peroksidaz enzimi aktivitesi ( $\Delta A$  /g T.A dakika) olarak verilmiştir.

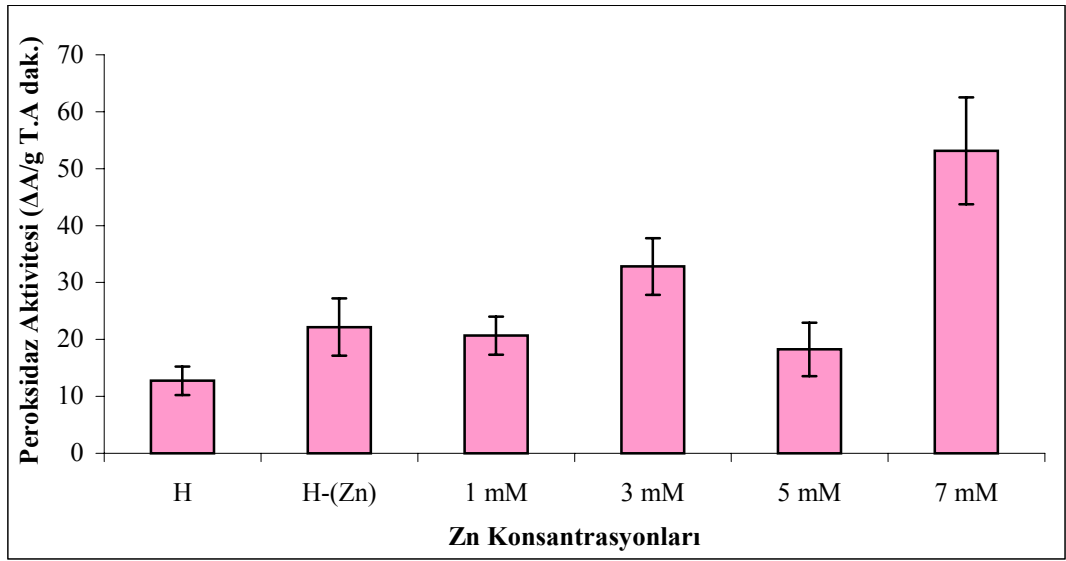
| Seriler | Kök             | Hipokotil      | Kotiledon      |
|---------|-----------------|----------------|----------------|
| Kontrol | 22,227 ± 4,669  | 12,742 ± 2,489 | 18,163 ± 3,078 |
| H(-Zn)  | 31,026 ± 6,298  | 22,178 ± 5,024 | 19,234 ± 5,535 |
| 1 mM    | 27,452 ± 3,324  | 20,685 ± 3,342 | 23,884 ± 2,426 |
| 3 mM    | 74,551 ± 7,028  | 32,811 ± 4,963 | 37,409 ± 3,871 |
| 5 mM    | 103,495 ± 7,348 | 18,249 ± 4,713 | 25,439 ± 2,314 |
| 7 mM    | 174,559 ± 5,243 | 53,143 ± 9,383 | 54,694 ± 6,354 |



Şekil 4.13: Kontrol, H(-Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin köklerindeki peroksidaz enzimi aktivitesi.

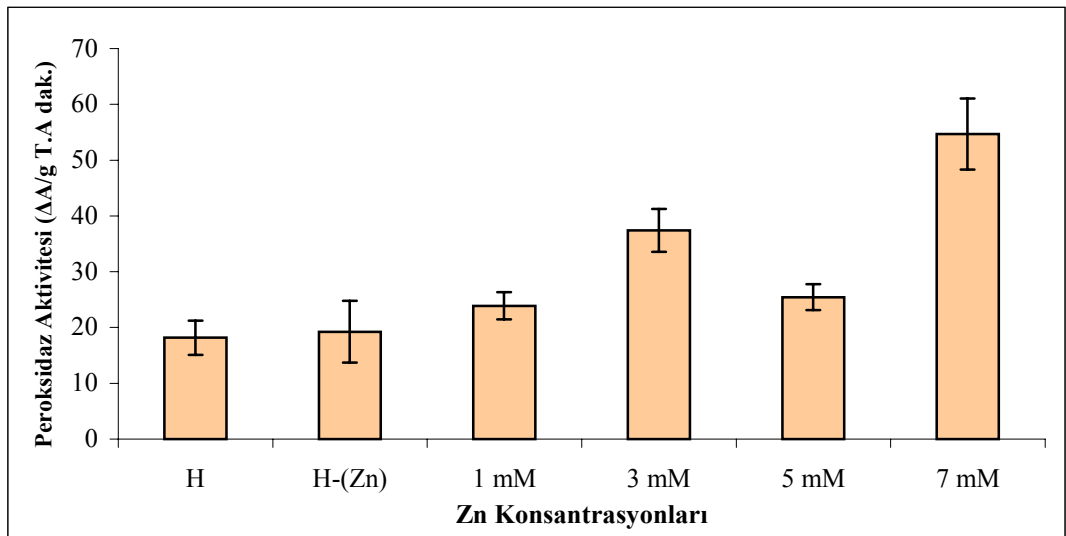
Çinko içermeyen Hoagland besi çözeltisinde yetiştirilen fidelerin köklerindeki peroksidaz enzimi aktivitesi kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak (1-7 mM ZnCl<sub>2</sub>) köklerdeki peroksidaz aktivitesinin de arttığı saptanmıştır. Kontrollerin peroksidaz aktivitesi  $22,227 \pm 4,669$  ΔA/g T.A dakika olarak bulunurken, 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetişen fidelerin köklerindeki peroksidaz aktivitesi  $174,559 \pm 5,243$  ΔA/g T.A dakika olarak saptanmıştır (Tablo 4.8 ve Şekil 4.13).

Çinko içermeyen besi çözeltisinde yetiştirilen fidelerin hipokotillerindeki peroksidaz enzimi aktivitesi kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Değişen çinko konsantrasyonuna bağlı olarak peroksidaz aktivitesinin de değiştiği görülmektedir. Ancak 5 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotillerinin peroksidaz aktiviteleri kontrolden yüksek olmasına rağmen diğerlerinden düşük bulunmuştur. Diğer taraftan 7 mM ZnCl<sub>2</sub> de hipokotillerin peroksidaz aktiviteleri aşırı derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.8 ve Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Kontrol, H-(Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin hipokotillerindeki peroksidaz enzimi aktivitesi.

Çinko içermeyen Hoagland besi çözeltisinde yetiştirilen fidelerin kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktivitesi kontrole oranla biraz yüksek bulunmuştur. Artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledonların peroksidaz aktivitesinde ortaya çıkan değişmelerin hipokotillerinkine benzer olduğu dikkat çekmektedir. 5 mM ZnCl<sub>2</sub> deki fidelerin kotiledonlarının peroksidaz aktivitesi 3 mM ZnCl<sub>2</sub> de yetiştirilen bitkilerin kotiledonlarındaki peroksidaz aktivitesine göre daha düşük bulunmuştur. Ancak 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamdaki bitkilerin kotiledonlarındaki peroksidaz aktivitesi çok yüksek bulunmuştur (Tablo 4.8 ve Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Kontrol, H-(Zn), 1, 3, 5, ve 7 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland serileri uygulanan 8 günlük domates fidelerinin kotiledonlarındaki peroksidaz enzimi aktivitesi.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çinkonun bitki beslenmesine olan etkisi üzerine yapılmış çok fazla sayıda araştırma bulunmasına rağmen tohum çimlenmesi ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmada çinko konsantrasyonları uygulanan domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumlarında en fazla çimlenmenin %99.33 ile 1 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi çözeltilisinde olduğu saptanmıştır. Çinko eksikliğinin tohum çimlenmesi üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı ve çimlenme yüzdesinin kontrole çok yakın değerler verdiği bulunmuştur. Diğer taraftan artan çinko konsantrasyonlarının ise (3-7 mM ZnCl<sub>2</sub>) çimlenmeyi inhibe ettiği tespit edilmiştir (Tablo 4.1 ve Şekil 4.1). *Cajanus cajan* L. bitkisinde yapılan çalışmada artan çinko konsantrasyonlarının çimlenmeyi inhibe ettiği bulunmuştur [108]. Bu sonuçlar bu çalışmadan elde edilen bulguları desteklemektedir. Farklı konsantrasyonlarda Zn içeren kalsiyum nitrat çözeltilerinde *Silene maritima* tohumlarının daha hızlı ve daha iyi çimlendiği saptanmıştır [109]. Sonuç olarak 1 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren Hoagland besi ortamının çimlenmeyi teşvik ettiği ve böylece bu ortamın domates bitkisi için uygun çimlenme ortamı olduğu düşünülebilir. Diğer taraftan çimlenme yüzdesindeki düşüşe rağmen 5 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamında yetiştirilen fidelerin 7 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamında yetiştirilen fidelere oranla gelişimlerini daha iyi sürdürebilmeleri, domates fidelerinin bu konsantrasyona toleranslı olduklarını düşündürülebilir.

Bitki büyümesi ile ilgili yapılan çalışmalarda ise, çimlenme yüzdesinde olduğu gibi en iyi gelişimin 1 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi çözeltilisinde yetiştirilen fidelerde olduğu tespit edilmiştir. Çinko eksikliğinde kök ve hipokotil büyümesinin kontrole oranla inhibe edildiği saptanmıştır. Çinko eksikliği fitohormonların özellikle IAA'nın metabolizmasını etkilemektedir. Zn eksikliğinde IAA konsantrasyonu indirgenmekte ve IAA miktarındaki düşüş ile fide uzamasındaki azalma paralelde gitmektedir [110, 111]. Zn eksikliğinde elde ettiğimiz veriler çinko yetersizliğine bağlı olarak büyümenin inhibe edildiği görüşünü desteklemektedir [111, 112]. Diğer taraftan artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak (3-7 mM ZnCl<sub>2</sub>) özellikle kök büyümesinin inhibe edildiği gözlenmiştir (Tablo 4.2 ve Şekil 4.2). Çinko bitki büyümesi için gerekli mikro

element olarak bilinmesine rağmen yüksek konsantrasyonlarda toksik etkisini kök ve hipokotil büyümesini inhibe ederek göstermektedir [109, 113]. Zn toksisitesinin kök sistemindeki belirgin etkileri özellikle kök körelmesi ve zayıflamasıdır, aynı zamanda hücre bölünmesi ve uzamasını sınırlayıcı etkisi de bilinmektedir [114, 115]. Elde edilen sonuçlar diğer bazı araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir [78, 88, 116, 117, 118]. Sonuç olarak Zn eksikliğinde büyümenin gerilemesini, IAA'nın oksidatif parçalanması sonucunda konsantrasyonunun düşmesi ve böylece bitki büyümesinin inhibe edilmesi ile; artan çinko konsantrasyonlarında ise bitki büyümesinin ve özellikle kökün inhibisyonunun, çinkonun yüksek konsantrasyonda normal hücre metabolik olaylara müdahale etmesi ve hücre bölünmesini indirgemesi şeklinde olabileceği ile açıklayabiliriz.

Antosiyaninlerin çeşitli biyotik ve abiyotik çevresel stres koşullarında bitkileri korudukları bilinmektedir [93, 94, 95, 96, 97]. Zn'nin bitkilerde antosiyanin içeriği üzerine olan etkisi ile ilgili literatür incelendiğinde çok az çalışmaya rastlanmaktadır. *T. subterranean* L. bitkisinde çinko eksikliğinde yetiştirilen bitkilerde antosiyanin miktarında artış olduğu bulunmuştur [119]. Son yıllarda yapılan bir çalışmada ise tuz stresinin domateste ve kırmızı lahanada antosiyanin birikimini teşvik ettiği belirtilmiştir [99]. Bu çalışmada çinko eksikliğinin bir stres faktörü olarak özellikle fidelerin hipokotillerindeki antosiyanin içeriğinde belirgin bir artışa neden olduğu bulunmuştur. Artan çinko miktarlarının bitki kısımlarından özellikle hipokotilde antosiyanin artışına neden olduğu ve bu artışın 5 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren besi ortamında yetiştirilen fidelerde en yüksek seviyeye ulaştığı saptanmıştır. Sonuç olarak hem Zn eksikliğinin hem de artan çinko miktarlarının domates bitkisinin gerek hipokotillerinde ve gerekse kotiledonlarında antosiyanin birikimini teşvik ettiği bulunmuştur. Çeşitli stres koşulları altında bitkilerin bazı enzim sistemlerinin aktivitelerini arttırdığı ve antosiyanin gibi antioksidanları da içerdiği bilindiğinden [92, 98] elde edilen bu sonuçlarla domates bitkilerinde çinkoya toleransın 3 mM ZnCl<sub>2</sub> den daha yüksek konsantrasyonlarda yetiştirilen fidelerde kendini gösterdiğini söyleyebiliriz (Tablo 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

Çinko eksikliğinde yetiştirilen fidelerin hipokotillerindeki klorofil miktarının kontrole göre daha yüksek olmasına rağmen kotiledonların klorofil içeriğinin kontrole çok yakın

değerde olduğu bulunmuştur (Tablo 4.4, Şekil 4.6 ve Tablo 4.5, Şekil 4.7). Çinko içermeyen Hoagland ortamında yetiştirilen *Eruca sativa* L. (roka) fidesinin kesik kotiledonlarında [120] ve *Helianthus annuus* L. kotiledonlarında [121] klorofil içeriklerinin arttığı saptanmıştır. Bu araştırmada çinko eksikliğinde klorofil miktarının yüksek çıkması yukarıda anlatılan çalışmaların sonuçları ile uyum sağlamıştır. Ancak Hu ve Sparks (1991) ın deneyinde Stuart pecan (Pekan cevizi) bitkisinin yapraklarında klorofil içeriğinin çinko eksikliğinde azaldığı bulunmuştur [122]. Domates bitkisi ile yapılan başka bir çalışmada ise yapraklara eksojen olarak değişik konsantrasyonlarda çinko uygulandığında hem düşük hem de yüksek konsantrasyonlarda klorofil içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir [44]. Oysa bu çalışmada kotiledonlardaki klorofil içeriği çinko eksikliğinde kontrole yakın olarak bulunmuştur (Tablo 4.5, Şekil 4.7). Antosiyanin ve karotinoid miktarlarının stres koşullarında arttığı düşünülürse [100, 101, 102], çinko eksikliği stresinin belirtisinin antosiyanin ve karotinoid miktarlarında gözlenen artıştan dolayı hipokotilde ortaya çıktığı görülmektedir. Hipokotildeki klorofil miktarının yüksek çıkmasının, kloroplastlarda bulunan yardımcı bir pigment ve antioksidan olan, karotinoidlerin aktivitesini arttırması ile çinko eksikliğinde görülen stres sonucunda oluşan fotooksidasyondan fotosentetik membranı koruması [123] şeklinde olduğu söylenebilir. Diğer taraftan çinko eksikliğinde yetiştirilen fidelerde kotiledonlardaki total klorofil miktarının kontrole yakın değer vermesinin ise çinkonun eksiklik etkilerinin büyüme evresinin bu döneminde bitkinin kotiledonlarında belirgin olarak görülmediği şeklinde olabileceğini düşündürmektedir. Diğer taraftan Cd (Kadmiyum) varlığında yetiştirilen *Ceratophyllum demersum* da klorofil miktarının azaldığı ancak ortama artan miktarlarda Zn eklendiğinde klorofil içeriğinde belirgin bir artışın olduğu saptanmıştır [124]. Doku kültüründe Zn ve Mn ye toleranslı *Brassica* türleri ile yapılan bir çalışmada da artan Zn konsantrasyonlarında yetiştirilen kallus dokularının klorofil içeriklerinin, konsantrasyon artışına bağlı olarak arttığı bulunmuştur [125]. Zn nin sülfidril grubunu (---SH) koruyarak klorofil sentezinin sürdürülmesinde rol oynayabileceği ileri sürülmüştür [50]. Zn nin daima protein yapısının ---SH grupları ile bağ yapmayı tercih ettiği ve onları tiol oksidasyon ve disülfid oluşumundan koruduğu öne sürülmektedir [126]. Bu korumayı ise ya direkt bağlanarak, ya sülfidril grubuna yakın bir yerde olarak ya da enzimlerin, membran proteinlerinin ve lipid yapısının stabilitesinde belirgin konformasyonel değişimler yaparak sağlayabileceği düşünülmektedir [127]. Bu şekilde artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil



miktarının, kontrolün de üzerinde olması, Zn nin klorofilin korunmasının yanında sentezinde de görevli olabileceğini düşündürmektedir [124]. Diğer yandan ise 7 mM  $ZnCl_2$  içeren ortamda yetiştirilen fidelerin kotiledonlarının klorofil miktarında kontrolün de altında düşüş gözlenmiştir ve bu sonuç Kaya ve Higgs'in (2002) sonuçları ile paralellik göstermektedir [44]. Klorofil miktarındaki bu düşüşün Zn nin yarattığı toksik etkiden kaynaklanmış olabileceği söylenebilir. Van Assche (1973) çinkonun yüksek konsantrasyonunun metabolik aktiviteyi inhibe ettiğini belirtmektedir [128]. Metal stresi ise peroksidasyona yol açarak elektron transfer aktivitesini bozar ve tilakoid membranının bütünlüğünün kaybedilmesine neden olur [124].

Gerek çinko içermeyen ortamda ve gerekse artan çinko serilerinin (1, 3 ,5 mM  $ZnCl_2$ ) kullanıldığı ortamlarda yetiştirilen fidelerin karotinoid miktarlarının arttığı bulunmuştur (Tablo 4.6, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Benzer bir sonuç *Ceratophyllum demersum* ile yapılan çalışmada da elde edilmiştir [124]. Stres koşulları altında ortaya çıkan sitotoksik radikaller ve bunların zararlı etkilerinin hücresel komponentleri oksidatif hasara uğratması ile metabolizmanın aşırı şekilde zarar görebileceği ortaya konulmuştur [129, 130]. Karotinoidler oksitleyici radikallerin etkilerini azaltan düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar olarak bilinirler ve bu özelliklerinden dolayı da fotosentetik membranı fotooksidasyondan koruyabilirler [131, 132]. Çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak bitkinin değişik kısımlarındaki karotinoid içeriğinin değişmesinin çinkonun eksiklik veya fazlalığının yarattığı strese bir yanıt olabileceği düşünülebilir. 7 mM  $ZnCl_2$  içeren ortamda yetiştirilen fidelerin karotinoid miktarındaki azalma ise Zn nin yarattığı metal toksisitesinden dolayı zar bütünlüğünün bozulmasından kaynaklanmış olabilir [114, 115].

*Eruca sativa* bitkisinde çinko eksikliğinde kotiledonların total protein miktarının arttığı bulunmuştur [120]. Zn ve mangana (Mn) toleranslı *Brassica campestris* ve *Brassica juncea* türlerinin kallus dokularında artan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak protein miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir [125]. Bu sonuçlar kotiledonların protein içeriği ile ilgili bulgularla uyum sağlamaktadır (Tablo 4.7 ve Şekil 4.10-12). Çinkoya toleranslı *Festuca rubra* bitkilerinin yüksek çinko konsantrasyonunda 12-96 saat bırakıldıktan sonra köklerinin mitotik hücrelerinin protein içeriklerinin kontrollere oranla artış gösterdiği, duyarlı *Festuca rubra* bitkilerinin ise kontrollerden daha düşük miktarda

protein içerdiği saptanmıştır. Toleranslı bitkilerdeki protein artışının stres proteinlerin sentezindeki artıştan, duyarlı bitkilerdeki protein miktarındaki azalmanın Zn nin hücre metabolizması üzerindeki toksik etkisinden dolayı olabileceği ileri sürülmüştür [133]. Protein içeriği ile ilgili bulgularımız (Tablo 4.7 ve Şekil 4.10-12) 1-5 mM ZnCl<sub>2</sub> etkisi altında bırakılan bitkilerde kök, hipokotil ve kotiledonda artış göstermiştir. Bu konsantrasyonlarda artan proteinler çinko stresine karşı sentezlenen stres proteinlerinden dolayı olabilir. 7 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda yetiştirilen fidelerin protein miktarındaki azalma ise aşırı toksik etkiden kaynaklanabilir. Çünkü aynı konsantrasyonda kök ve hipokotil uzaması da inhibe edilmiştir (Tablo 4.2, Şekil 4.2-3).

Peroksidaz aktivitesinin çinko eksikliğinde kök ve hipokotilde artış gösterdiği, kotiledonların ise kontrole yakın değerler verdiği saptanmıştır. Artan çinko konsantrasyonlarının kullanıldığı ortamlarda yetiştirilen fidelerin kök, hipokotil ve kotiledonlarının peroksidaz aktivitesinin konsantrasyonlara paralel olarak artış gösterdiği ancak 5 mM ZnCl<sub>2</sub> içeren ortamda yetiştirilen fidelerin hipokotil ve kotiledonlarında belirgin bir düşüş olduğu saptanmıştır (Tablo 4.8 ve Şekil 4.13-15). Yüksek Zn konsantrasyonlarında yetiştirilen pirinç bitkisinin yapraklarında [134], *Brassica juncea* fidelerinin gövdelerinde [116] peroksidaz aktiviteleri yüksek bulunmuştur. Bu enzimler hücre büyümesi ve uzaması [135, 136], farklılaşma ve gelişme [137, 138, 139], oksin katabolizması [140], lignifikasyon [141, 142, 143], abiyotik ve biyotik streslere cevap [136, 144, 145] gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal sürece katılırlar. Yüksek bitkilerde POD nin bu görevi metallerin toksik miktarlarda alınımına genel bir cevap olarak değerlendirilebilir [78]. Nashikkar ve Chakrabarti (1994) ağır metal kirliliği olan topraklarda yetiştirilen bitkilerde peroksidaz ve katalaz aktivitesinin genellikle yüksek olduğunu bildirmişlerdir [146]. Marschner ve Çakmak (1989) (1993) çinko eksikliğinde yetiştirilen bitkilerin enzimler ve zarlar gibi yaşamsal öneme sahip hücresel bileşenlerinde peroksidatif hasarın arttığını ve bunun yanında guaiakol POD dışında çeşitli antioksidan enzimlerin aktivitelerinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir [20, 147]. Bütün bu sonuçlar peroksidaz aktivitesi ile ilgili bulgularımızı desteklemektedir.

Sonuç olarak, elde edilen verilere göre çinko eksikliğinin domateste, tohum çimlenmesi üzerine belirgin bir etkisi görülmemiş olmakla beraber, kök ve hipokotil büyümesini

inhibe ettiği saptanmıştır. 1 mM ZnCl<sub>2</sub> ortamında çimlenme, kök ve hipokotil büyümesi teşvik edilmiştir. Bu konsantrasyonda yetiştirilen bitkilerde antosiyanin, klorofil, karotin ve protein miktarları ile peroksidaz aktivitesi yüksek olmakla beraber kontrol bitkilerine yakın değerler bulunmuştur. Bu durum 1 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonun domates bitkilerinin büyüme ve gelişmeleri için uygun olabileceğini düşündürmektedir. 3-5 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bitkilerin toleranslı olduğu, daha yüksek konsantrasyonların ise aşırı toksik olduğu söylenebilir. Özellikle inko eksikliği ve fazlalığı koşullarında peroksidaz aktivitesindeki artışlarla büyümedeki inhibisyon arasında paralellik olduğu görülmektedir. 1-5 mM ZnCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarında kotiledon ve hipokotilde karotinoid ve total klorofil miktarının arttığı saptanmıştır. Bu durum çinkonun klorofil biyosentezinde ve klorofilin seviyesinin korunmasının yanında, aynı zamanda fotosentetik aktivitenin sürdürülmesinde de rol oynayabileceğini ne süren görüşü [125] destekler niteliktedir.

Ülkemiz topraklarının genellikle çinko bakımından yetersiz olduğu bilinmektedir. Ayrıca bazı endüstriyel, tarımsal ve kentsel aktivitelerle lokal olarak çinko kirlenmeleri de meydana gelmektedir. Bu nedenle domatestede (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inko eksikliği ve fazlalığı ile ilgili yapılan bu çalışmanın, tohum çimlenmesi ve erken evrede fide gelişmesi ile sınırlı kalmayıp çiçeklenme ve meyvelenmeye kadar genişletilmesi, ayrıca bitki organlarında çinko birikiminin incelenmesi gibi ileriye yönelik çalışmaları da gerektirmektedir.

## KAYNAKLAR

1. BEWLEY, J.D. ve BLACK, M., 1994, *Seeds Physiology of Development and Germination Second Edition*, Plenum Press, New York and London, 0-306-44747-9.
2. MAYER, A.M. ve MAYBER, P., 1982, *The Germination of Seeds Third Edition*, Pergamon Press, England, 0-08-028854-5.
3. KÜÇÜKER, O., 1998, *Bitki Morfolojisi I. Kapalı Tohumlu Bitkiler*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul, 975-404-520-8.
4. MIRIAN, T.S.E. ve LINDA, S.C., 2000, Seed Dormancy and Germination As Concurrent Process, *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 12(Edição Especial), 85-104.
5. SRIVASTAVA, L.M., 2002, *Plant Growth and Development Hormones and Environment*, Academic Press, China, 0-12-660570-X.
6. TAIZ, L. ve ZEIGER, E., 2002, *Plant Physiology Third Edition*, Sinauer Associates, USA, 0-87893-823-0.
7. ARMIN, V.A. ve DENG, X.W., 1996, Light Control of Seedling Development, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 47, 215-43.
8. ÖNDER, N. ve YENTÜR, S., 1999, *Bitkilerin Büyüme Gelişme Farklılaşma ve Hareket Fizyolojisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul, 975-404-516-x.
9. BEWLEY, J.D., 1997, Seed Germination and Dormancy, *Plant Cell*, 9, 1055-1066.
10. RAVEN, P.H., EVERT, F.R. ve EICHORN, E.S., 1999, *Biology of Plants, Sixth Edition* W.H. Freeman and Company Worth Publishers, New York, 1-57259-041-6.
11. YENTÜR, S., 2003, *Bitki Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul, 975-404-351-5.
12. RAVEN, P.H. ve JOHNSON, G., 1999, *Biology Fifth Edition*, WCB/McGraw-Hill, Boston, 0-697-35353-2.
13. SALISBURY, F.B. ve ROSS, C.W., 1992, *Plant Physiology Fourth Edition*, Wadsworth Publishing Company, California, 0-534-15162-0.

14. GRAHAM, L.E., GRAHAM, J.M. ve WILCOX, L.W., Çev. Ed. IŞIK, K., 2004, *Bitki Biyolojisi*, Palme Yayıncılık, Ankara, 975-8624-90-3.
15. EPSTEIN, E., 1972, *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, Wiley, New York.
16. EPSTEIN, E., 1999, Silicon, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50, 641-664.
17. ROUT, G.R. ve DAS, P., 2003, Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism, *Agronomie*, 23, 3-11.
18. SHIER, W.T., 1994, Metals as toxins in plants, *J. Toxicol.*, 13, 205-216.
19. WELCH, R.M., 1995, Micronutrient nutrition of plants, *Crit. Rev. Plant Sci.*, 14, 49-82.
20. CAKMAK, I. ve MARSCHNER, H., 1993, Effect of zinc nutritional status on superoxide radical and hydrogen peroxide scavenging enzymes in bean leaves. In: Barrow, N.J. Editor, 1993, *Plant Nutrition-From Genetic Engineering to Field Practice*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 133-137.
21. WELCH, R.M., WEBB, M.J. ve LONERAGAN, J.F., 1982, Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In: *Proceeding of the Ninth Plant Nutrition Colloquium*. Scafie, A. Ed., Warwick, UK, Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Bucks, 710-715.
22. REYNOLDS, M.P., J.I. ORTIZ-MONASTERIO, M.P. ve McNAB, A., 2001, In: CAKMAK, I. ve BRAUN, H.J., *Genotypic variation for zinc efficiency*, Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico.
23. MARSCHNER, H., 1995, *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press London.
24. CAKMAK, I. ve MARSCHNER, H., 1988, Zinc-dependent changes in ESR signals, NADPH oxidase and plasma membrane permeability in cotton roots. *Physiol. Plant.* 73, 182-186.
25. CAKMAK, I. ve MARSCHNER, H., 1988, Enhanced superoxide radical production in roots of zinc-deficient plants, *J. Exp. Bot.*, 39, 1449-1460.
26. WELCH, R.M. ve NORVELL, W.A., 1993, Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta ): Studies using an N-(2-hydroxyethyl) ethylenedinitrilotriaceticacid-buffered nutrient solution technique, *Plant Physiol.*, 101, 627-631.
27. RENGEL, Z., 1995, Sulfhydryl groups in root-cell plasma membranes of wheat genotypes differing in zinc efficiency, *Physiol. Plant.*, 95, 604-612.

28. SHANKAR, A.H. ve PRASAD, A.S., 1998, Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection, *Am. J. Clin. Nutr.*, 68, 447-463.
29. HEWITT, E.J., 1983, In: *Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants*, In: Robb, D.A., ve Pierpoint, W.S., (Eds.), Academic Press, London, 277-300.
30. BOWLER, C., VANCAMP, W., VANMONTAGU, M. ve INZE, D., 1994, Superoxide-dismutase in plants, *Critic. Rev. Plant Sci.*, 13 (3), 199-218.
31. VALLEE, B.L. ve AULD, D.S., 1990, Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins, *Biochemistry*, 29, 5647-5659.
32. VALLEE, B.L. ve FALCHUK, K.H., 1993, The biochemical basis of zinc physiology, *Physiol. Rev.*, 73, 79-118.
33. BAKER, A.J.M. ve WALKER, P.L., 1990, Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, In: Shaw, A.J., (Ed.), *Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects*, CRC Press, Boca Raton, Fla, 155-172.
34. VERKLEIJ, J.A.C., ve SCHAT, H., 1990, Mechanism of metal tolerance in plants, In: Shaw, A.J. (Ed.), *Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects*, CRC Press, Boca Raton, Fla, 179-193.
35. KLUG, A. ve RHODES, D., 1987, Zinc fingers: A novel protein motif for nucleic acid recognition, *Trends Biochem. Sci.*, 12, 464-469.
36. ÖNDER, N. ve YENTÜR, S., 1997, *Bitkilerin Metabolizma Fizyolojisi*, İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, 975-404-463-5.
37. SHKOLNIK, M.Y., 1984, *Trace elements in plants*, Elsevier Science Publishers, New York, 140-171.
38. HEWITT, E.J., 1979, Essential and functional aspects of trace elements, In: Chemistry and Agriculture, Special Publication No, 36, *The Chemical Society*, London, 91-127.
39. HEWITT, E.J., 1984, The essential and functional mineral elements, In: Bould, C., Hewitt, E.J. ve Needham, P., eds, *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants*, Vol 1: Principles, Chemical Publishing, New York, 7-53.
40. MARSCHNER, H., 1986, *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, New York.
41. SUGE, H., TAKAHASHI, H., ARITA, S. ve TAKAKI, H., 1986, Gibberellin relationship in zinc-deficient plants, *Plant Cell Physiol.*, 27, 1005-1012.

42. RUANO, A., ARCELO, J. ve OSCHENRIEDER, C.H., 1987, Zinc toxicity-induced variation of mineral elements composition in hydroponically grown bush bean plants, *J. Plant Nutr.*, 10 (4), 373-384.
43. RUANO, A., ARCELO, J. ve OSCHENRIEDER, C.H., 1988, Growth and biomass-toxic bush beans, *J. Plant Nutr.*, 11 (5), 577-588.
44. KAYA, C. ve HIGGS, D., 2002, Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to application of zinc when grown in sand culture at low zinc, *Scientia Horticulturae*, 93, 53-64.
45. FISCHER, E.S., 1997, Moderate magnesium deficiency affected chlorophyll content of bean plant, *Photosynthetica*, 33 (3-4), 385-390.
46. WELKIE, G.M., HEKMAT-SHOAR, H. ve MILLER, G.W., 1990, Responses of pepper plants to iron deficiency: solution pH and riboflavin, In: Van Beusichem, M.L. (Ed.), *Plant Nutrition-Physiology and Application*, Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
47. ÖZCAN, S., GÜREL, E. ve BABAOĞLU, M. (Ed.), 2001, *Bitki Biyoteknolojisi -II- Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları*, S.Ü. Vakfı Basımevi, Konya, 975-6652-03-9.
48. SILLANPÄÄ, M., 1982, Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study, *FAO Soils Bulletin 48*, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 75-82.
49. SILLANPÄÄ, M. ve VLEK, P.L.G., 1985, Micronutrients and the agroecology of tropical and Mediterranean regions, *Fert. Res.*, 7, 151-167.
50. CAKMAK, I., 2000, Possible roles of zinc protecting plant cells from damage by reactive oxygen species, *New Phytol.*, 146, 185-205.
51. WELCH, R.M., ALLAWAY, W.H., HOUSE, W.A. ve KUBOTA, J., 1991, Geographic distribution of trace element problems. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. ve Welch, R.M., eds, *Micronutrients in agriculture*, SSSA Book Series No. 4, Madison, USA: *Soil Science Society of America*, 31-57.
52. TAKKAR, P.N. ve WALKER, C.D., 1993, The distribution and correction of zinc deficiency, In: Robson, A.D., ed. *Zinc in soils and plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
53. WHITE, J.G. ve ZAZOSKI, R.H., 1999, Mapping soil micronutrients, *Field Crop Research*, 60, 11-26.
54. ÖZGÜVEN, N. ve KATKAT, A.V., 2002, Bursa ili topraklarının bitkiye yararlı çinko yönünden genel durumu, *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 16, 235-244.

55. GRAHAM, R. ve WELCH, R.M., 1994, Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: *Long-term sustainable agricultural solutions to hidden hunger in developing countries*, In: IFPRI Work-shop on ' Food policy and agricultural technology to improve diet quality and nutrition' Jan. 10-12, Annapolis, M.D.
56. EYÜPOĞLU, F., KURUCU, N. ve TALAZ, S., 1996, *Türkiye topraklarının bitkiye yarayışlı çinko bakımından genel durumu*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Ankara.
57. EYÜPOĞLU, F., KURUCU, N. ve SANISAĞ, U., 1994, *Status of plant available micronutrients in Turkish soils*, In: Soil and Fertilizer Research Institute Annual Report, No. R-118, Ankara, Turkey (in Turkish), 25-32.
58. DANG, Y.P., EDWARDS, D.G., DALAL, R.C. ve TILLER, K.G., 1993, Identification of index tissue to predict zinc status of wheat, *Plant and Soil*, 154, 161-167.
59. MORAGHAN, J.T. ve MASCAGNI Jr, H.J., 1991, Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities, In: *Micronutrients in agriculture*, Mordvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. ve Welch, R.M., (eds), SSSA Book Series, No. 4, Madison, WI, 371-425.
60. MARSCHNER, H., 1993, Zinc uptake from soils, In: *Zinc in soils and plants*, Robson, A.D., (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 59-77.
61. WILKINSON, H.F., LONERAGAN, J.F. ve QUICK, J.P., 1968, The movement of zinc to plant roots, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, 831-833.
62. EKİZ, H., BAGCI, S.A., KIRAL, A., EKER, S., GULTEKİN, I., ALKAN, A. ve ÇAKMAK, I., 1998, Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils, *J. Plant Nutr.*, 21(10), 2245-2256.
63. OUARITI, O., BOUSSAMA, N., ZARROUK, M., CHERIF, A. ve GHORBAL, M.H., 1997, Cadmium and copper-induced changes in tomato membrane lipids, *Phytochemistry*, 45(7), 1343-1350.
64. FLEMMING, C.A. ve TREVORS, J.T., 1989, Copper toxicity and chemistry. in the environment: a review. *Water , Air and Soil Pollution*, 44, 143-158.
65. WAGNER, G.J., 1993, Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health, *Advances in Agronomy*, 51, 173-212.
66. MATHE-GASPAR, G. ve ANTON, A., 2002, Heavy metal uptake by two radish varieties, *Acta Biologica Szegediensis*, 46(3-4), 113,114.



67. TÜZEN, M., 2003, Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by absorption spectrometry, *Microchemical Journal*, 74, 289-297.
68. PERALTA-VIDEA, J.R., GARDEA-TORRESDEY, J.L., GOMEZ, E., TIEMANN, K.J., PARSONS, J.G. ve CARRILLO, G., 2002, Effect of mixed cadmium, copper, nickel, and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake, *Environmental Pollution*, 119, 291-301.
69. KESKINKAN, O., GOKSU, M.Z.L., YUCEER, A., BASIBUYUK, M. ve FORSTER, C.F., 2003, Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myrophyllum spicatum*), *Process Biochemistry*, 00, 1-5.
70. PERALTA, J.R., GARDEA-TORRESDEY, J.L., TIEMANN, K.J., GOMEZ, E., ARTEAGA, S., RASCON, E. ve PARSONS, J.G., 2000, Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in solid media, *Proceedings of the 2000 conference on hazardous waste research*.
71. GREGER, M. ve LINDBERG, S., 1987, Effect of Cd and EDTA on young sugar beet (*Beta vulgaris*). II. Net uptake and distribution of Mg, Ca, and Fe(II)/Fe(III)., *Physiologia Plantarum*, 69, 81-86.
72. OUZOUNIDOU, G., ELEFThERIOU, E.P. ve KARATAGLIS, S., 1992, Ecophysiological and ultrastructural effects of copper in *Thlaspi ochroleucum* (Cruciferae), *Canadian Journal of Botany*, 70, 947-957.
73. POSCHENRIEDER, C., GUNSE, G. ve BARCELO, J., 1989, Influence of cadmium on water relation, stomatal resistance and abscissic acid content in expanding bean leaves. *Plant Physiology*, 90, 1365-1371.
74. COSTA, G., MICHAUT, J.C. ve MOREL, J.L., 1994, Influence of cadmium on water relations and gas exchanges, in phosphorus deficient *Lupinus albus* L., *Plant Physiology and Biochemistry*, 32(1), 105-114.
75. LIDON, F.C. ve HENRIQUES, F.S., 1991, Limiting step of photosynthesis of rice plants treated with varying copper levels., *Journal of Plant Physiology*, 138, 115-118.
76. BARON, M., ARELLANO, J.B. ve GORGE, J.L., 1995, Copper and photosystem II: a controversial relationship., *Physiologia Plantarum*, 94, 174-180.
77. NUSSBAUM, S., SHMUTZ, D. ve BRUNOLD, C., 1988, Regulation of assimilatory sulfate reduction by cadmium in *Zea mays* L., *Plant Physiology*, 88, 1407-1410.
78. VAN ASSCHE, F. ve CLIJSTERS, H., 1990, Effects of metals on enzyme activity in plants., *Plant Cell Environment*, 13, 195-206.

79. SOMASHEKARAIHAH, B.V., PADMAJA, K. ve PRASAD, A.R.K., 1992, Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus mungo*): involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation., *Physiologia Plantarum*, 85, 85-89.
80. SHAH, K. ve DUBEY, R.S., 1995, Effect of cadmium on RNA level as well as activity and forms of ribonuclease in growing rice seedlings., *Plant Physiology and Biochemistry*, 33, 577-584.
81. DONCHEVA, S., NIKOLOV, B., ve OGNEVA, V., 1996, Effect of copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells., *Physiologia Plantarum*, 96, 118-122.
82. COLLINS, J.C., 1981, In: Lepp, N.W. (Ed.), *The effect of heavy metal pollution on plants*, Applied Science Publishers, Vol. 1, 145-170.
83. ASADA, K., 1994, Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. In: Foyer, C.H., and Mullineaux, P.M. Editors, 1994, *Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defence Systems in Plants* CRC Press, Boca Raton, FL, 77-104.
84. GILLE, G. ve SINGLER, K., 1995, Oxidative stress in living cells. *Folia Microbiol.*, 2, 131-152.
85. PARDHA SARADHI, P., ALIA ARORA, S. ve PRASAD, K.V.S.K., 1995, Proline accumulates in plants exposed to UV radiation and protects them against UV induced peroxidation, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 209, 1-5.
86. HALLIWELL, B. ve GUTTERIDGE, J.M.C., 1984, Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition, metals and disease. *Biochem. J.*, 219 1-14.
87. SCANDOLIS, J.G., 1993, Oxygen stress and superoxide dismutase, *Plant Physiol.*, 101, 7-12.
88. ALIA, PRASAD, K.V.S.K., PARDHA SARADHI, P., 1995, Effect of zinc on free radical and proline in *Brassica juncea* and *Cajanus cajan*, *Phytochemistry*, 39, 45-47.
89. ALIA, PARDHA SARADHI, P., MOHANTY, P., 1997, Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical-induced photodamage, *J.Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 38, 253-257.
90. SOMASHEKARAIHAH, B.V., PADMAJA, K., PRASAD, A.R.K., 1992, Phytotoxicity, of cadmium ions on germinating seedlinds of mung bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Involvement of lipid pereoxides in chlorophyll degradation, *Physiol. Plant.*, 85, 85-89.

91. ASADA, K., 1996, Radical production and scavenging in the chloroplasts, In: Baker, N.R., ed., *Photosynthesis and the environment*, Kluwer Dordrecht, The Hetherlands, 123-150.
92. GALLEGO, S.M., BENAVIDES, M.P. ve TOMARO, M.L., 1996, Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: evidence for involvement of oxidative stress, *Plant Sci.*, 121, 151-159.
93. MAZHOUDI, S., CHAOUI, A., GHORBAL, M.H. ve EL FERJANI, E., 1997, Response of antioxidant enzymes to excess copper in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Plant Science*, 127, 129-137.
94. WECKX, J.E.J. ve CLIJSTERS, H.M.M., 1997, Zn phytotoxicity induces oxidative stress in primary leaves of *Phaseolus vulgaris*, *Plant Physiol. Biochem.*, 35, 405-410.
95. WECKX, J.E.J. ve CLIJSTERS, H.M.M., 1996, Oxidative damage and defence mechanism in primary leaves of *Phaseolus vulgaris* as a result of root assimilation of toxic amounts of copper, *Physiol. Plant.*, 96, 506-512.
96. PATRA, J. ve PANDA, B.B., 1997, A comparison of biochemical responses to oxidative and metal stress in seedlings of barley, *Hordeum vulgare* L., *Environ. Pollut.*, 101, 99-105.
97. PALMA, J.M., GOMEZ, M., YANEZ, J. ve DEL RIO, L.A., 1987, Increased levels of peroxisomal active oxygen-related enzymes in copper-tolerant pea plants, *Plant Physiol.*, 85, 570-574.
98. DEL RIO, L.A., PASTORI, G.M., PALMA, J.M., SANDALIO, L.M., SEVILLA, F., CORPAS, F.J., JIMENEZ, A., LOPEZ-HUERTAZ, E. ve HERNANDEZ, J.A., 1996, The activated oxygen role of peroxisomes in senescence, *Plant Physiol.*, 116, 1195-1200.
99. ERYILMAZ, F., 2003, *Yüksek bitkilerde tuz stresi ile antosiyanin içeriği arasındaki ilişkiler*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
100. ANDERSON, M.D., PRASAD, T.K. ve STEWART, C.R., 1995, Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings, *Plant Physiol.*, 109, 1247-1257.
101. GOSSETT, D.R., MILLHOLLON, E.P. ve CRAN-LUCAS, M., 1994, Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton, *Crop Science*, 34, 706-714.
102. HERNANDEZ, J.A., JIMENEZ, A., MULLINEAUX, P. ve SEVILLA, F., 2000, Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences, *Plant Cell Environ.*, 23, 853-862.

103. HOAGLAND, D.R. ve ARNON, D.I., 1938, The water culture method for growing plants without soil, *Cal. Agri. Exp. Station Circular*, 347, 1-39.
104. MANCINELLI, A.L., 1990, Interaction between light quality and light quantity in the photoregulation of anthocyanin production, *Plant Physiol.*, 92, 1191-1195.
105. PARSONS, T.R. ve STRICKLAND, J.D.H., 1963, Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine Pigments, with Revised Equations for Ascertaining Chlorophylls and Carotenoids, *Journal of Marine Research*, 21, 115-163.
106. BRADFORD, M., 1976, Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding, *Aral. Biochem.*, 72, 248-254.
107. BIRECKA, H., BRIBER, K.A. ve CATALFAMO, J.L., 1973, Comparative studies on tobacco pit and sweet potato root isoperoxidases in relation to injury, indolacetic acid, and ethylene effects, *Plant Physiol.*, 52, 43-49.
108. MADHAVA, K.V. ve SRESTY, T.V.S., 2000, Antioxidative parameters in seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stress, *Plant Science*, 157, 113-128.
109. BAKER, A.J.M., 1978, Ecophysiological aspect of zinc zinc tolerance in *Silene maritima*, *New Phytol.*, 80, 635-642.
110. SKOOG, F., 1940, Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants, *Am. J. Bot.*, 27, 939-950.
111. CAKMAK, I., MARSCHNER, H. ve BANGERT, F., 1989, Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *J. Exp. Bot.*, 40, 405-412.
112. YU, Q., WORTH, C. ve RENGEL, Z., 1999, Using capillary electrophoresis to measure Cu/Zn superoxide dismutase concentration in leaves of wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency, *Plant Science*, 143, 231-239.
113. BRADSHAW, A.D. ve McNEILLY, T., 1981, *Evaolution and Pollution*, Edward Arnold, London.
114. BARCELO, J. ve POSCHENRIEDER, C.H., 1990, Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review, *J. Plant Nutr.*, 13, 1-37.
115. WAINWRIGHT, S.J. ve WOOLHOUSE, H.W., 1976, *Physiological mechanism of heavy metal tolerance*, In: Chadwicks, M.J. ve Goodman, G.T. (Eds), *The ecology of resource degradation and renewal*, Br. Ecol. Soc. Symp., Blackwell Publishers, Oxford, 15, 231-257.

116. PRASAD, K.V.S.K., PARDHA SARADHI, P. ve SHARMALIA, P., 1999, Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed under zinc toxicity in *Brassica juncea*, *Environmental and Experimental Botany*, 42, 1-10.
117. HARMENS, H., GUSMAO, N.G.C.P.B., DEN HARTOG, P.R., VERKLEIJ, J.A.C. ve ERNST, W.H.O., 1993, Uptake and transport of zinc in zinc-sensitive and zinc-tolerant *Silene vulgaris*, *J. Plant Physiol.*, 141, 309–315.
118. POWELL, M.J., DAVIES, M.S. ve FRANCIS, D., 1986, The influence of zinc on the cell cycle in the root meristem of a zinc-tolerant and a non-tolerant cultivar of *Festuca rubra* L. *New Phytol.*, 102, 419–428.
119. ROSSITER, R.C., 1967, Physiological and ecological studies on the oestrogenic isoflavones in subterranean clover (*T. subterranean* L.) 4. Effects of zinc deficiency in clover seedlings, *Australian Journal of Agricultural Research*, 18(1), 39-46.
120. ÇAĞ, S., CEVAHIR, G., UNAL, M., KAPLAN, E., ÇİNGİL, Ç. ve KOSESAKAL, T., 2004, The effects of Zn, Cu, and Mn on senescence in excised cotyledons of *Eruca sativa* L., *Fresenius Environmental Bulletin*, 13 (8),733-738.
121. SAĞLAM-ÇAĞ, S., 1997, *Helianthus annuus* L.' da sırasal yaprak senesensinin düzeni üzerine mineral besinlerin ve büyüme regülatörlerinin etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen BilimleriEnstitüsü.
122. HU, H. ve SPARKS, D., 1991, Zinc-deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas-exchange in stuart pecan, *Hortscience*, 26, 267-268.
123. DEMMIG-ADAMS, B., 1990, Carotenoids and photoprotection in plants: a role for the xanthophyll zeaxanthin. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1020, 1–24.
124. ARAVIND, P. ve PRASAD, M.N.V., 2004, Zinc next term protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demarsum* L., a freshwater macrophyte, *Plant Science*, 166(5), 1321-1327.
125. ROUT, G.R., SAMANTARAY, S. ve DAS, P., 1999, In vitro selection and biochemical characterisation of zinc and manganese adapted callus lines in *Brassica* spp., *Plant Science*, 137, 89-100.
126. CHVAPIL, M., 1973, New aspects in the biological role of zinc: A stabilizer of macromolecules and biological membranes, *Life Sci.*, 13, 1041–1049.
127. POWELL, S.R., 2000, The antioxidant properties of zinc, *J. Nutr.*, 130, 1447–1454.

128. VAN ASSCHE, F., 1973, *Physiological study of zinc toxicity on photosynthesis*, Thesis (PhD), Univ. Instelling Antwerpen, Germany.
129. DE VOS, C.H.R., SCHAT, H., VOOIJS, R. ve ERNST, W.H.O., 1989, Copper-induced damage to the permeability barrier in roots of *Silene cucubalus.*, *J Plant Physio.*, 135, 164–169.
130. TAPPEL, A.L., 1973, Lipid peroxidation damage to cell components. *Fed. Proc.*, 32, 1870–1874.
131. CANDAN, N. ve TARHAN, L., 2003, Relationship among chlorophyll-carotenoid content, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels by Mg<sup>2+</sup> deficiency in the *Mentha pulegium* leaves, *Plant Physiol. Biochem.*, 41, 35–40.
132. FOYER, C.H., LELANDAIS, M.L. ve KUNERT, K.J., 1994, Photooxidative stress in plants, *Physiol Plant.*, 92, 696–717.
133. DAVIES, M.S., FRANCIS, D. ve THOMAS, J.D., 1991b, Rapidity of cellular changes induced by zinc in a zinc tolerant and non-tolerant cultivar of *Festuca rubra* L., *New Phytologist.*, 117, 103-108.
134. WEI-CHING, F., CHING HUEI, K., 2000, Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper and zinc, *Plant Science*, 158, 71-76.
135. WALLACE, G., ve FRY, S.C., 1994, Phenolic components of the cell wall: Dynamic aspects, *Int. Rev. Cytol.*, 151, 229–267.
136. LIN, C.C., ve KAO, C.H., 1999, NaCl induced changes in ionically bound peroxidase activity in roots of rice seedlings, *Plant Soil*, 216, 147–153.
137. GASPAR, T., PENEL, C., HAGAGE, D. ve GREPPIN, H., 1991, Peroxidases in plant growth, differentiation and development processes, in: J.H. Lobarzawsky, H. Greppin, C. Penel, T. Gaspar (Eds.), *Biochemical, Molecular, and Physiological Aspects of Plant Peroxidases*, University de Geneve, 249–280.
138. MANSOURI, I.E., MERCADO, J.A., SANTIAGO-DOMENECH, N., PLIEGO-ALFARO, F., VALPUESTA, V. ve. QUESADA, M.A., 1999, Biochemical and phenotypical characterization of transgenic tomato plants overexpressing a basic peroxidase, *Physiol. Plant.*, 106, 355–362.
139. LAGRIMINI, L.M., GINGAS, V., FINGER, F., ROTHSTEIN, S., ve LIU, T.-T.Y., 1997, Characterization of antisense transfomed plant deficient in the tobacco anionic peroxidase, *Plant Physiol.*, 1187–1196.
140. LAGRIMINI, L.M., JOLY, R.J., DUNLAP, J.R. ve LIU, T.-T.Y., 1997, The consequence of peroxidase overexpression in transgenic plants on root growth and development, *Plant Mol. Biol.*, 33, 887–895.

141. SATO, Y., SUGIYAMA, M., GORECKI, R.J., FUKUDA, H. ve KOMAMINE, A., 1993, Interrelationship between lignin deposition and the activities of peroxidase isoenzymes in differentiating tracheary elements of *Zinnia*. Analysis using L-aaminooxy-b-phenylpropionic acid and 2-aminoindan-2-phosphonic acid, *Planta*, 189, 584–589.
142. SITBON, F., HENNION, S., LITTLE, C.H.A. ve SUNDBERG, B., 1999, Enhanced ethylene production and peroxidase activity in IAA-overproducing transgenic tobacco plants is associated with increased lignin content and altered lignin composition, *Plant Sci.*, 141, 165–171.
143. OTTER, T. ve POLLE, A., 1997, Characterisation of acidic and basic apoplastic peroxidases from needles of Norway spruce (*Picea abies*, L., Karsten) with respect to lignifying substrates, *Plant Cell Physiol.*, 38, 595–602.
144. MOHAN, R., BAJAR, A.M. ve KOLETTUKUDY, P.E., 1993, Induction of a tomato anionic peroxidase gene (*tap 1*) by wounding in transgenic tobacco and activation of *tap 1*:GUS and *tap 2*:GUS chimeric gene fusions in transgenic tobacco by wounding and pathogen attack, *Plant Mol. Biol.*, 21, 341–354.
145. MEDINA, M.I., QUESADA, M.A., PILEGO, F., BOTELLA, M.A. ve VALPUESTA, V., 1999, Expression of the tomato peroxidase gene *TPX 1* in NaCl-adapted and unadapted suspension cells, *Plant Cell Rep.*, 18, 680–683.
146. NASHIKKAR, V.J. ve CHAKRABARTI, T., 1994, Catalase and peroxidase activity in plants-an indicator of heavy metal toxicity, *Ind. J. Exp. Biol.*, 32, 520-521.
147. MARSCHNER, H. ve CAKMAK, I., 1989, High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants, *J. Plant Physiol.*, 134, 308–315.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1979 yılında Malatya’ da doğdum. Lise eğitimimi 1996 yılında Malatya Gazi Lisesi’ nde tamamladım. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü’ nden mezun oldum. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Botanik programında yüksek lisans eğitimime başladım. 2001 yılının Aralık ayında Botanik Anabilim Dalı’ na Araştırma Görevlisi olarak atandım, halen görevime devam etmekteyim. Evliyim.