

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gönül BOZBAY TAŞDEMİR

**DEĞİŞİK AZOT VE ÇİNKO DOZLARININ BUĞDAY BİTKİSİNDE
BÜYÜME VE VERİM ÜZERİNE ETKİSİ**

TOPRAK ANABİLİM DALI

ADANA, 2006

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEĞİŞİK AZOT VE ÇİNKO DOZLARININ BUĞDAY BİTKİSİNDE
BÜYÜME VE VERİM ÜZERİNE ETKİSİ**

Gönül BOZBAY TAŞDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu TezTarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza
Doç. Dr. M. Bülent TORUN
Danışman

İmza
Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ
Üye

İmza
Doç. Dr. Hakan ÖZKAN
Üye

Bu Tez Enstitümüz **Toprak** Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan ve başka kaynakta yapılan bildirimlerin, Çizelge, Şekil ve fotoğrafların kaynak olarak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEĞİŞİK AZOT VE ÇİNKO DOZLARININ BUĞDAY BİTKİSİNDE
BÜYÜME VE VERİM ÜZERİNE ETKİSİ**

Gönül BOZBAY TAŞDEMİR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
TOPRAK ANABİLİM DALI

Yıl:2006, Sayfa: 78

Danışman: Doç. Dr. M. Bülent TORUN

Jüri: Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ

Doç. Dr. Hakan ÖZKAN

Çinko (Zn) noksanlığı bitkide, insanda ve hayvanda sorunlara neden olan yaygın bir mikro element noksanlığıdır. Çinko noksanlığında bitkide verim ve bitkisel ürünlerin besleme kalitesinde düşüşler görülmektedir. Çinko ayrıca bitkide protein sentezi için gereklidir ve bir çok enzimin fonksiyonlarında yaşamsal roller oynamaktadır. Çinko eksikliğindeki bitkilerde protein sentezinin gerilediği ve buna bağlı olarak bitkide amin ve amino asitler gibi çözünür azot (N) formlarının biriktiği bilinmektedir.

Çinko ve N arasındaki bu ilişki, farklı Zn (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) ve N (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) uygulamalarının, Seri-82 ekmeçlik buğday çeşidinin kuru madde ve dane verimiyle yeşil aksamdaki ve tanesindeki Zn, N, NO₃⁻ ve amino asit konsantrasyonları üzerine etkisini saptayarak sera koşullarında belirlenmiştir.

Toprağa yapılan 25 mg N kg⁻¹ (kontrol) uygulamasına göre, 75 ve 225 mg N kg⁻¹ N uygulamalarının Seri-82 çeşidinin kuru madde verimini sırasıyla % 19.4 ve % 38.5 oranında arttırdığı bulunmuştur. Çinko verilmeyen kontrol uygulamasına (0.00 mg Zn kg⁻¹) göre, diğer Zn uygulamalarının (0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) verimi sırasıyla % 14.4, % 27.6 ve % 67.4 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bitkinin N'la beslenme düzeyi iyileştikçe Zn'nun bitkisel verim üstündeki etkisi daha da belirgin olmuştur. Örneğin en düşük N uygulamasında Zn ile sağlanan verim artış oranları % 4.6 - % 29.3 arasında değişirken aynı değerler 75 mg kg⁻¹ N uygulamasında % 25.9 - % 90.3 arasında değiştiği görülmüştür. Aynı şekilde, bitkinin Zn beslenme düzeyi iyileştikçe N uygulamalarının da verim üstündeki etkisi daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Azot uygulamaları bitkinin yeşil aksamındaki ve tanedeki Zn, N, NO₃⁻¹ ve amino asit konsantrasyonlarını arttırmıştır. Buna karşılık Zn uygulamaları bitkinin yeşil aksamdaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonlarını arttırırken genelde N, NO₃⁻¹ ve amino asit konsantrasyonlarını azaltmıştır. Örneğin N uygulamaları dikkate alınmaksızın toprağa Zn verilmediği durumda, bitkinin yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonu 9738 mg kg⁻¹ iken Zn'nun 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ verildiği durumda yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonunun sırasıyla 5302, 4036 ve 1990 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır.

Bu bulgular Zn eksikliğinde buğdayda yeşil aksam ve tanede NO₃⁻¹ ve amino asit birikimi olduğunu ortaya koymuştur. Bu da olasılıkla Zn eksikliğinde bitkide protein sentezindeki gerilemeyle ilişkili olabileceği düşünülmüştür.

Sonuç olarak, beslenme ortamında Zn ve N düzeyi optimize edildiğinde bitkinin büyümesinde ve veriminde artışlar olabildiğini ve bitkide aynı zamanda çözünür N bileşiklerinin de indirgenebildiğini göstermektedir. Bu nedenle bitkilerin Zn ve N gereksinim düzeylerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Anahtar kelimeler: Çinko, azot, verim, amino asit ve protein

ABSTRACT

MSc THESIS

THE EFFECT OF DIFFERENT NITROGEN AND ZINC DOSES ON GROWTH AND YIELD IN WHEAT

Gönül BOZBAY TAŞDEMİR

THE UNIVERSITY OF ÇUKUROVA
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF SOİL SCIENCE

Year: 2006, Page: 78

Supervisor: Assoc. Prof.Dr. M. Bülent TORUN

Jury: Prof. Dr. M.Rifat DERICI

Assoc. Prof. Dr. Hakan OZKAN

Zinc efficiency which induces several problems in plants, human, and animals is the most commonly occurring micronutrient disorder. Crop production and nutritional quality of edible parts of crop plants are decreased by Zn deficiency. Moreover, Zn is necessary for protein synthesis and plays a vital role in functions of many enzymes. It has been demonstrated that Zn deficiency gives rise to decreases in protein synthesis of plants and thus leads to the accumulation of soluble N forms, such as amino acids, in plants.

This interrelationship between Zn and N has been investigated in a greenhouse experiment by studying the effect of different Zn (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) and N (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) applications on dry matter and grain yield, and Zn, N, NO₃⁻ and amino acid concentration in shoot and grain of Seri-82 that is wheat cultivar.

It is found that 75 and 225 mg kg⁻¹ N applications increased dry matter production of Seri-82 cultivar by 19.4 % and 38.5 %, respectively compared to 25 mg N kg⁻¹ application. Also, Zn applications (0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) increased dry matter production cultivar by 14.4 %, 27.6 % and 67.4 %, respectively compared the control. It was observed that as the nutritional N status of crop improved, Zn's effect on plant production was markedly increased. For example, while the rates of dry matter yield increases at the lowest N application (25 mg kg⁻¹) were between, at it is found that the ratios of the dry matter increases with Zn applications changed 4.6 to 29.3 % compared no Zn, at 75 mg kg⁻¹ N application same values changed 25.9 to 90.3 %. Similar enhancing effects of Zn on N nutrition were also observed.

Concentrations of Zn, N, NO₃⁻ and amino acids in shoots and grain were increased by N applications. In contrast, Zn applications lead to decreases concentration N, NO₃⁻, and amino acid contents but increased that of Zn. While amino acid concentration in shoots of cultivars without Zn applications was 9738 mg kg⁻¹, with Zn applications of 0.02, 0.10 and 5.00 mg kg⁻¹ same values were 5302, 4036 and 1990 mg kg⁻¹, respectively.

These results showed that Zn deficiency affects the accumulation of NO₃⁻ and amino acid concentrations in shoots and grain of wheat. It is believed that this is related to impaired protein synthesis under Zn deficiency.

The results also suggest that when Zn and N are optimized in nutritional zone, the growth and yield of crops could be increased while realizing reductions in contents of soluble N forms in plant. Therefore, the determination of Zn contents and N requirement of crops is of great importance.

Keywords: Zinc, nitrogen, yield, amino acid and protein

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince benden katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. M. Bülent TORUN'a ve Sabancı Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. İsmail ÇAKMAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim EKER, Yrd. Doç. Dr. İnci TOLAY, Arş. Gör. M. Atilla YAZICI, Arş. Gör. Dr. E. Bülent ERENOĞLU, Zir.Yük.Müh. Aytül ÖZDEMİR, Zir.Yük.Müh. İrem ÖZUS, Zir.Yük.Müh. Ahmet TEK, Uzman Dr. Özlem ÇAKMAK'a, Doç. Dr. Levent ÖZTÜRK, Yrd. Doç. Dr. Ayfer TORUN, Veli BAYIR'a ve tezimin yazım aşamasında bana tüm içtenliğiyle yardımcı olan Huriye AVŞAR'a teşekkür ederim.

Tezimi tamamlamam konusunda beni destekleyen Daire Başkanım Sayın Dr. Zafer BABAGİRAY'a ve Şube Müdürüm Yüksel ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni maddi ve manevi olarak her zaman destekleyen ve her zaman yanımda olan babama, anneme, eşime, oğluma ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Toprakta Çinko.....	4
2.1.1. Toprakların Total Çinko Konsantrasyonu.....	4
2.1.2. Toprakta Çinko Formaları.....	5
2.1.3. Toprak Çözeltisindeki Çinko.....	6
2.1.4. Topraklarda Çinkonun Bitkilerce Alınabilirliğini Etkileyen Faktörler.....	6
2.2. Bitkide Çinko.....	8
2.2.1. Çinkonun Bitkideki Formları ve Fonksiyonları.....	8
2.2.1.1. Bitkide Çinko Formaları.....	9
2.2.1.1.(1) Düşük Molekül Ağırlıklı Kompleksler ve Serbest Çinko.....	9
2.2.1.1.(2) Proteinde Çinko.....	10
2.2.1.2.Çinkonun Fizyolojik Fonksiyonları.....	11
2.2.1.2.(1). Karbonhidrat Metabolizması.....	11
2.2.1.2.(2). Protein Metabolizması.....	13
2.2.1.2.(3). Membran Bütünlüğü.....	14
2.2.1.2.(4). Oksin Metabolizması.....	16
2.2.1.2.(5). Generatif Verim Üzerine Etkisi.....	18
2.2.2. Bitkilerce Çinko Alım Mekanizması.....	19
2.2.3. Tahıl Türlerinin Çinko Noksanlığına Karşı Duyarlılığı.....	20
2.2.3.1. Buğdaylarda Çinko Eksikliğine Karşı Genotipsel Farklılıklar.....	21
2.2.4. Tahılların Çinko Etkinliğinde Belirleyici Fizyolojik Mekanizmaları.....	22
2.2.4.1. Fitosiderforların Salgılanması.....	23
2.2.4.2. Çinko alımı ve Taşınımı.....	24
2.2.4.3. İçsel Kullanım.....	25
2.2.5.Çinkonun Bitki Besin Elementleriyle Arasındaki İnteraksiyonlar.....	26

3. MATERYAL VE METOD.....	34
3.1. Materyal.....	34
3.1.1. Sera Denemelerinde Kullanılan Topraklar.....	34
3.1.2. Kullanılan Genotipler.....	34
3.2. Metod.....	34
3.2.1. Sera Denemelerinin Kurulması Yürütülmesi.....	34
3.2.2. Toprak Analizleri.....	35
3.2.3. Bitki Analizleri.....	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Araştırma Bulguları.....	37
4.1.1. Yeşil Aksam ve Dane Verimi	37
4.1.2. Yeşil Aksam ve Tanedeki Çinko, Azot, Amino Asit ve Nitrat Konsantrasyonları	42
4.2. Tartışma.....	54
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

Ka : Kuru Ağırlık

Ppm : Milyonda bir kısım

Mg : Miligram

G : Gram

Kg : Kilogram

RNA : Ribonükleikasit

Ph : Asitlik-alkalilik faktörü

μg : Mikrogram

-Zn : Çinkosuz

+Zn : Çinkolu

N : Azot

CaNO₃: Kalsiyum nitrat

HCO₃⁻ : Bikarbonat

NO₃⁻ : Nitrat

NH₄⁺ : Amonyum

OH⁻ : Hidroksil

Fe : Demir

Cu : Bakır

Mn : Mangan

P : Fosfor

NH₄NO₃: Amonyum Nitrat

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 Deneme Toprağının Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

33

Şekil 4.1. Çinko uygulamaları dikkate almaksızın farklı azot (N) (25, 75 ve 225 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.....	36
Şekil 4.2. Azot uygulamaları dikkate almaksızın farklı çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.....	37
Şekil 4.3. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg-1) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg-1) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.....	38
Şekil 4.4. Farklı azot (N) uygulamaları (N25= 25 mg N kg ⁻¹ , N75= 75 mg N kg ⁻¹ ve N225= 225 mg N kg ⁻¹) altında kontrol Zn uygulamasına (0.0 mg Zn kg ⁻¹) göre 0.02 (Zn0.02), 0.1 (Zn0.1) ve 5.0 (Zn5.0) mg kg ⁻¹ Zn uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları (%).....	39
Şekil 4.5. Farklı Zn uygulamaları 0.0 (Zn0), 0.02 (Zn0.02), 0.1 (Zn0.1) ve 5.0 (Zn5.0) mg kg ⁻¹ altında, kontrol azot (N) uygulamasına (25 mg N kg ⁻¹) göre 75 mg N kg ⁻¹ (N75)ve 225 mg N kg ⁻¹ (N225) uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları.....	40
Şekil 4.6. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin dane verimine etkisi.....	40
Şekil 4.7. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg ⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonu.....	41
Şekil 4.8. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg ⁻¹), Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonu.....	42

Şekil 4.9. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu üzerine etkisi.....	43
Şekil 4.10. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin tanedeki Zn konsantrasyonu üzerine etkisi.....	44
Şekil 4.11. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg ⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki N konsantrasyonu.....	46
Şekil 4.12. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg ⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki N konsantrasyonu...	46
Şekil 4.13. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki total N konsantrasyonu üzerine etkisi	47
Şekil 4.14. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin tanesindeki, total N konsantrasyonu üzerine etkisi.....	48
Şekil 4.15. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg ⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki NO ₃ ⁻¹ konsantrasyonu.....	49
Şekil 4.16. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg ⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki NO ₃ ⁻¹ konsantrasyonu.....	50
Şekil 4.17. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg ⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki amino asit konsantrasyonu.....	51

Şekil 4.18. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg ⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki amino asit konsantrasyonu.....	51
Şekil 4.19. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg ⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg ⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 yeşil aksamındaki amino asit konsantrasyonu üzerine etkisi.....	52

1. GİRİŞ

Çinko noksanlığı bitkisel üretimde ve bitkisel ürünlerin besleme kalitesinde ciddi sorunlara yol açan bir mikro element noksanlığıdır. Çinko noksanlığının dünya’da özellikle tahıl üretim alanlarında en yaygın görülen mikro element noksanlığı olduğuna inanılmaktadır (Graham ve Welch, 1996; Alloway, 2004). Tahıl üretim alanlarının yaklaşık % 50’sinin bitkilerce alınabilir Zn konsantrasyonunun düşük olduğu bildirilmiştir. Türkiye’de 1511 toprak örneğinin DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunun topraktaki 0.5 mg kg^{-1} kritik sınır değerinden daha düşük örneklerin oranının % 49.8 olduğu bulunmuştur (Eyüpoğlu ve ark., 1995). Bir çok ülkede yapılan çalışma sonuçlarına göre hemen hemen her ülkede ve iklim bölgelerinde Zn noksanlığı olabildiği gösterilmiştir (Çakmak, 2004). Çinko noksanlığı genelde yüksek pH, kireç ve metal oksitlerle düşük organik madden kaynaklanmaktadır (Marschner, 1993). White ve Zasoski’nin (1999) Hindistan’da işlenen alanlarının yarısı, Çin’de işlenen alanların üçte-biri, Batı-Avustralya’da 8 milyon hektar ve Bangladeş’te ise 2 milyon hektar toprağın Zn noksanlığına sahip olduğunu bildirmiştir.

Çinko noksanlığının bitkisel üretimde önemli sorunlara yol açtığı belirlenmiştir. Türkiye’de Orta Anadolu Bölgesinde alınan 72 toprak ve 134 buğday yaprağı örneğinde, Çakmak ve ark. (1996)’nın yaptıkları analizlere göre, bölgenin % 80 den fazlasında Zn eksikliğinin olduğu belirlenmiştir. Nitekim bu bölge topraklarında yapılan çalışmalarda Zn uygulamasıyla tahıllarda önemli verim artışlarının olduğu saptanmıştır (Çakmak ve ark., 1997, 1998; Ekiz ve ark., 1998; Kalaycı ve ark., 1999). Benzer sonuçlar Hindistan’da (Takar ve ark.,1989) ve Avustralya’da (Graham ve ark., 1992) da alınmıştır.

Çinko noksanlığı yalnızca bitkilerde değil insanlarda birçok biyolojik, fiziksel, zihinsel bozuklukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Örneğin kısa boyluluk, zeka gelişiminin yetersizliği, seksüel olgunlaşmanın geriliği, saç dökülmesi, deri hastalıkları, bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi sorunlar Zn eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Welch and Graham, 2004; Hotz ve Brown, 2004; Black, 2003). Çinko noksanlığı altında yetişen bitkilerin tüketilmesi durumunda insanda ve

hayvanda özellikle gelişmekte olan ülkelerde sözkonusu edilen sağlık sorunlarının olabildiği bildirilmiştir. Bu sorunlarının nedenlerinden biri olarak, gelişmekte olan ülkelerdeki tek yönlü tahıl özellikle buğday beslenmesi gösterilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde günlük kalori gereksiniminin yarısına yakını buğdaydan karşılanırken gelişmiş ülkelerde bu oran % 20 düzeylerinde olduğu görülmektedir (Çakmak, 2004).

Çinkoca fakir gıdalar ayrıca insan ve hayvan hücresinde Zn'nun biyolojik yararıyı artırarak bazı organik (özellikle sitrik asit, elma asidi, askorbik asit) ve aminoasitlerce (özellikle methionin, sistein, histinin, lizin) de fakirdir. Bu maddelerin gıdalarda yeterli düzeyde bulunmama nedenlerinden biri protein sentezindeki gerilemeden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Bilindiği gibi Zn protein sentezi ve biyolojik membranların bütünleşmesinde gerekli olan bir elementtir. Çinko eksikliğinde bitkilerde protein sentezinin gerilediği ve buna bağlı olarak amino asit ve amin birikiminin arttığı bilinmektedir (Çakmak ve ark., 1989; Kitagishi ve ark.,1987). Çinko noksanlığında bitkide aminoasitlerin ve diğer çözünür azot bileşiklerinin birikmesi köklerin topraktan yapacağı azot alımı üzerine olumsuz etki yapabilir. Bitkide bu şekilde çözünür azot bileşiklerinin birikmesi, bitkinin yeşil aksamda N'la beslenme düzeyinin yeterli olduğu bilgisini köke ileterek kökün beslenme ortamında N azot alımını sınırlandırmasına ve sonuçta bitkide gizli azot noksanlığının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bitkide ortaya çıkan gizli azot eksikliği hem bitki büyümesinin gerilemesine hem de o bitkinin dansinde yeterince protein sentezlenememesine yol açabilir.

Tanedeki protein konsantrasyonu ayrıca buğdayın öğütülme ve pişirilme kalitesini belirlemede önemli bir faktördür. Buğdayın pazar payında protein konsantrasyonunu oldukça önemlidir ve belirli bir düzeyin üzerindeki protein artışlarına özel prim verildiği bildirilmiştir (Woolfolk ve ark., 2002). Yüksek protein içeriği kırmızı sert taneli kışlık buğday çeşitlerinde arzulanan bir durumdur. Ekmeklik un, belli gıdalarda (makarna ve erişte gibi) ve hayvan yeminde yüksek bir protein konsantrasyonu gereklidir (% 12-16) buna karşılık kırmızı yumuşak kışlık buğdayda protein konsantrasyonunun düşük olması (% 8-11) olması tercih edilir

(Woolfolk ve ark., 2002). Toprak N'nun protein üzerinde sınırlayıcı bir faktör olduğu bildirilmiştir.

Bu bilgiler dışında N'un da bitkinin Zn beslenmesi üzerine önemli etkisinin olabildiği bilinmektedir. Bitki yetiştirmek için kullanılan N'lu gübrenin formu bitki kök bölgesindeki toprağın (rizosfer) pH'sı üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Amonyumlu gübreler (NH_4^+) rizosferde asidik etki, nitratlı (NO_3^-) gübrelerin ise bazik etki yapabildiği bildirilmiştir (Marschner, 1995). Bilindiği gibi düşük pH'larda Zn'nun bitkilerce alınabilirliği yüksektir.

Çinkonun ve azotun protein sentezindeki rolleri ve birbirlerinin alımındaki etkilerini birlikte değerlendirildiğinde, buğdayda Zn ve N interaksiyonunun belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla sera koşullarında Seri-82 ekmeklik buğday çeşidinde, farklı Zn ve N uygulamalarının bitkinin yeşil aksam ve dane verimi ile yeşil aksam ve tanedeki Zn, N, NO_3^- ve amino asit konsantrasyonu üzerine etkisini belirlemek için bir deneme gerçekleştirilmiştir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprakta Çinko

2.1.1. Toprakların Total Çinko Konsantrasyonu

Toprakların total Zn konsantrasyonu literatürde ortalama olarak 55 mg Zn kg^{-1} düzeyinde olduğu bildirilmiştir. Kiekens (1995), topraklardaki total Zn konsantrasyonunun $10\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında ve ortalamasının da 50 mg kg^{-1} olduğunu rapor etmiştir.

Fransa'da Baize (1997), ortalama olarak kumlu toprakların 17 mg kg^{-1} , siltli toprakların ($< \% 20$ kil) 40 mg kg^{-1} , tınlı toprakların ($\% 20\text{-}30$ kil) 63.5 mg kg^{-1} , killi toprakların ($\% 30\text{-}50$ kil) 98 mg kg^{-1} ve yüksek kil içerikli ($> \% 50$ kil) 132 mg kg^{-1} Zn 'ya sahip olduğunu saptamıştır. Polanya'da kumlu toprak için ortalama değer 37 mg kg^{-1} ($3\text{-}762 \text{ mg kg}^{-1}$), löslü ve tınlı topraklarda aynı değer sırasıyla 60 mg kg^{-1} ($28\text{-}116 \text{ mg kg}^{-1}$) ve 75 mg kg^{-1} ($37\text{-}725 \text{ mg kg}^{-1}$) arasında olduğu bulunmuştur (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992). Kumlu, tınlı/siltli ve killi topraklar için Almanya'da bulunan ortalama Zn değerleri sırasıyla 27.3 , 59.2 ve 76.4 mg kg^{-1} 'dir (Gorny ve ark., 2000).

Sonuçlar toprakta tekstür sınıfı inceldikçe -kumludan kile doğru- toprakta bulunan Zn düzeyinin arttığını göstermektedir. Genel olarak topraktaki total Zn konsantrasyonu kumlu topraklar hariç bitkinin Zn'yala beslenme düzeyini göstermez.

Topraklardaki total Zn konsantrasyonunda en önemli faktör toprak ana materyalidir. Volkanik kayalardan Bazalt ve Gabro 100 mg kg^{-1} , Diorit ve andezit 70 mg kg^{-1} , ultramafik (dunit, peridolit ve serpantinit gibi) kayalar, 58 mg kg^{-1} ve Granit 48 mg kg^{-1} Zn içerdiği buna karşılık sedimanter kayalardan kireçtaşı 20 mg kg^{-1} , kum taşı 30 mg kg^{-1} , kill ve şeyl 120 mg kg^{-1} ve bitümlü şeyler 200 mg kg^{-1} Zn kapsadıkları bildirilmiştir (Alloway, 2004).

Alloway (2004) bildirdiğine göre, bir başka önemli total Zn kaynağı atmosferik depozitlerdir. Avrupa'da 10 ülkede yapılan çalışmada yılda ortalama 217 g Zn ha^{-1} atmosferik depozitlerden geldiği saptanmıştır. Aynı çalışmada, en düşük değerlere yılda 20 gr ha^{-1} ve 68 g ha^{-1} değerleriyle sırasıyla Finlandiya ve Norveç'in sahip olduğu, buna karşılık en yüksek ortalama değere yılda 540 g ha^{-1} değeriyle Almanya

ve Polanya'nın sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, İngiltere ve Galler'de 34 farklı yerde ve 42 ay boyunca yapılan çalışmalarda atmosferden yılda 221 g ha^{-1} Zn'nun geldiği saptanmıştır

Gelişmekte olan bazı ülkeler dışında genelde hayvancılık yapılan herhangi bir yerde bulunan ahır atıkları (katı ve sıva atık, veya sapla kompostlaşmış şekil) bir gübre (genellikle azot, fosfor ve potasyum için) ve toprak düzenleyici olarak kullanılır. Her yıl İngiltere ve Galler'de ahır gübrelerinden tarım arazilerine yaklaşık 2000 ton Zn ilavesi yapıldığı bulunmuştur ((Nicholson ve ark., 2003). Evsel, kentsel ve endüstriyel atıkların da önemli bir Zn kaynağı olabileceği bildirilmiştir.

2.1.2. Toprakta Çinko Formaları

Alloway (2004) göre, topraktaki total Zn 5 fraksiyona dağılmıştır. Bunlar:

- I) Suda çözünür fraksiyon. Toprak çözeltilinde bulunur.
- II) Değişebilir fraksiyon: iyonlar toprak parçacıklarına elektriksel yüklerle bağlanmışlardır.
- III) Organik bağlı fraksiyon: iyonlar organik bileşiklere adsorbe, şelatlanmış veya kompleksleşmiş şekilde bağlanır.
- IV) Kil mineralleri ve çözünmez metalik oksit mineralleri üzerine değişmez şekilde bağlanır.
- V) Birincil minerallerin ayrışma ve parçalanmasıyla açığa çıkar.
- VI) Toprak çözeltilindeki ve desorbe olabilen Zn bitkilerce alınabilir ve toprak profilinde yıkanabilir durumdadır.

Çinko; toprak çözeltilinde serbest (Zn^{+2} ve ZnOH^+) ve organik bağlı, toprak koloidal fraksiyonu (killer, organik madde ve demir ve aliminyum hidrate oksitler) üzerinde adsorbe ve değişebilir ve toprak katı fazında ikincil minerallerde ve çözünmez kompleks formları şeklinde toprakta bulunur.

Katı ve sıvı faz arasındaki Zn'nun dağılımı çökme-çözünme, kompleksleşme-dekompleksleşme ve adsorpsiyon-desorpsiyon reaksiyonlarına bağlı değişiklik gösterir.

2.1.3. Toprak Çözeltisindeki Çinko

Total Zn'nun çok küçük bir miktarı toprak çözeltisinde yer alır. Kabata-pendias ve Pendias (1992), topraktaki çözünür Zn konsantrasyon aralığının $4-270 \mu\text{g L}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir. Bu değerlerle, topraktaki ortalama total Zn konsantrasyonunu ($50-80 \text{ mg kg}^{-1}$) kıyaslandığında çözünür Zn konsantrasyonunun neredenli düşük olabildiği daha iyi anlaşılmaktadır. Ancak çok yüksek asidik karakter gösteren topraklarda aynı değer $7137 \mu\text{g L}^{-1}$ olduğu saptanmıştır. Bu da Zn'nun çözünürlüğünün pH'ya son derece bağlı olduğunu ve çözünürlük ile pH değeri arasında negatif bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Cattlet ve ark., (2002) Kolorodo'da topraklarda Zn'nun aktivitesinin pH'nın artmasıyla düştüğünü buna karşılık toprak organik karbon düzeyindeki artışla arttığını belirlemiştir.

Düşük molekül ağırlına sahip organik bileşiklerle Zn çözünür kompleks formlar meydana getirir. Fazla miktarda ahır gübresi ilavesiyle, Zn noksanlığı toprağında alınabilir Zn konsantrasyonunun artması Zn ile organik maddenin kompleksleşme düzeyinin artmasının bir sonucu olabilir. Oksisollerde organik bileşiklerin adsorbe edilen Zn düzeyini azalttığı ve özellikle humic asit varlığında bu etkinin daha da belirgin olduğu bulunmuştur (Barrow,1993). Organik maddelerle kompleksmiş Zn'nun çözünür formları toprakta Zn'nun hareketliliğini ve bitkilerce alınabilirliğini artırabilir. Çoğu durumlarda organik bileşiklerle Zn'nun kompleksleşmesi mineral yüzeylerdeki Zn adsorpsiyonunu azaltacaktır.

2.1.4. Topraklarda Çinkonun Bitkilerce Alınabilirliğini Etkileyen Faktörler

Bitkilerce alınabilir Zn, toprak çözeltisinde bulunur veya değişebilir durumda yüzeylerde tutulur. Bitkilerce alınabilir Zn konsantrasyonunu topraktaki adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçleriyle belirlenir. Bu süreci toprağın total Zn konsantrasyonu, pH'sı, organik maddesi, kireci, redoks potansiyeli, rizosferdeki mikrobiyal aktivitesi, nem içeriği ile diğer besin elementlerinin düzeyi gibi faktörler etkiler.

Bu faktörlerden bazılarının bitkisel üretimdeki rolleri aşağıda kısaca özetlenmiştir (Alloway, 2004).

- Ü Düşük total ve bitkilerce alınabilir Zn düzeyine sahip kumlu ve fazla yıkanmış asidik topraklarda Zn eksikliği oldukça belirgindir.
- Ü Toprak pH'sı; parçacıkların adsorptiv kapasitesinin arttırmasından, hidrolize Zn formlarının oluşturmasından ve kalsiyum karbonat üzerindeki kimyasal bağlanmayı ve demir oksitler üzerindeki çökelmeyi arttırmasından dolayı Zn'nun bitkilerce alınabilirliği azaltır. Bu nedenle alkalın, kireçli ve fazla kireçlenmiş topraklarda Zn eksikliği nötral ve hafif asidik topraklara göre daha belirgindir.
- Ü Kolay parçalanabilir (ahır gübresi gibi) organik maddelerin toprağa ilavesi, hareketliliği olan ve bitki köklerinde absorbe edilebilen çözünür Zn-organik madde komplekslerin oluşumuna yol açarak, Zn'nun bitkilerce alınabilirliğini arttırır.
- Ü Yüksek düzeyde organik madde içeriğine sahip topraklarda (peat ve muck topraklar) alınabilir Zn konsantrasyonu, sözkonusu toprakların düşük total Zn'ya sahip olmasından ve/veya stabil Zn-organik madde komplekslerinin oluşumundan dolayı düşük olabilir.
- Ü Yüksek fosfor düzeyleri Zn'nun alınabilirliğini azaltabilir veya fosfor gübrelemesiyle ortaya çıkan Zn eksikliği bitkideki fizyolojik faktörlerden kaynaklanabilir.
- Ü Süperfosfat gibi fosforlu gübreler P dışında önemli miktarda artık Zn içerirler ve topraklarda da asidik etki yaparlar. Bu şekildeki gübrelerin yerine saflık derecesi yüksek monoamonyum fosfat (MAP) ve diamonyum fosfat (DAP) gibi gübreler kullanılırsa Zn noksanlığının arttığı gözlenmiştir.
- Ü Çinkoya kıyasla toprak çözeltisindeki Cu konsantrasyonu çok yüksekse bitki köklerindeki absorpsiyon yerlerine daha çok Cu bağlanacağı için Zn'nun alınabilirliği azalacaktır. Bu durum özellikle Cu gübrelemesi yapıldıktan sonra görülebilir.
- Ü Çeltik toprakları gibi indirgen koşullara sahip topraklarda toprak pH'sında yükselme, yüksek bir bikarbonat konsantrasyonu, bazı durumlarda Mg iyonların konsantrasyonunun yükselmesi ve çözünmez

Zn-sülfid (ZnS) oluşumu görülür. Genellikle indirgen koşulların başat olduğu bu topraklarda aynı zamanda çözünmez Fe-Mn hidroksitlerden iki değerlikli Fe ve Mn konsantrasyonunda bir artış görülebilir ve sonuçta köklerde bu iyonların alımıyla Zn iyonu alımı arasında bir rekabet gerçekleşebilir.

- Ü Amonyum-nitrat ve amonyum-sülfat gibi N'lu gübreler bitkiye N kazandırmaları yanında toprağı asitleşmesine yol açarak Zn'nun çözünürlüğünü arttırabilmektedirler.
- Ü Tesviye edilen özellikle de kireçli topraklarda yetiştirilen bitkilerde belirgin Zn noksanlığı görülebilmektedir. Bilindiğı gibi organik maddece zengin olması yanında diğer bitki besin elementlerince de zengin olan yüzey horizon uzaklaştırıldığı için, kalan toprak sözkonusu maddelerce fakirleşmektedir.

2.2 Bitkide Çinko

2.2.1. Çinkonun Bitkideki Formları ve Fonksiyonları

Brown ve ark., (1993) bildirdiğine göre Zn'nun biyolojik rolü Zn noksanlığında *Aspergillus niger*'de büyüme görülmemesi sonucunda 1869'da Raulin tarafından belirlenmiştir. Daha sonra insan ve hayvan dokuları için zorunlu bir element olduğu saptanmıştır. Bu gözlem bitkilerde Zn üzerine olan çalışmaları arttırmış ve 1914 yılında bitkilerde ilk defa Zn noksanlığı gösterilmiştir. Çinkonun bitkiler için zorunlu olduğu 1926 yılında bulunmuş ve Kaliforniya'da tarla koşullarında ilk Zn noksanlığı yaprak döken bahçelerde görülmüştür. Çinko eksikliği en yaygın mikro besin elementi noksanlıklarında biri olarak kabul edilmekte ve bitkisel üretimde önemi giderek artmaktadır. Tarımsal üretimde Zn'nun rolü 20. yüz yıl başlarında keşfedilmesine karşılık, bitkideki spesifik fonksiyonları 1960 yılların sonuna doğru keşfedilmiştir. Bu tarihten sona Zn içeren bir çok enzim tanımlanmış ve Zn eksikliğinde bitkideki kimyasal ve fizyolojik olayların etkileri belirlenmiştir.

2.2.1.1. Bitkide Çinko Formaları

Bitkilerde Zn elektriksel yük değişimini maruz kalmaz ve tetrahedral sistemlere yüksek afinitesi nedeniyle stabil kompleksler oluşturması Zn'nun kimyasının Mg^{+2} , Ca^{+2} veya Mn^{+2} 'dan farklı olduğu bildirilmiştir. Yapraklarda Zn düşük molekül ağırlıklı bileşiklerle, depo metaloproteinlerle, serbest iyonlarla ve hücre duvarında çözünmez formlar halinde bulunur.

2.2.1.1.(1). Düşük Molekül Ağırlıklı Kompleksler ve Serbest Çinko

Bitki yapraklarında çözünür Zn çoğunlukla iyonik olmayan bileşiklere olasılıkla aminoasitlere bağlı olarak bulunur. Marulda temel Zn fraksiyonun 1250 moleküler ağırlığa ve S'e, indirgen şekere ve amino asitlere sahip olduğu bulunmuştur (Walker ve Welch, 1987). Düşük molekül ağırlıklı bileşikler total çözünür Zn'nun % 73'lük kısmını oluşturur ve marulda bu değer % 58 olduğu bildirilmiştir. Benzer sonuçlar tohumda da elde edilmiş ve tohumdaki total Zn'nun % 62-70'nin çözünür olduğu saptanmıştır (Welch ve ark., 1974; Khan ve Weaver, 1989). Serbest Zn fraksiyonu total Zn'nun çok küçük bir yüzdesine sahip olduğu ve domateste bu değer % 5.8 (Bowen ve ark., 1962) ve yoncada ise % 6.5 (Johnson ve Schrenk, 1964) olduğu saptanmıştır.

Hücre duvarı serbest Zn aktivitesinin kontrolde de önemli bir role sahiptir. Hücre duvarındaki ekstraktların Zn'ya afinitesi ve farklı türlerin aşırı Zn'ya farklı tepkileri arasındaki bir ilişkinin olması hücre duvarının hücredeki serbest Zn'nun kontrolünde görev aldığını göstermektedir (Turner, 1970 ve Turner ve Marshall, 1971). Torre ve ark (1991), tarafından gerçekleştirilen bir derleme çalışmasında belirtildiği gibi, çeşitli hücre duvarı bileşikleri (lignin, selüloz, hemiselüloz vb.) Zn'yu yüksek düzeyde bağlama afinitesine sahiptirler. Kökteki total Zn'nun % 90 veya daha fazlası rhizodermal ve kortikal hücrelerin apoplastlarında adsorbe olmuşlardır (Schmid ve ark., 1965). Buna bulgulara karşılık, hücre duvarının total bağlama kapasitesinin fizyolojik önemi çok düşük olacağı için Zn'nun hücre duvarına bağlanmasının önemi tartışmalı kalmıştır (Wainright ve Woolhouse, 1978).

Düşük molekül ağırlıklı Zn komplekslerinin fazla miktarda olması fizyolojik olarak aktif makromoleküllere Zn sağlanmasında önemli bir rol oynayabilirler. Düşük molekül ağırlıklı bileşiklerle kompleksmiş Zn kaynağı kolaylıkla bozunabilirler ve bu nedenle enzimlere bağlı Zn'nun fizyolojik aktif olarak kabul edilmesinde olduğu gibi bu bileşiklerdeki Zn da fizyolojik aktif Zn olarak kabul edilebilirler (Olsen 1972). Düşük molekül ağırlıklı Zn kompleksleri katalitik aktivitelere (örneğin Cu ve Zn tarafından amidlerin hidrolizinde) görev alırlar.

Sonuçta düşük molekül ağırlıklı bileşikler Zn'nun detoksifikasyonunda önemli bir rol oynayabilir. Hücredeki bir çok bileşik aşırı metal konsantrasyonların absorbe etmek için tamponlayıcı bir sistem olarak hareket edebilir. Buna bir örnek fitoşelatin grubudur (Gril ve ark., 1985) ve oldukça fazla sayıda çeşidi bulunur ve bunlar Cd, Zn ve Hg'nin yüksek konsantrasyonlarına maruz kaldığında sentezlenirler.

2.2.1.1.(2). Proteinde Çinko

Bitkilerde Zn oldukça fazla sayıda enzimde fonksiyonel, yapısal veya düzenleyici olarak rol oynar. Çinko atomu genelde kuvvetli şekilde apoenzime bağlanmıştır ve buradan yalnızca konsantre kimyasallar ile uzaklaştırılabilirler. Ayrıca Zn oksijen, azot ve kükürt içeren polar grupların radikalleriyle kuvvetli kompleksler oluşturur.

Enzimlerin büyük çoğunluğu imidazol ve sisteinde Zn'yu bağlasa da Zn içeren enzimler ve aktivitesi için Zn'ya gereksinim duyan enzimlerin özellikleri önemli derecede farklıdır. X-ray analizleri katalik Zn'nun üç protein ligandına ve bir su molekülüne bağlandığını buna karşılık Zn'nun yapısal veya düzenleyici rol oynadığı enzimlerde Zn dört protein ligandına bağlandığı gösterilmiştir (Vallee, 1983). Su molekülünün varlığı açık bir koordinasyon yerinin olduğuna ve bu da Zn'nun katalik fonksiyonu için temel bir gösterge olduğu kabul edilmiştir.

2.2.1.2. Çinkonun Fizyolojik Fonksiyonları

2.2.1.2.(1). Karbonhidrat Metabolizması

Çinko karbonhidrat metabolizması üzerindeki etkisi fotosentez ve şekerlerin değişimi etkilemesiyle gerçekleşir. Genelde Zn'nun solunum üzerine etkisi yoktur.

Çinko eksikliği bitki türlerine ve noksanlığının şiddetine bağlı olarak net fotosentez düzeyinde % 50-70 arasında bir azalmaya neden olabilir. Bu azalmada bir çok mekanizma rol oynar.

Karbonik Anhidraz Aktivitesi

Çinko karbonik anhidrazın bir yapısal unsurlarından biridir (Tobin 1970). Dikotiledonlarda bulunan enzim 180000 molekül ağırlığında ve her moleküle 6 Zn atomu olan altı alt ünitelerden oluşmuştur. Dikotiledonlara göre monokotiledonlarda karbonik anhidraz daha küçük moleküldür ve daha az Zn içerir (Tobin 1970). Karbonik anhidraz C₃ bitkilerinde kloroplastlarda lokalize olurken C₄ bitkilerinde mezofil sitosolde lokalize olmaktadır.

Karbonik anhidraz aktivitesindeki belirgin bir azalma bitki şiddetli Zn stresi altındayken görülür (Ohki, 1976) ve bu CO₂ sentezi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Karbonik anhidrazın C₃ bitkilerinde fonksiyonlarıyla ilgili belirsizlikler bulunsada C₃ bitkilerinde kloroplastlarda karbonik anhidrazın varlığı klorofildeki içsel bikarbonatın devamlılığında veya CO₂ fiksasyonunda riboz bifosfat karboksilaz ile olası ortaklığı önemli bir unsurdur (Everson ve Slack, 1968). C₄ bitkilerinde mezofil hücrelerin stoplazmasında karbonik anhidrazın varlığı CO₂'in HCO₃⁻ dönüşümünü spesifik olarak katalize eder ve daha sonra PEP karboksilaz tarafından asimile edilir (Hatch ve Burnell, 1990).

Karbonik anhidraz C₃ bitkilerinin fotosentezinde doğrudan ilişkili olmadığı Randall ve Bouma (1973) tarafından bildirilmiştir. Çinkoca eksik ıspanakta karbonik anhidraz aktivitesi normal bitkilere kıyasla % 10 daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Buna karşılık fosforilasyon oranının çok hafif şekilde etkilendiği belirlenmiştir. Bu bulgular karbonik anhidrazın fotosentezle yakın bir ilişkisinin olmadığı ve karbonik

anhidrazdan çok Zn'nun kendisinin fotosentetik proseslerde etkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Bu görüş daha sonra, Boardman (1975) tarafından da desteklenmiştir. Buna karşılık Seerhambaram ve Das (1985), Zn noksanlığındaki çeltikte ATP ve NADPH'lı karbonik anhidraz ilavesiyle fotosentezin artabildiği görülmüştür. Ancak, C₄ bitkilerinde tek başına ATP ve NADPH ilavesi Zn noksanlığında darıda fotosentezdeki azalmanın önüne geçebilmiştir.

Çinko noksanlığında tüm bitki türlerinde fotosentezde bozulma buna karşılık, karbonik anhidrazın fotosentez üzerindeki rolünün C₃ ve C₄ bitkileri arasında değişebildiği görülmüştür. Ayrıca Zn noksanlığından dolayı fotosentezde de azalma gösteren bazı bitki türlerinde karbonik anhidrazın Zn'dan bağımsız olduğu anlaşılmıştır (Fellner, 1963). Bitkilerdeki karbonik anhidrazın fonksiyonunda ve oluşumunda görülen farklılıklar, Zn'nun fotosentezdeki rolünden mi yoksa karbonik anhidrazın fonksiyonundaki rolünden mi kaynaklandığı tam net değildir.

Alloway (2004) göre, C₃ bitkileri en temel fotosentez mekanizmalarına sahiptirler ve Calvin-Benson döngüsündeki CO₂'i bir kez kullanarak fikse ederler. C₃ bitkilerinin büyük çoğunluğu serin (< 25°C) ve humid iklim bölgelerinde bulunurlar. Örneğin buğday, çeltik ve soya fasulyesi C₃ bitkilerindedir.

Buna karşılık C₄ bitkileri CO₂'i iki kez fiske ederler ve etraftaki bitkilerden çok daha fazla miktarda yapraklarında CO₂ konsantrasyonlarını arttırabilen bir mekanizmaya sahiptirler. Sözkonusu bitkiler Calvin-Benson döngüsünde dörtlü bir C yolunu kullanırlar ve doğal olarak sıcak ve suyun sınırlı olduğu çevrede bulunurlar. Örneğin mısır, şeker kamışı ve sorgum C₄ bitkilerindedir.

Sonuç olarak Zn eksikliği C₃ bitkilerinden çok C₄ bitkilerinde daha belirgin etkiye sahiptir (Marshner, 1995). Sorgum ve mısır gibi C₄ bitkileri Zn noksanlığına oldukça duyarlıdır.

Çinko fotosentezde rol oynayan diğer enzimlerde yer alır. Örneğin Ribuloz 1,5-bifosfat karboksilaz (RuBPC) fotosentezde CO₂ fiksasyonun başlangıç aşamasında görev aldığı ve bu enzim fasulye, arpa, çeltik ve darıda olduğu bulunmuştur (Brown ve ark., 1993).

Çinko noksanlığındaki bitkilerde gözlemlenen fotosentez azalması klorofil içeriğindeki bir azalmadan ve kloroplastlardaki normal olmayan struktürden de kaynaklanmış olabilir (Brown ve ark., 1993)..

Sakkaroz ve Nişasta Oluşumu

Adolaz gibi sakkaroz oluşumunda rol oynayan enzimler Zn noksanlığından oldukça etkilenmektedirler. Şeker pancarı (Singh ve Gangwar, 1974) ve mısırdaki (Shrotri ve ark., 1980) sakkaroz düzeyinde bir azalma sakkaroz sentaz enzim aktivitesindeki düşüştten kaynaklanabilir. Çinko aynı zamanda nişastanın metabolizmasında da önemli bir rol oynar. Çinko eksikliğinde fasulyede nişasta içeriğinde, nişasta sentez enzim aktivitesinde ve nişastalı tane sayısında azalmalar görülür (Jyung, 1975). Diğer taraftan kabakta Zn eksikliği yapraklardaki şeker ve nişasta konsantrasyonunun artmasına neden olduğu saptanmıştır. Ancak fasulye kökünde karbonhidrat konsantrasyonu azalmıştır. Bu bulgular yeşil aksamdan köke sakkaroz taşınmasının Zn eksikliğinde kötüleştiğini göstermektedir. Buna karşılık, denemeler Zn eksikliğindeki bitkilerin floemde sakkaroz biriktirdiği ortaya koymuştur. Sakkaroz taşınmasındaki kötüleşmenin nedeni tam olarak anlaşılmamıştır. Bunun olasılıkla Zn'nun biyomembranların bütünlüğündeki rolüyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Brown ve ark., 1993).

2.2.1.2.(2). Protein Metabolizması

Genelde Zn eksikliğinde bitkide protein miktarı azalmaktadır. Ancak proteinin kompozisyonu değişmeden kalmaktadır. Çinko eksikliğine sahip fasulye yapraklarında kontrol uygulamasına göre yapraklarda daha fazla amino asit biriktiği belirlenmiştir (Çakmak ve ark., 1989). Çinko ilavesiyle amino asit konsantrasyonunda azalma görülmüş ve bu azalma aynı zamanda protein konsantrasyonundaki artışa bağlanmıştır. Bu sonuç da Zn'nun protein sentezinde temel bir rolünün olduğunu ortaya koymaktadır. Çinko noksanlığının protein sentezini olumsuz etkileme mekanizması RNA'da azalmasından ve ribozomların deformasyon ve azalmasından kaynaklanmaktadır (Prask ve Plocke, 1971; Kitagishi

ve Obata, 1986). Bu bulguyu destekler sonuçlar Kitagishi ve ark., (1987) tarafından desteklenmiş ve söz konusu çalışmada çeltik bitkisinde meristem dokusunda RNA düzeyi ve serbest ribozomların sayısı Zn eksikliğinde dramatik olarak azalmıştır.

Çinko noksanlığı altında RNA'nın azalması RNA plimeraz ve RNase aktivitesiyle bağlantılıdır. Çinko, RNA polimeraz enzim aktivitesi için gerekli bir elementtir (Falchuk ve ark., 1978; Jendrisak ve Burges, 1975) ve ribonükleaz enzimi tarafından gerçekleştirilen ataklara karşı ribozomal RNA'yı korur. RNase aktivitesi Zn uygulamasıyla şiddetli derece gerilediği bilinmektedir ve yüksek düzeyde ribonükleaz enzim aktiviteleri bitkilerde tipik Zn noksanlık göstergesidir Dwivedi ve Takar, 1974). Bunun bir sonucu olarak, Zn noksanlığının en tipik belirtilerinden biri RNA düzeyinde keskin bir azalmadır. Bununla birlikte Zn eksikliğinde RNA'daki azalma ribonükleaz aktivitesindeki artıştan önce görülebilir (Seethambaram ve Das, 1984). Sonuçlar Zn noksanlığının etkisinin RNA'nın biyosentezi üzerinde daha belirgin bir etkisinin ayrıca RNase üzerinde ise daha az bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Protein sentezinde Zn'nun önemi, protein ve nükleik asit sentezi yanında hücre bölünmesinin gerçekleştiği meristematik dokular için yüksek düzeyde Zn konsantrasyonlarına gereksinim duyulduğunu göstermektedir. Bu sonuç çeltikteki meristematik dokular için elde edilmiştir (Kitagishi ve Obata, 1986).

2.2.1.2.(3). Membran Bütünlüğü

Hayvanlarda Zn, biyomembranların yapısında ve fonksiyonunda kritik bir fizyolojik rol oynadığı gözlenmiştir (Bettger ve O' Dell, 1981; Chvapil, 1973). Bitkilerde bu dolaylı olarak gösterilmiştir. Welch ve ark. (1982), kök plazma membran geçirgenliğinin göstergesi olarak kök salgılarını kullanmışlar ve Zn'yla beslenme düzeyi iyi olan bitkilere göre Zn eksikliğindeki buğday köklerinden daha fazla miktarda P³² sızdığını belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada da Zn eksikliğinde köklerden dışarıya 2.5 kat daha fazla K⁺, amino asit, şeker ve fenolik bileşiklerin salgılandığı bulunmuştur. Bu bitkilere tekrar Zn verilmesi durumunda kökten dışarıya salgılanan maddelerde azalma olduğu saptanmıştır (Çakmak ve Marschner,

1988a). Bu sonuçlar Zn'nun hücrel membranların bütünlüğünün sağlanmasında bir rolünün olduğunu düşündürmektedir.

Çinko fosfolipid ve sülfhidril membranların bütünlüğü için de gerekli olduğu bilinmektedir. Bettger ve O' Dell (1981) göre, membran bütünlüğünün bozulması Zn noksanlığının neden olduğu en erken biyokimyasal değişimdir. Kalsiyuma benzer şekilde, membranlarının strüktürel bir komponenti olarak rol oynaması dışında Zn, membranlardaki lipid ve sülfhidril gruplarına zarar veren serbest oksijen radikallerinin (O_2^-) ortaya çıkışında ve detoksifikasyonunda da önemli bir role sahiptir. Farelerde gösterildiği (Burke ve Fenton, 1985; Bray ve ark., 1986) gibi, Zn NADPH oksidaz tarafından üretilen serbest oksijen radikallerinin hücrede meydana getirdiği zararı geriletilen bir rol üstlenir.

Bitkilerde de Zn'nun, NADPH oksidaz tarafından üretilen O_2^- ve türevleri üzerine benzer etkilerinin olduğu bulunmuştur. Yüksek O_2^- düzeyleri Zn'ca noksan bitki köklerinde saptanmıştır (Cakmak, 2000). Bu sonuçlar yalnızca NADPH oksidaz aktivitesiyle ortaya çıkan radikal oksijen türevlerinden değil aynı zamanda süper oksit dismutaz (SOD) aktivitesindeki gerilemeden de kaynaklanmıştır. SOD bitkilerdeki süper oksit radikallerin yok edilmesinde anahtar rol oynayan bir enzimdir. Çinko noksanlığında bitkilerdeki katalaz aktivitesi de (H_2O_2 detoksifike eder) düştüğü belirlenmiştir (Cakmak 2000). Bu sonuç olasılıkla süper oksit radikallerin katalazı inaktif hale getirmesinden veya protein sentezindeki gerilemeden kaynaklanmış olabilir. Sonuçlar Zn eksikliğinde O_2^- ve toksik O_2 radikalleri membranlara peroksidatif zarar verdiğini ortaya koymaktadır. Bu zarar Zn eksikliğinde kökten salgılanan maddelerin salgılanmasının artması şeklinde ortaya çıktığı bildirilmiştir. Genelde Zn'nun membranlardaki temel rolü serbest oksijen radikallerin neden olduğu peroksidayondan, membranlardaki lipidleri ve proteinleri korumaktır.

Yüksek ışık altında yapraklardaki kloroz ve nekrozların artması peroksit, hidroksi radikal ve singlet oksijen (O_2^-) gibi oksijen formlarının aktive olması sonucunda thilakoidlerde görülen foto-oksidatif zararlanmayla ilişkilidir. Çinko aktivite olmuş oksijen formlarına karşı biyomembranları koruyucu ve stabilize edici

bir rolü olduğu için foto-oksidasyonun sınırlı düzeyde olmasına yardımcı olur (Brown ve ark., 1993).

Welch ve ark. (1982) bitki hücre membranlarının stabilitesinde Zn'nun temel bir rolünün olduğunu gözlemlemişlerdir ve kalsiyumun membranlardaki rolünden farklı olarak, Zn eksikliğinde membranlarda görülen destabilizasyon durumunun kolaylıkla geriye dönüşümlü olmadığını bildirmişlerdir.

Çinkoya ilave olarak membranların bütünlüğü için başka elementlere de gereksinim duyulur ve bu elementler kalsiyum, fosfor, bor ve mangan olduğu belirtilmiştir (Graham ve ark., 1992). Su kültüründe yapılan bir denemede, Zn ilave edilmediği durumda yaşlı yapraklarda toksik düzeyde fosfor biriktiği bulunmuştur. Çok düşük Zn ilavesiyle toksik fosfor simptomları kaybolmasına karşın, sözkonusu Zn dozunda bitkiler Zn ilave edilmeyen uygulamaya göre daha fazla fosfor biriktirmişlerdir. Bu sonuç, Zn'lu bitkilere kıyasla Zn eksikliğindeki bitkilerin fosforu daha fazla sızdırması ve Zn'nun hücre membranlarının fonksiyonlarında önemli bir etkiye sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bu bulgular Zn eksikliğinde bitkilerin membran bütünlüğünü bozularak köklerde iyonların absorpsiyonunda seçicilik karakterinin bozulduğu ve buna bağlı olarak köklerden serbest şekilde daha fazla bor ve fosfor gibi elementlerin alınmasına yol açtığıyla ilgili hipotezi güçlendirmiştir.

Daha sonra yapılan çalışmalarda bu hipotezi destekler sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin Marschner ve ark., (1987), Zn noksanlığına sahip pamuk bitkisi Zn'lu bitkiye göre, 3.3 kez aminoasit ve 2.6 kez karbonhidrat daha fazla sızdırdığını ve ayrıca kök salgılarının elektriksel geçirgenliğinin 3 kat daha fazla olduğunu saptamıştır.

2.2.1.2.(4). Oksin Metabolizması

Skoog (1940), domates Zn strasi altındayken IAA düzeylerinin aldığını ilk olarak bildirmiştir. Çinko ilavesi IAA düzeyinde ve büyümede bir artışa neden olmuştur. Sonuçlar Zn'nun oksinin aktif bir şekilde devamlılığı için zorunlu olduğunu ve oksidasyon artışıyla IAA seviyelerinin azalmasına neden olduğunu

düşünmüştür. Bu görüş turpun yeşil aksamında IAA'in oksidatif bir ürünü olduğu varsayılan indol karboksilik asit varlığıyla desteklenmiştir (Domingo ve ark., 1990). Fujiwara ve Tsutsumi (1954) Zn noksanlığındaki arpa köklerinde IAA oksidasyonunun kontrol bitkilerinden (Zn'lu) oldukça fazla olduğunu bildirmişleridir. Aynı şekilde arpada Tsui (1948) Skoog'sun görüşlerini desteklemiş ayrıca IAA seviyelerindeki azalmanın IAA'in biyosentezinde gerekli olan triptofanın sentezindeki azalmadan kaynaklandığını bulmuştur. Bu sonuçtan dolayı Zn'ya triptofanın sentezi için doğrudan ve IAA sentezi için de dolaylı olarak gereksinim duyulduğu bildirmiştir. Bu bulgu Salami ve Kenefick (1970) tarafından desteklenmiş ve söz konusu çalışmada Zn içermeyen bir besin çözeltisine Zn ya da L-triptofan ilave edildiğinde mısırdaki Zn noksanlık belirtilerinin giderildiği saptanmıştır. Ayrıca indol ve serinden triptofanın sentezini gerçekleştiren triptofan sentaz enziminin maksimum aktivitesi için Zn'ya gereksinim duyulduğu saptanmıştır (Klein ve ark., 1962).

Triptofanın sentezinde Zn'nun rolü olduğu görüşüne karşı görüşler de giderek artmaktadır. Takaki ve Kushizaki (1970, 1976) noksanlığın şiddetli olmasından dolayı Zn noksanlığındaki mısır ve domateste serbest amino asit seviyelerinde artış olduğunu bulmuşlardır. Çinko noksanlığı belirtilerini şiddetli olduğunda serbest triptofan içeriği artmıştır. Bu mısır bitkisinde triptofan için de geçerli olmuştur. Bu sonuçlar yulaf ve arpada (Takaki ve Arita, 1985; 1986) ve fasulyede (Çakmak ve ark., 1989) yapılan çalışmalarda da desteklenmiştir. Triptofanın ve triptamin birikimi Fe, Cu, Mn ve B eksikliğinde bitkilerde gözlenmemiştir. Araştırmacılar Zn noksanlığındaki bitkilerde IAA düzeyindeki azalmanın triptofan sentezindeki kötüleşmeden değil triptofanın IAA'e dönüşümünün spesifik olarak gerilemesinden kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Bu nedenle triptofandan IAA'in sentezi için Zn'ya gereksinim duyulmaktadır.

Bu bileşiklerin elde etmede kullanılan metodolojilerde bir farklılık olsa da triptofan seviyelerindeki bu çelişkinin nedeni bilinmemektedir (Çakmak ve ark., 1989). Çinko noksanlığındaki dokularda triptofan ve diğer amino asitlerin konsantrasyonunun artması triptofanın IAA'e dönüşümünün engellenmesinde değil, olasılıkla protein sentezindeki gerilemenin bir sonucu olarak kabul edilmiştir (Çakmak ve ark., 1989). Çinko noksanlığındaki bitkilerde *in vitro*'da gösterildiği

gibi, düşük IAA konsantrasyonları oksijen radikalleri özellikle hidroksi radikali tarafından IAA'in oksidatif parçalanmasının artmasının bir sonucudur (Cakmak, 1988b). Bu bulgu Skoog (1940) ve Domingo ve ark. (1990) tarafından elde edilen bulguları desteklemiştir.

Buna karşılık Law (1987) göre IAA, L-triptofandan değil D-triptofandan sentezlenir ayrıca, L'den D'ye dönüşüm oranı gibberillinle artmaktadır. Söz konusu edilen denemedeki ne gibberillinin belirlenmesinde ne de D veya L formlarının arasında bir fark yoktur. Bu nedenle Zn ve indol bileşikler arasında nedensel bir ilişki belirlenmemiştir. Shkolnik ve ark (1975) gibberilin ve benzeri maddeler Zn eksikliğindeki fasulye yapraklarında azaldığını saptamışlardır. Bu gibberilin azalması Suge ve ark. (1986) tarafından arpada, mısırdaki ve yulafta yapılan çalışmalarda da bulunmuştur. Çinko eksikliğindeki bitkilere Zn verilmesi yalnızca bitki büyümesinde değil aynı zamanda gibberilin ve benzeri bileşiklerin düzeyinde de artışa yol açmıştır. Gibberilic asit triptofan ve triptaminin IAA'e dönüşümünü arttırdığı için (Muir ve Lantican, 1968), Suge ve ark. (1986) IAA'ten ziyade Zn noksanlığında gibberilic asitin ilk etkilenen madde olduğunu belirtmişlerdir.

2.2.1.2.(5). Genaratif Verim Üzerine Etkisi

Çinko noksanlığında fasulye, bezelye ve diğer bitkilerde çiçeklenmede ve tane veriminde önemli azalmaların olduğu bilinmektedir (Reed 1941; Hu ve Sparks, 1990). Besin çözeltilisinde Riceman ve Jones (1959), beslenme ortamına Zn ilavesinin yer altı üçgölünde bitkinin yeşil aksam kuru madde verimi üzerinde hafif bir etkisinin olduğunu buna karşılık aynı koşulda dane veriminin belirgin şekilde arttığını saptamışlardır. Bu artışın, çiçeklenme ve tane sayısındaki artıştan kaynaklandığı bildirilmiştir. Çinko uygulamasıyla bir tane ağırlığının değişmemesi, Zn'nun tanenin büyümesinden çok tanenin oluşumu üzerinde bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Çinko noksanlığında bitkilerde dane verimindeki azalmanın nedenleri olarak yaprak ve tomurcukların kaybına neden olan absisik asit konsantrasyonunun artması ve tanelerdeki anther ve polenlerin gelişiminin ve fizyolojisinin engellenmesi

gösterilmiştir. Çinko eksikliğindeki buğdayın küçük antherli ve normal olmayan polenli tanelere sahip olduğu bildirilmiştir (Sharma ve ark., 1979).

2.2.2. Bitkilerce Çinko Alım Mekanizması

Çinko toprak çözeltisinden öncelikle bitki köküyle Zn^{+2} şeklinde absorbe edildiği kabul edilir ve alımında Zn'ya afinitisi yüksek bir protein aracılık eder. Plazma membrandan Zn taşınması büyük bir negatif elektriksel potansiyele doğrudur ve bu işlem termodinamiksel olarak pasif bir süreçtir Kocihan (1993). Plasma membrandaki bu negatif elektriksel potansiyel, buğdaygillerden başka dikotiledon ve monokotiledonlardaki iki değerlikli iyon kanallarında Zn için yönlendirici bir kuvvettir. Kochian (1993), protein olmayan aminoasit olarak tanımlanan fitosideroforlar veya fitometaloforların Zn ile kompleks oluşturduklarını ve kök dışına taşındıklarını bildirmiştir. Bu fitosideroforlar bitki Fe ve Zn eksikliğindeyken sentezlenirler. Bu Fe veya Zn kompleksi daha sonra taşıyıcı bir protein aracılığıyla hücreye taşınır.

Nambiar (1976) bitkiler kuru bir topraktan (matriks potansiyel -1.5 Mpa) sızan mucilage aracılığıyla Zn alabileceğini göstermiş ve ancak bu alım düzeyi ıslak bir topraktan alınan Zn'nun yalnızca % 40 kadarı olduğunu belirlemiştir.

Yüksek pH'larda Zn, Zn^{+2} veya $Zn(OH)_2$ şeklinde alınır. Toprakta düşük Zn konsantrasyonunun bir sonucu olarak, Zn alımı doğrudan kök temasıyla gerçekleşir ve alım metabolik olarak kontrol edilmiştir.

Çinko ile diğer mikro besin elementleri arasında alım açısından bir rekabet sözkonusudur. Örneğin Zn ve bakır her ikisi de birbirlerinin alımını geriletir ve her ikisinin absorpsiyonunda aynı taşıyıcı yerleri kullanılır. Çinko noksanlığında çeltikte Cd absorpsiyonunun da arttığı saptanmıştır. Ancak Zn'nun havalı yerlere taşınma boyutu Cd'dan daha büyük olmuştur. Su altında kalmış topraklara Zn ilavesi DTPA'da ekstrakte edilebilir Mn konsantrasyonunu arttırmış buna karşılık Cu, Fe ve P'un alımını ve taşınımını geriletmiştir (Neue ve ark., 1998).

Çinko bitkide ya Zn^{+2} iyonu ya da organik asitlere bağlı olarak taşınır. Kök dokularında Zn birikmesine karşın gereksinim duyulması durumunda yeşil aksama taşınır. Çinko yaşlı yapraklardan büyüyen yerlere kısmen taşınır. Çeltikte Mn uygulaması köklerden Zn'nun taşınımını arttırmıştır. Chaudry ve Loneragan (1972) toprak alkali elementlerin bitkilerce Zn alımını geriletmesi $Mg^{+2} > Ba^{+2} > Sr^{+2} = Ca^{+2}$ şeklinde olduğunu bildirmişlerdir.

2.2.3. Tahıl Türlerinin Çinko Noksanlığına Karşı Duyarlılığı

Çinko noksanlığına karşı tahıl türlerinin ve aynı türün çeşitleri arasında önemli farklılıkların olduğu bulunmuştur. Yeşil aksamdaki semptomların şiddetine ve kuru madde veya dane verimindeki azalmaya göre, tahıl türlerinin Zn noksanlığına karşı dayanıklılığının çavdar > tritikale > arpa > ekmeçlik buğday > yulaf > makarnalık buğday şeklinde arttığı belirlenmiştir (Çakmak ve Ark., 1997a, 1998; Ekiz ve ark., 1998). Çinkoca fakir toprakta, sera ve tarlada yapılan denemelerde, Zn noksanlığından çavdar ve tritikale çok hafif etkilendiği buna karşılık makarnalık buğday ve yulafın ise belirgin ölçüde etkilendiği saptanmıştır (Çakmak ve ark., 1998).

Çinko noksanlığına dayanıklı (Zn-etkin) buğday çeşitlerini ıslah etmede çavdarın yanı sıra yabancı buğdaylar da önemli bir genetik kaynak olarak kullanılabilir. Yabancı ve ilkel buğdayların genelde sıcaklık (Waines, 1994) ve tuz (Gorham, 1990) gibi abiyotik stres faktörlerine karşı önemli genetik farklılıklara sahip oldukları bildirilmiştir. Yabancı buğdaylar içinde *Aegilops* türlerinin Zn noksanlığına karşı büyük bir varyasyon gösterdiği belirlenmiştir (Çakmak ve ark., 1999b). *Aegilops* türleri içinde özellikle DD (*Aegilops tauschii*), SS (*Aegilops speltoides*) ve UGCC (*Aegilops triuncialis*) genomlarına sahip olanların Zn noksanlığına karşı yüksek dayanıklılık gösterdiği bulunmuştur (Çakmak ve ark., 1999b). Bu yabancı buğday türleri, modern (kültürü yapılan) buğdaylar için Zn etkinliğini arttırmada önemli bir gen kaynağı olarak kullanılabilir.

2.2.3.1. Buğdaylarda Çinko Eksikliğine Karşı Genotipsel Farklılıklar

Tahıl türleri arasında Zn noksanlığına karşı genotipsel farklılığı ortaya koymak için hem sera hem de tarla koşullarında en çok çalışılan tür buğday olmuştur (Graham ve Ark., 1992; Çakmak ve Ark., 1998, 1999a; Rengel ve Römheld, 2000a). Orta Anadolu bölgesinde yaygın olarak kullanılan 40 çeşitle sera ve tarlada paralel yürütülen denemelerde, Kalaycı ve ark. (1999), buğday çeşitlerinin Zn etkinlik değerinin tarlada dane verimi için % 57 ile % 92, serada yeşil aksam kuru madde verimi için % 47 ile % 83 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Kalaycı ve ark. (1999) ayrıca, sulu koşullar için geliştirilen çeşitlerin kuru koşullar için geliştirilen çeşitlere göre, Zn noksanlığına daha duyarlı olduğunu bulmuşlardır. Bu bulgu, bitkilerin kuraklığa karşı duyarlılığının Zn noksanlığı altında artabildiğini veya çeşitlerin Zn noksanlığına duyarlılığının kuraklık stresiyle birlikte artabildiğini göstermektedir (Çakmak, 2000). Ekiz ve ark. (1998) da sulu koşullara göre, kurak koşullarda yetiştirilen tahıl türleri ve çeşitlerinin Zn noksanlığına daha duyarlı olduğunu saptamışlardır.

Bir çeşidin yüksek Zn etkinliğine sahip olması o çeşidin yüksek bir biomas veya dane verimine de sahip olduğu anlamına gelmemelidir. Tarlada (Graham ve ark., 1992; Kalaycı ve ark., 1999) ve serada (Çakmak ve ark., 1999c) yapılan denemelerde genetiksel olarak yavaş büyüyen veya fenotipik olarak küçük olan genotiplerin daha düşük bir büyüme oranına (daha düşük Zn gereksinimi) ve sonuçta da daha yüksek bir Zn etkinliğine sahip olabildiği bildirilmiştir. Buna karşılık daha büyük büyüme oranına sahip genotipler (daha fazla Zn gereksinimi) Zn noksanlığından dolayı büyümede azalmalara ve sonuçta daha düşük bir Zn etkinliğine sahip olmaktadır. Bu nedenle, düşük büyüme performansı ve daha düşük verim kapasitesine sahip olmalarından dolayı yabancı buğday türlerinin besin elementi noksanlığına karşı etkinlik değerleri kültürü yapılan buğday türlerinden daha büyük olduğu saptanmıştır (Marschner, 1995; Çakmak ve ark., 1999c). Gerloff ve Gabelman (1983) ve Gourley ve ark., (1994) herhangi bir element eksikliğine karşı, çeşitlerin etkinliğini güvenli bir şekilde belirlemek için denemede test edilen

genotiplerin yeterli düzeyde besin elementi içeren ortamdaki verimlerinin birbirlerine yakın olmasını önermişlerdir.

Yeterli Zn içeren bir ortamda benzer büyüme oranına sahip genotiplerin, Zn noksanlığı altındaki yeşil aksam kuru madde veriminin, Zn etkinliği yüksek olan genotiplerin seçimi için kesin güvenilir bir parametre olabildiği bildirilmiştir. Bu bulguyu destekler bir çok çalışma yapılmıştır. Son yıllarda, Torun ve ark. (2000), Zn noksanlığında Zn etkinliği yüksek genotiplerin Zn etkinliği düşük olan genotiplere göre, daha fazla kuru madde üretime sahip olduğunu bulmuşlardır. Bu bulguya karşılık, Zn'lu koşullarda ise Zn noksanlığına duyarlı genotipler daha fazla kuru madde verimine sahip olmuşlardır. Bu sonuçlar Zn etkinliği düşük olan genotiplerin Zn noksanlığı koşullarında daha düşük verime sahip olmaları genetiksel olarak daha düşük büyüme oranına sahip olmalarından değil gerçekten de Zn noksanlık stresinden kaynaklandığını göstermektedir. Sonuç olarak 164 ekmeklik buğdayla yapılan çalışmada genotiplerin Zn etkinlik değeri ile Zn noksanlığı altındaki kuru madde verimleri arasında oldukça yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Benzer şekilde, Rengel ve Römheld (2000a) 10 genotiplik bir buğday seti ile yaptıkları çalışmada, Zn etkinliği yüksek olan bir genotipin seçiminde o genotipin Zn noksanlığı altındaki yeşil aksam kuru madde veriminin güvenli bir şekilde kullanılabileceğini bulmuşlardır.

2.2.4. Tahılların Çinko Etkinliğinde Belirleyici Fizyolojik Mekanizmaları

Tahıllarda Zn noksanlığına dayanıklılıkta belirleyici olan bir çok fizyolojik ve morfolojik mekanizma çalışılmıştır. Bugüne kadar Zn noksanlığı koşullarında Zn-etkin çeşitlerin daha iyi büyümesini ve verim vermesini doğrudan açıklayabilen tek bir mekanizma bulunabilmiş değildir. Rengel'e (1999, 2001) göre, bir genotipin Zn noksanlığına karşı dayanıklılığında birden fazla mekanizma rol oynamaktadır. Son yıllarda, Rengel (2001) ve Çakmak (2001), genotiplerin Zn noksanlığına karşı dayanıklılığında belirleyici olan önemli fizyolojik ve morfolojik mekanizmaları tartışmışlardır. Sözkonusu araştırmacılar, çeşitlerin Zn etkinliğinde özellikle köklerin Zn alım ve kökten yeşil aksama taşıma kapasitesi, kökten Zn mobilize edici organik

bileşiklerin salgılanması (örneğin fitosidereforlar) ve Zn'nun içsel kullanımı gibi parametrelerin dikkate alınmasını önermişlerdir.

2.2.4.1. Fitosidereforların Salgılanması

Tahıllarda yüksek Zn etkinliğini belirlemede temel mekanizmalardan biri, Zn noksanlığı altında köklerden fitosiderefor salgılama oranının olduğu bulunmuştur (Zhang ve Ark., 1989; Çakmak ve ark., 1994; Hopkins ve ark., 1998; Rengel ve Römheld, 2000b; Tolay ve ark., 2001). Fitosidereforlar protein olmayan amino asitlerdir ve Fe ve Zn noksanlığında salgılanırlar ve kireçli topraklarda Zn'nun çözünürlüğünü ve hareketliliğini arttıırırlar (Treeby ve Ark., 1988; Marschner, 1995). Aşağıda belirtildiği gibi, fitosiderefor bitki içerisindeki Zn'nun taşınmasını ve içsel kullanımını da etkiler (Mori ve Ark., 1991; Welch, 1995).

Makarnalık ve ekmeklik buğdayların arasındaki Zn etkinlik farklılığının makarnalık buğdayların köklerden düşük fitosiderefor salgılama kapasitesiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Çakmak ve Ark., 1994; Walter ve Ark., 1994; Rengel ve Ark., 1998; Rengel ve Römheld, 2000b). Çinko noksanlığı altında, ekmeklik buğday çeşitlerin köklerde makarnalık buğday çeşitlerine göre daha fazla miktarlarda fitosiderefor içerdiği saptanmıştır.

Bu bulgulara karşılık, Zn noksanlığına karşı ekmeklik buğdaylar arasındaki dayanıklılık farkını açıklamada fitosiderefor salgılama oranının yetersiz kaldığı gösterilmiştir (Erenoğlu ve ark., 1996). Yüksek Zn etkinliğine sahip çavdar ve tritikale ile daha düşük Zn etkinliğine sahip ekmeklik buğday çeşitlerinin köklerinden hemen hemen benzer oranda fitosiderefor salgıma kapasitesine sahip oldukları bulunmuştur (Çakmak ve ark., 1998). Çinko noksanlığına oldukça dayanıklı olan *Triticum monococum* (AA), Zn noksanlığına oldukça duyarlı olan tetraploid buğdaylarla oldukça benzer fitosiderefor salgılama kapasitesine sahip olmuştur (Tolay ve ark., 2001). Bu nedenle köklerden salgılanan fitosiderefor oranının çeşitlerin Zn noksanlığına karşı dayanıklılığını açıklamada her zaman güvenilir bir parametre olarak göz önünde bulundurulmamalıdır.

2.2.4.2. Çinko Alımı ve Taşınımı

Çinko noksanlığına karşı görülen genotipsel farklılığın büyüme ortamından genotiplerin Zn alım kapasitesindeki farklılıkla ilişkili olabildiği bildirilmiştir. Makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylardan Zn noksanlığına daha duyarlı olması köklerin Zn alım oranındaki farklılıktan kaynaklandığı bulunmuştur. Çinko etkin ekmekliklerin Zn-etkin olmayan makarnalık buğdaylardan daha fazla Zn alım kapasitesine sahip olması; etkin çeşitlerin daha fazla kök yüzey alanına, daha fazla ince köke (<0.02 mm çapında) ve daha uzun köke sahip olmasına bağlanmıştır (Dong ve Ark., 1995; Rengel ve Wheal, 1997a, 1997b).

Çavdarın yüksek Zn etkinliğine sahip olması çavdarın daha yüksek Zn alım kapasitesine sahip olmasıyla ilişkili gözükmektedir. Etiketlenmiş Zn⁶⁵ ile besin çözeltisiyle yapılan bir denemede, Zn etkin olan çavdarın, Zn etkin olmayan makarnalık buğdayın ve Zn etkin ve etkin olmayan ekmeklik buğday çeşitlerinin Zn alım kapasitesi ve kökten yeşil aksama Zn taşıma kapasitesi araştırılmıştır (Erenoğlu ve ark., 1999). Çinkolu koşullarda tüm çeşitlerin Zn alımında ve kökten yeşil aksama Zn taşınmasında her hangi bir farklılık saptanmamıştır. Buna karşılık Zn'suz koşullarda önemli farklılıklar görülmüştür. Çavdar en yüksek Zn alım ve taşıma kapasitesine sahip iken makarnalık buğday en düşük alım ve taşınım kapasitesine sahip olmuştur. Bu bulgular çavdarın yüksek Zn etkinliğinin topraktan daha fazla Zn alma kapasitesiyle buna karşılık makarnalık buğdayın düşük Zn etkinliğinin ise topraktan daha az Zn alma kapasitesiyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar dışında, ekmeklik buğdayların farklı Zn etkinliklere sahip olması çeşitlerin Zn alım kapasiteleriyle ilişkili olmadığı bulunmuştur. Çinko etkin olan ve olmayan çeşitlerle yapılan Zn alım denemelerinde, Hacısalıhoğlu ve ark. (2001), yüksek ve düşük Zn konsantrasyon ortamında iki ayrı Zn taşınım sisteminin olduğunu göstermişlerdir. Düşük Zn konsantrasyonuna sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerde baskın Zn alım sisteminin yüksek afiniteli alım sistemi olduğu belirlenmiştir. Farklı Zn etkinliğine sahip ekmeklik buğday çeşitlerinin hem yüksek hem de düşük afiniteli Zn alım sisteminde Zn alımlarının birbirlerinden farklı olmadığı bulunmuştur. Bu sonuçlar Erenoğlu ve ark. (1999)'ca bulunan sonuçlarla

birlikte değerlendirildiğinde, ekmeklik buğdayların farklı Zn etkinliğine sahip olmaları genotiplerin Zn alım kapasitesiyle ilişkili olmadığını göstermektedir.

Triticum tauschii'den DD genomu veya *Triticum monococcum*'dan AA genomunun transferiyle makarnalık buğdayın Zn etkinliğinin artırılması yeşil aksamda Zn konsantrasyonunun artmasına neden olmamıştır (Çakmak ve ark., 1999c). Bu durum, genelde Zn etkin çeşitlerin büyüme ortamında daha fazla Zn alım kapasitesine sahip olduğu ancak alınan Zn'nun daha çok yeşil aksam büyümesinde kullanılmasından dolayı Zn etkin çeşitlerin yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonun seyreltiği ve sonuçta Zn etkinliği yüksek ve düşük olan çeşitlerin hemen hemen aynı düzeyde Zn'ya sahip olabildiği şeklinde açıklanmaktadır (Çakmak ve ark., 1998; 1999a).

2.2.4.3. İçsel Kullanım

Yapılan çalışmalarda Zn etkin ve etkin olmayan çeşitlerde yapraktaki veya yeşil aksamdaki birim ağırlık başına Zn miktarının birbirlerinden farklı olmaması, Zn etkin çeşitlerin dokularında fizyolojik aktif Zn konsantrasyonunun daha fazla miktarda olabileceğini göstermektedir. Rengel'e göre (1999), total Zn konsantrasyonu metabolik reaksiyonlarda kullanılan aktif Zn miktarını veya metabolik olmayan kaynaklardaki kompartizasyonu yansıtmamaktadır. Fizyolojik olarak kullanılabilen Zn miktarını saptamada Zn içeren enzimleri ölçmek doğru bir yaklaşım olabilir. Buğday çeşitlerin Zn-etkinliğini göstermede Cu/Zn-superoksit dismutaz (SOD) aktivitesi yapraktaki total konsantrasyondan daha büyük bir ilişki göstermiştir (Çakmak ve Ark., 1997b). Çinko noksanlığında oldukça yüksek bir Zn etkinliğine sahip olan çavdar ekmeklik ve makarnalık buğdaylarla kıyaslandığında en yüksek Cu/Zn-SOD aktivitesine sahip olduğu saptanmıştır.

Benzer olarak, Rengel (1995), Zn etkin ve etkin olmayan çeşitlerinin yapraktaki total Zn konsantrasyonlarının benzer olmasına rağmen, Zn etkin ekmeklik buğdayın yapraktaki karbonik anhidraz enzim aktivitesinin Zn etkinliği düşük olan makarnalık buğdaydan daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu bulgular Zn-etkin genotiplerin hücre düzeyinde daha iyi bir Zn kullanıma sahip olduğunu göstermektedir. Buna

karşılık Zn etkin çeşitle etkin olmayan çeşit arasında Cu/Zn-SOD aktivisinde genotipsel farklılıklar çok küçüktür ve % 20-25 dolayındadır (Çakmak ve Ark., 1997b) ve yüksek Zn etkinliğini belirlemede SOD aktivitesindeki küçük farklılıkların önemi gelecekte yapılacak denemelerde açıklanmalıdır.

2.2.5. Çinkonun Bitki Besin Elementleriyle Arasındaki İnteraksiyonlar

Çinko-Fosfor İnteraksiyonu

Yüksek fosfor uygulamaları bitkideki Zn noksanlığının en yaygın nedenlerinden biridir. Bu ilişki uzun yıllardır bilinmesine karşılık bu ilişki açıklayan mekanizma henüz tam anlaşılammıştır.

Marschner (1993), belirli bir düzeyden sonra yapılan fosforlu gübrelemeyle veya toprakta P içeriğindeki artışla bitki büyümesinde meydana gelecek artışların bitkideki Zn alımını ani bir şekilde azalttığını bildirmiştir. Bu koşullarda toprakta ekstrakte edilebilir Zn ya hiç yoktur ya da yüksek fosfor uygulamasıyla hafif azalmıştır. Tropikal asit topraklarda fosfordan kaynaklı Zn noksanlığının görülme riski fosfor gübrelemesiyle birlikte kireç uygulaması yapıldığında artar. Kireç uygulaması alüminyum toksisitesini önler ve bu şekilde kök büyümesi artar. Ancak, bu koşullarda bitki büyümesinde görülecek artışla uyumlu olarak bitki için gereksinilen Zn miktarı da artacak ve buna ilave olarak kireçlemeyle toprak çözeltisindeki Zn konsantrasyonunda da bir azalma olacaktır. Bu nedenle yüksek fosfor ve kireç uygulamalarının verimde herhangi bir azalmaya yol açmaması için Zn uygulamasının sözkonusu uygulamalarla birlikte yapılması yararlı olacaktır (Marschner, 1993).

Loneragan ve Webb (1993) Zn-P interaksiyonu iki farklı tipe ayırmışlardır.

- 1-) Yüksek fosfor uygulamasıyla yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunun azalması
- 2-) Yüksek fosfor uygulamasıyla yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunun azalmaması

En yaygın görülen Zn-P interaksiyon tipi madde 1'de belirtilen şekildedir. Bu daha çok toprakta fosfor ve Zn'nun her ikisinin de sınırlı olduğu koşulda ortaya çıktığı bildirilmiştir. Bu topraklara yapılacak fosforlu gübrelemeler bitkide

büyümeye neden olacak ancak büyümeyle birlikte dokudaki Zn seyrelmeye maruz kalarak bitkide Zn noksanlığının görülmesine yol açacaktır.

Buna karşılık yeşil aksamda seyrelme etkisi olmaksızın da fosfor uygulamasıyla Zn noksanlığı ortaya çıkabilir. Bu durumda yüksek P uygulaması ya bitki köklerinde Zn'nun absorpsiyonunu ya da köklerden yeşil aksamda Zn taşınmasını engeller.

Yüksek P uygulamasının Zn alımını engellemesiyle ilgili olası dört mekanizma bulunmaktadır.

- 1- Yüksek P uygulamasıyla vesiküler arbusküler mikorizanın (VAM) köklerde enfekte olma oranının azalması
- 2- Fosfat tuzlarıyla ilave edilen katyonlar çözüldükten Zn absorpsiyonunu azaltabilir
- 3- Fosfat tuzlarıyla ortaya çıkan H^+ çözüldükten Zn'nun alımını engelleyebilir
- 4- Fosfor topraktaki parçacıklara Zn'nun adsorpsiyonunu arttırabilir.

Bitkilerce P'un alımında VAM'ın rolü iyi bilinmektedir. Mikoriza etkinliği toprakla kökün temasını arttırarak yalnızca fosforun değil tüm elementlerin bitkilerce alımını arttırır. Bu nedenle P düzeyi fazla olduğunda, mikorizal enfeksiyon azalarak bitkide Zn^{+2} gibi besin elementlerinin alımında gerilemeler görülecektir. Bitkilerin çoğu mikorizal enfekte iken (dikotiledonlarda % 83 ve monokotiledonlarda % 79) ıspanakgiller ve turpgiller mikorizal enfeksiyon sözkonusu değildir. Diğer türlerde mikorizal enfeksiyon, besin elementince çok zengin koşullarda veya toprağın çok kuru, tuzlu, su altında ve strüktürünün olmadığı yerlerde gerçekleşemeyeceği bildirilmiştir.

Turpgiller familyası VAM ile enfekte olmadığı için bu bitkilerden sonra ekilen bitkilerde VAM enfeksiyonu düşük düzeyde olacaktır ve bu da Zn ve P'ca fakir topraklarda yetişen bitkilerde P ve Zn noksanlığına neden olacaktır.

Tahıllar ve buğdaygiller gibi ince dallanmış kök sistemlerine sahip bitkilerde VAM enfeksiyonu ile fazlaca besin maddesi alınması genelde fazla beklenmez. Buna karşılık nispeten kaba köklü, zayıf dallanmış kök sistemlerine ve az kök tüylerine

sahip baklagiller gibi bitkiler VAM enfeksiyonu ile önemli miktarda besin maddesi absorbe edilebilir.

Avustralya'da, keten gibi bitkilerde, VAM önemli miktarda P ve Zn alımına yol açtığı bulunmuştur. VAM inkolumundaki bir azalma bitkide zayıf bir P ve Zn beslenmesine neden olduğu ve bu bitkiden sonraki bitkinin büyümesini de geriletmediği bildirilmiştir. Düşük VAM enfeksiyonu aynı zamanda şiddetli kuraklık ve yüksek düzeyde çözünür fosforlu gübre uygulamasından da kaynaklanabilir.

Mekanizma 2 ve 3 toprak koşullarında geçerliliği yoktur. Söz konusu mekanizmalar besin çözeltisi ortamında geçerlidir. Mekanizma 4 ise Zn'nun adsorpsiyonuna neden olabilen bir çok prosesi içine alır ve Fe ve Al hidroksitleri ile topraktaki pH değişimlerini kapsar.

Fosfor uygulamalarının doğrudan Zn'nun alımını engellediğini kanıtlamak çok zordur. Loneragan ve Webb (1993), bu konuyla ilgili denemelerin ayrıntılı ve sistematik bir planlamasının olmamasından dolayı bir çok araştırmacının elde ettiği bulguların tamamen doğru olarak kabul edebilir olmadığını savunmuşlardır. Fosforun bitkide Zn'nun hareketliliğini ve alınabilirliğini etkileyebileceğiyle ilgili olası bir çok mekanizma bulunmaktadır. Bunlar;

- Ü Çinkonun köklerden yeşil aksama taşınmasının engellenmesi
- Ü Çözünür Zn miktarındaki azalma
- Ü Fitat gibi P'lu bileşiklerin Zn'yu bağlaması
- Ü Memranlardan P'un dışarıya sızması

Aşırı P uygulamalarıyla Zn'nun köklerden yeşil aksama taşınımının engellenmesiyle ilgili sav, Loneragan ve Webb (1993) tarafından deneysel sonuçlara değil gözlemlere dayandırılmıştır. Buna karşılık bir çok bitki türünde yüksek Zn düzeyinde P, Zn-fitat oluşumuyla köklerdeki Zn'yu immobilize edebilir. Ancak bu Zn noksanlığına yol açmaz.

Fosfor uygulamasının, Zn konsantrasyonunda bir azalma olmaksızın Zn noksanlığı belirtilerinin ortaya çıkarttığı durumlarda, bitkideki P konsantrasyonunun artması bitkinin içsel Zn gereksiniminin artmasına neden olduğu gözlenmiştir.

Buna karşılık bazı fosfor uygulamalarında bitkide Zn konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Bu durumlar genelde bitki kök bölgesindeki asitleşmenin arttığı, Zn içeriği yüksek olan süperfosfat gibi ticari gübrelere kullanıldığı ve bu gübrelerdeki yüksek sülfatın toprağı asitleştirdiği zamanlarda görülebilmektedir.

Bir çok araştırmacı Zn noksanlığının teşhisinde bitkideki fosfor/çinko (P/Zn) oranını kullanmış ancak çok fazla kabul edilen bir parametre olmamıştır. Bu oran bir çok bitki türünde ve farklı çevre koşullarında değişkenlik göstermektedir. Marschner ve Schropp (1977), toprakta asma yapraklarında P/Zn oranını 150 civarında olduğunu buna karşılık besin çözeltilisinde aynı değerin 1000 civarında olduğunu bulmuşlardır.

Çinko noksanlığının yeşil aksamdaki P toksisitesini arttırdığı yaygın bir kabul görmüştür. Bu bulgu yer altı üçgülünde, patatesten, bamyada, pamukta ve buğdayda gösterilmiştir (Loneragan ve Webb, 1993). Sözkonusu koşullardaki bitkilerde P konsantrasyonu ile simptomlar arasında bir ilişki olmasına karşılık aynı ilişkinin Zn konsantrasyonu için olmadığı görülmüştür.

Düşük Zn içeren koşullarda yüksek düzeyde P konsantrasyon birikimi Zn gereksinimini arttırdığı ve buna “yüksek P’un Zn gereksinimini arttırma sendromu” da denir. Bazı bitkiler patates, banya ve pamukta düşük Zn ile yüksek P düzeyleri bitkilerde fosforun alımını arttırarak P toksisitesine yol açtığı saptanmıştır. Bu durum fosfatın tercihan yapraklarda birikmesine ve yaprakların dışındaki fosfat taşınmasının düşük olmasına bağlanmıştır. Buna karşılık buğdayda ana etkinin, P taşınımının engellenmesiyle yaşlı yapraklarda fosfor birikiminin olduğu görülmektedir (Loneragan ve Webb, 1993).

Çeltikte, fosfat uygulaması gübreye uygulanan Zn’den çok, topraktaki doğal Zn alınabilirliğini azaltmıştır. Ayrıca aynı koşullarda toprakta organik metal-fosfat komplekslerinin oluştuğı bulunmuştur (Neue ve Marmaril, 1985).

Yüksek Fosforla Bitkideki Zn'nun İnaktivasyonu

Loneragan ve Webb (1993), P toksisitesiyle ortaya çıkan Zn noksanlığıyla ilgili olarak öncelikli mekanizma bitkilerde yüksek fosforun Zn'nun çökmesine neden olması göstermişlerdir.

Pamukta yüksek P uygulaması yapraklarda Zn noksanlığı belirtilerinin artmasına yol açarken total Zn konsantrasyonu üzerinde herhangi bir azalmaya yol açmadığı saptanmıştır. Buna karşılık bitki dokularında su ile yapılan ekstraksiyonla elde edilen Zn konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir (Cakmak ve Marschner, 1987). Tüm Zn dozlarında artan P uygulamaları yaprakta, saptta ve kökte su ile ekstrakte edilen Zn konsantrasyonunu % 60 ile % 30 arasında azalttığı bulunmuştur. Bu ekstraksiyon ile elde edilen Zn konsantrasyonlarıyla bitkideki Zn belirtileri ile klorofil düzeyi, süperoksit dismutaz (SOD) ve membran geçirgenliği arasında önemli ilişkiler saptanmıştır.

Loneragan ve Webb (1993), P'un Zn gereksinimini arttırması yalnızca kum ve su kültüründe yüksek düzeyde P uygulandığı koşullarda ortaya çıkan bir durum olduğu ve sözkonusu durumun P'un düşük düzeyde olduğu topraklarda ise geçerli olmadığını gözlemlemişlerdir. Çinko noksanlığından kaynaklı bitkide çok yüksek P konsantrasyonlarının görülmesi çok sık görülen bir durum değildir. Bu nedenle yüksek P'un Zn gereksinimini arttırması yalnızca sera denemeleri için geçerlidir ve bitkisel üretimde önemi düşüktür.

Huang ve ark (2000), yüksek P'un Zn noksanlığına neden olduğuyla ilgili bir başka yaklaşım ortaya koymuşlardır. Bu görüşe göre Zn sinyal göndererek P'un alımında anahtar bir rol üstlenmektedir.

Çinko-Azot İnteraksiyonu

Azot bitki büyümesini arttırması ve kök bölgesindeki (rizosferde) pH değişimleriyle bitkinin Zn'la beslenme düzeyini etkilemektedir. Bir çok toprakta N büyüme ve verimi sınırlayan temel faktördür. Bu nedenle N ve Zn uygulamalarının birlikte verimi iyileştirmeleri sürpriz değildir. Örneğin bitkiler çoğunlukla N ve Zn'ya birlikte tepki verirken Zn tek uygulandığında bu tepkiyi

veremeyebildiği bildirilmiştir. Çinko verilmediğinde uygulanan N, bitki büyümesini attırarak dokulardaki Zn'nun eksikliğine neden olabilir. Bununla birlikte diğer mikro elementler örneğin Cu toprakta düşükse N uygulamaları bir başka negatif interaksyona yol açabilir. Bitki büyümesi N uygulamasıyla artacağı için Zn'da olduğu gibi Cu da dokularda seyrelir. Bu seyrelme Zn ilavesiyle daha da şiddetlenebilir (Kirk ve Bajita, 1995).

Amonyum sülfat gibi N'lu gübrler, toprakta belirgin bir asidik etkiye sahiptirler ve yüksek pH'ya sahip topraklarda bu gübreler Zn'nun toprakta alınabilirliğini arttırırlar. Buna karşılık kalsiyum nitratlı gübreler rizosfer toprak pH'sını arttırabilir ve Zn'nun alınabilirliğini azaltabilirler.

Diğer Makro Elementlerle Zn'nun İnteraksiyonu

Kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum gibi elementler su kültürü denemelerinde bitkilerce Zn alımını engelledikleri bilinmektedir. Buna karşılık topraktaki etkileşimleri elementlerin toprak pH'sı üzerindeki etkilerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin jibs (CaSO_4) uygulamaları toprak pH'sını 5.8'den 4.6 düşürmüş ve bitkilerin Zn içeriğini arttırmıştır. Buna karşılık jibs uygulamasındaki Ca miktarı dikkate alınarak verilen CaCO_3 uygulamasında toprak pH'sı 5.7'den 6.6'ya çıkmış ve bitkinin Zn içeriği azalmıştır.

Düşük Ca'lu çözeltilerde K ve Mg uygulamaları bitkide Zn alımını engellemiş ancak Ca konsantrasyonunu arttırmıştır. Çeltikte, kuru dönemde K ve Zn uygulamalarına bitki büyümesi ve verimi açısından tepki verildiği buna karşılık sulu dönemde yalnızca K uygulamasına tepki verildiği bulunmuştur.

Fransa'da alüviyal kireçli topraklarda, tüm K uygulamalarında artan Zn uygulamalarına mısırda önemli düzeyde tepki verildiği bulunmuştur (Ramon ve Villemin, 1989). Potasyum ve Zn arasındaki olası interaksiyon K eksikliğindeki bitki köklerindeki plasma membraldaki sızıntıyla ilişkilidir.

*Mikro Elementlerle Zn İnteraksiyonu**Zn-Cu İnteraksiyonu*

1) absorpsiyonun rekabetten dolayı engellenmesi (absorpsiyon sırasında kökte aynı yeri paylaşırlar

ii) Cu beslenmesi bitki içindeki Zn dağılımını ve taşınımını etkiler.

Her iki elementin toprakta düşük olduğu durumda yapılacak bir element uygulaması diğer elementin alımını sınırlayacaktır. Bakırca iyi beslenmiş bitkilere göre Cu'la eksik beslenmiş bitkilerde en yaşlı yaprakların ölümü ve bu yapraklardan N, Cu ve Zn'nun taşınması durmuştur.

Zn-Fe İnteraksiyonu

Çinko ve Fe interaksiyonu tıpkı Zn-P interaksiyonu gibi kompleks görüldüğü bildirilmiş ancak Zn-P interaksiyonu kadar çok fazla ilgi gösterilmemiştir. Çinkonun uygulanmasıyla bitkide Fe beslenme durumunun iyileştiği, kötüleştiği ve değişmediği ilgili bulgular elde edilmiştir (Loneragan ve Webb, 1993).

Besin çözeltilisinde düşük düzeylerde (10 µM Fe) bulunan Fe'in buğdayda Zn absorpsiyonu üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Buna karşılık besin çözeltilisinde yüksek Fe konsantrasyonlarının (100 µM Fe) kullanıldığı yerlerde Fe, 0.05 µM ZnCl₂ ve Ca içermeyen bir ortamda çeltiğin Zn'nun absorpsiyonunu oldukça azaltmıştır.

Demir noksanlığı altındaki bitkilerde Zn absorpsiyonu ve yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonu önemli miktarda artmıştır. Bu artış dikotilodeonlarda Fe noksanlığında Strateji I bitkilerinin rizosfer pH'sını asidik yapmalarıyla ilişkili olabilir. Tahıllarda ise Strateji II bitkilerin Fe noksanlığı altında salgıladıkları fitosideroforların kireçli bir topraktaki Zn'yu şelatlamasından kaynaklanabilir. Bununla birlikte fitosideroforların Fe absorpsiyonundaki kadar kökte Zn absorpsiyonunu arttırmadığı belirlenmiştir. Bu bulgular Fe'in Zn absorpsiyonu üzerinde dolaylı bir etkisinin de olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çinko eksikliğinde hem Strateji I hem de Strateji II bitkilerinde yeşil aksamdaki Fe konsantrasyonunu arttığı görülmüştür. Bu olasılıkla rizosfer

pH'sındaki asitleşme ve köklerden salgılanan reduktantlar ve fitosideroforlarla ilişkilidir.

Hem Zn hem de Fe eksikliğinde NO_3^{-1} -N içeren besin çözeltilerinde asitlik oluştuğu ve bunun da köklerden indirgen bileşiklerin ve diğer salgıların salgılanmasından kaynaklanmış olabileceği bildirilmiştir.

Beyaz fasulyede Brown (1979), Fe^{+3} 'ün Fe^{+2} 'ye indirgenmesinin Zn noksanlığıyla artışı ve etkinin boyutu Zn etkin çeşitlerden çok Zn'ya duyarlı çeşitlerde daha büyük olduğunu saptamışlardır. Daha sonra yapılan çalışmalarda da bu bulguyu destekler sonuçlar elde edilmiş ve Zn eksikliğine duyarlı fasulye çeşitlerinde köklerden daha fazla miktarda indirgen karakterli bileşikler salgılandığı bulunmuştur.

Çinkoca yeterli beslenen bitkilere göre Zn noksanlığı altındaki bitkilerin kök salgıları Fe^{+2} oksitten daha çok Fe'i mobilize etme yeteneğinde oldukları görülmüştür.

Su altında yetiştirilen çeltikte aşırı Mn ve Fe konsantrasyonlarının bitkinin Zn alımını azalttığı ve çeltikte Zn noksanlığını arttırdığı bildirilmiştir.

Çinko noksanlığı altındaki bitkilerin membran geçirgenliği ve bütünlüğü bozulduğu için bu koşullardaki bitkilerde P'da olduğu gibi B konsantrasyonunda artış olduğu saptanmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1 Sera Denemelerinde Kullanılan Topraklar

Denemede Zn eksikliğine sahip Eskişehir-Sultanönü toprağı kullanılmıştır. Eskişehir- Sultanönü toprağına ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1. de verilmiştir. Toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu Çizelge 3.1. de görüldüğü üzere uluslararası düzeyde kabul gören kritik eksiklik sınırı olan 0.5 mg Zn kg⁻¹ (Lindsay ve Norvell, 1978) çok düşüktür.

Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Toprak	DTPA'da ekstrakte edilebilir				P ₂ O ₅ kg da ⁻¹	pH	Tuz	Or. Madde	Kireç	Tekstür		
	Zn	Fe	Mn	Cu						Kil	Silt	Kum
ESKİŞEHİR (Sultanönü)	0.16	2.6	6.5	1.7	2.49	8	0.1	0.69	14.9	61	31	8.8

3.1.2 Kullanılan Genotip

Denemede kullanılan çeşit Çukurova Bölgesinde kullanılan Seri-82 Ekmeklik buğday çeşididir..

3.2 Metod

3.2.1 Sera Denemelerinin Kurulması ve Yürütülmesi:

Deneme Çukurova üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü seralarında yürütülmüştür. Bitkiler 2.5 kg toprak içeren saksılarda yetiştirilmiştir. Sadece Seri-82 çeşidi kullanılmış olup bitkilere 4 değişik Zn [Zn: 0, 0.02, 0.1, 5 mg kg⁻¹ ZnSO₄.7H₂O formunda] ve 3 değişik N [N: 25, 75, 225 mg kg⁻¹ Ca(NO₃)₂ 4H₂O formunda] dozu uygulanmıştır. Tüm saksılara 1 kg toprak başına 100 mg P (KH₂PO₄) uygulanmıştır. Denemeler 4 paralelli yürütülmüştür. Saksılardaki toprakların tarla kapasitesinin %60-%70 olacak şekilde günlük sulama yapılmıştır.

Denemede 2 ayrı hasat yapılmıştır. İlk hasat ekimden 35 gün sonra ikinci hasat ise dane olum döneminin tamamlanmasıyla (110 günlük) yapılmıştır.

3.2.2 Toprak Analizleri

Tekstür

Kum, Silt ve Kil fraksiyonları Bouyocous hidrometresi kullanılarak saptanmıştır (Bouyocous 1952).

pH

Saturasyon çamurunda Beckman Zeromatik cam elektrod pH metresiyle ölçülmüştür (Jackson, M.L., 1959).

Kireç

Scheibler kalsimetresi kullanılarak yapılmıştır (Hızalan ve Ünal, 1966).

Total Tuz

Saturasyon çamuru hazırlanarak iyonların elektrik iletkenliğine göre Wheatstone köprüsü yöntemiyle kondaktivite aygıtında yapılmıştır (Sönmez ve Ayyıldız, 1964).

DTPA'da Ekstakte Edilebilir Mikroelementler

Alınabilir Zn, Fe, Mn ve Cu elementlerinin analizleri kireçli topraklar için gösterilen DTPA-TEA ekstraksiyon çözeltisiyle yapılmıştır (Lindsay ve Norvell, 1978).

3.2.3 Bitki Analizleri

İlk deneme tek çeşit ve 4 paralelli olarak kurulurken 35 gün boyunca yetiştirilmiş ve her çeşit için Zn eksiklikleri gözlenmiştir. Hasattan sonra bitkiler kuru madde belirlenmesi için 70 °C' de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler agar değirmeninde öğütüldükten sonra analize uygun hale getirilmiştir. Kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örneklerinden 200'er mg alınmış ve bunlar mikrodalga fırında H₂O₂ ve HNO₃ ile yaş yakma metodu ile yakılıp, ICP ile Zn ölçümü yapılmış ve ayrıca örneklerde Kjeldahl yöntemiyle total N ve standart kalorimetrik yöntemlerle de çözümlenir N (NO₃⁻, aminoasit) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ninhidrin kullanılarak gelişmiş kalorimetrik yöntemle aminoasit ölçümü yapılmıştır (Ya Pın Lee ve ark., 1966), salisilik asitin nitritleşmesi yoluyla bitkilerde kolorimetrik olarak nitrat tayini yapılmıştır(Catolda ve ark., 1975).

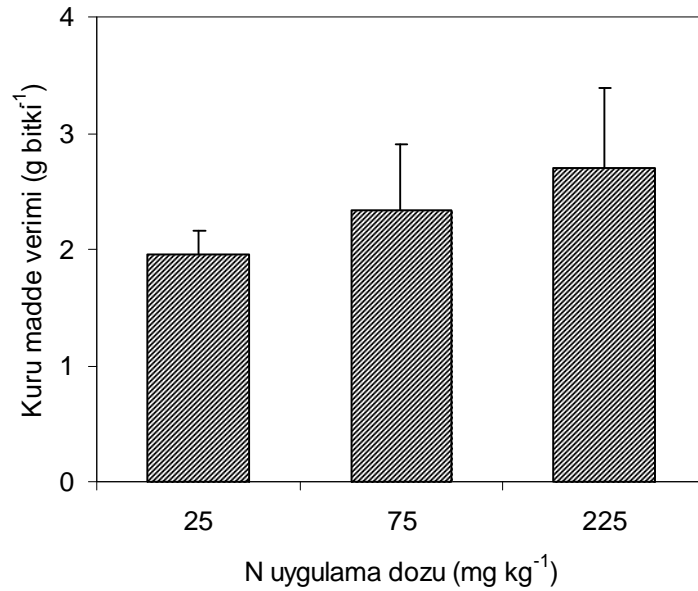
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının Seri-82 çeşidinin kuru madde ve dane verimi ile yeşil aksamdaki ve tanedeki toplam Zn ve N, amino asit ve NO₃⁻¹ konsantrasyonları üzerine olan etkisi sera koşullarında belirlenmiştir.

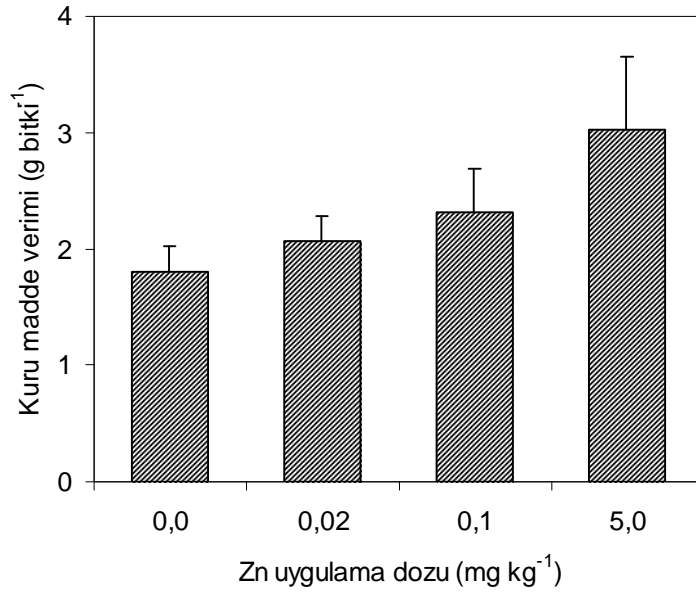
4.1.1. Yeşil Aksam ve Dane Verimi

Çinko uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan azot uygulamaları Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimini arttırmıştır. Örneğin 25 mg kg⁻¹ N dozunda, bitkinin kuru madde verimi 1.95 g bitki⁻¹ iken 75 ve 225 mg N kg⁻¹ dozlarında ise aynı değer sırasıyla 2.33 ve 2.70 g bitki⁻¹ olduğu saptanmıştır (Şekil 1). En düşük azot uygulamasına göre (25 mg kg⁻¹) 75 ve 225 mg N kg⁻¹ uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranlarının sırasıyla % 19.4 ve % 38.5 olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.1. Çinko uygulamaları dikkate almaksızın farklı azot (N) (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.

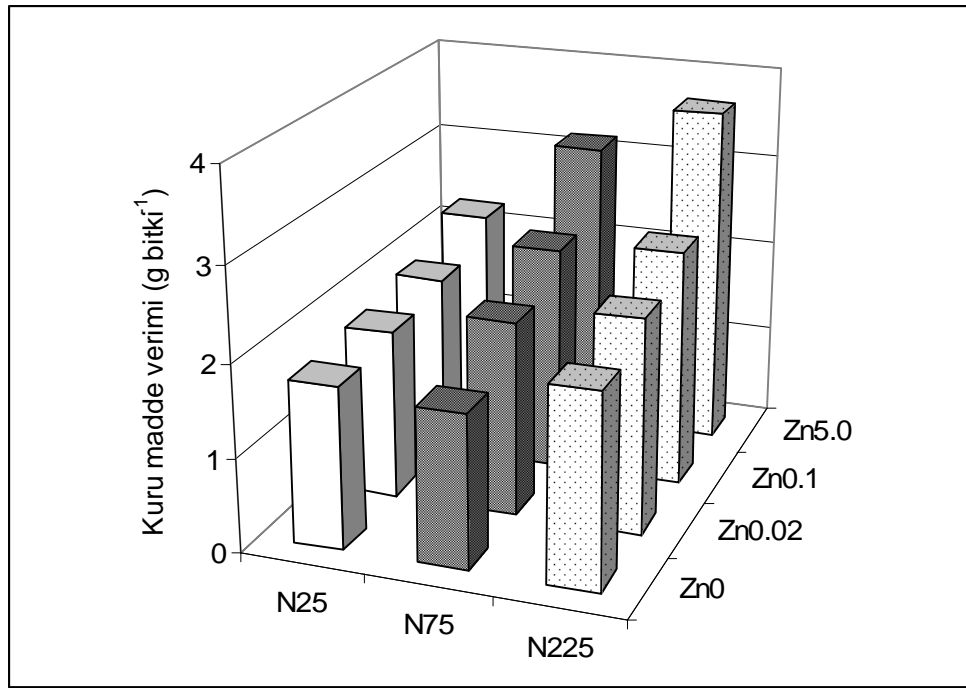
Azot uygulamaları dikkate almaksızın, Zn uygulamalarıyla Seri-82 çeşidinin yeşil kuru madde veriminin arttığı görülmüştür. Çinkonun toprağa 0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹ dozunda ilave edildiği uygulamalardaki kuru madde verimleri sırasıyla 1.81, 2.07, 2.31 ve 3.03 g bitki⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Kontrol uygulaması (0.0 mg Zn kg⁻¹) göre, Z uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları sırasıyla % 14.4, % 27.6 ve % 67.4 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Azot uygulamaları dikkate almaksızın farklı çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.

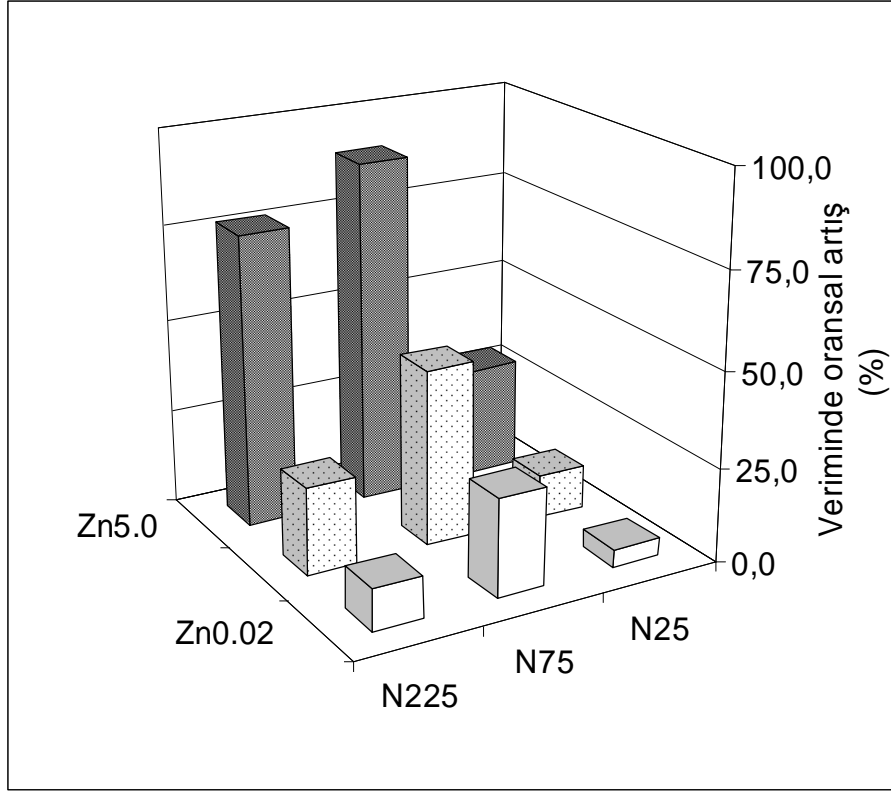
Çinko ve azot uygulamalarının yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi birlikte değerlendirildiğinde her iki uygulamanın etkisinin uygulanan dozlara göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Örneğin en düşük N dozunda (25 mg kg⁻¹) artan Zn (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) dozlarında, Seri-82 çeşidinin kuru madde verimi sırasıyla 1.74, 1.82, 1.94 ve 2.25 g bitki⁻¹ olduğu bulunmuştur (Şekil 3). Aynı N dozunda, en düşük Zn dozuna (kontrol) göre, sağlanan verim artışlarının sırasıyla %

4.6, % 11.5 ve % 29.3 olduğu saptanmıştır. Aynı değerlerin 75 mg kg⁻¹ N dozunda ise sırasıyla % 25.9, % 46.4 ve % 90.4 olduğu görülmüştür (Şekil 4). Çinko uygulamasıyla benzer artış oranları azotun 225 mg kg⁻¹ dozunda da elde edilmiştir (Şekil 4).



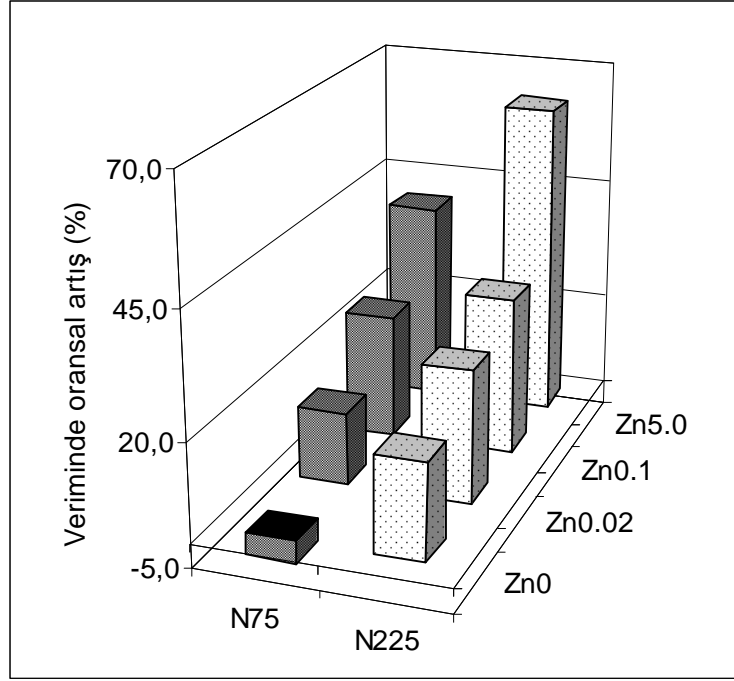
Şekil 4.3. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimine etkisi

Bitkinin Zn beslenme düzeyi iyileştikçe N uygulamalarıyla sağlanan kuru madde verim artış oranlarının da arttığı görülmüştür. Örneğin 0.02 mg kg⁻¹ Zn dozunda kontrol N uygulamasına göre, 75 ve 225 mg kg⁻¹ N uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranlarının sırasıyla % 14.8 ve % 26.9 olduğu belirlenmiştir. Aynı değerlerin 5.0 mg kg⁻¹ dozunda ise sırasıyla % 40.6 ve % 63.6 olduğu bulunmuştur (Şekil 5).

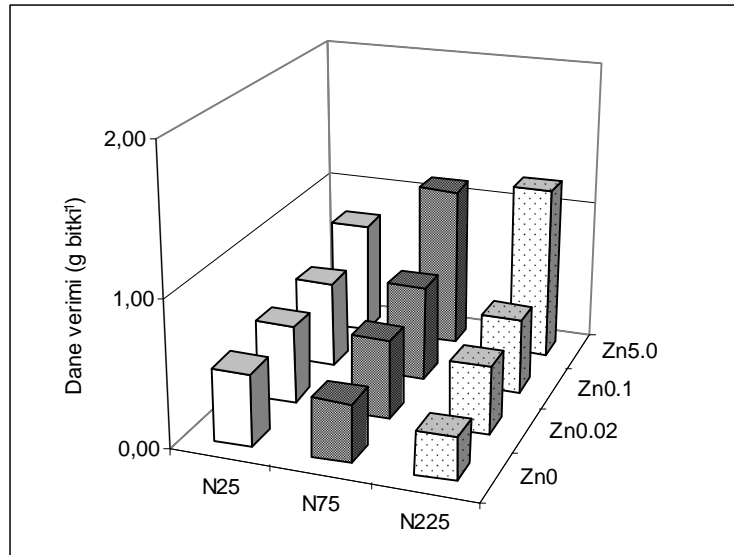


Şekil 4.4. Farklı azot (N) uygulamaları (N25= 25 mg N kg⁻¹, N75= 75 mg N kg⁻¹ ve N225= 225 mg N kg⁻¹) altında kontrol Zn uygulamasına (0.0 mg Zn kg⁻¹) göre 0.02 (Zn0.02), 0.1 (Zn0.1) ve 5.0 (Zn5.0) mg kg⁻¹ Zn uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları (%).

Sonuçlar, bitkinin hem Zn hem de N'la beslenme düzeyinin iyileşmesi, bitkinin yeşil akam kuru madde veriminde olumlu yönde etkilenme sağladığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, özellikle Zn hiç verilmediği durumda, bitkinin kuru madde veriminde ciddi sorunlar görüldüğü ve bu koşulda yapılan N uygulamalarının etkisinin düşük buna karşılık, optimum düzeyde Zn uygulaması yapıldığı durumda ise N uygulamalarının kuru madde verimi artırma üzerindeki etkisinin belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı bulguların bitkinin dane verimi için geçerli olduğu saptanmıştır. Ancak Zn ve N etkileşimin dane verimi üzerindeki etkisinin boyutu yeşil aksama göre, daha düşük düzeyde olduğu gözlenmiştir (Şekil 6)



Şekil 4.5. Farklı Zn uygulamaları 0.0 (Zn0), 0.02 (Zn0.02), 0.1 (Zn0.1) ve 5.0 (Zn5.0) mg kg^{-1} altında, kontrol azot (N) uygulamasına (25 mg N kg^{-1}) göre 75 mg N kg^{-1} (N75) ve 225 mg N kg^{-1} (N225) uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları

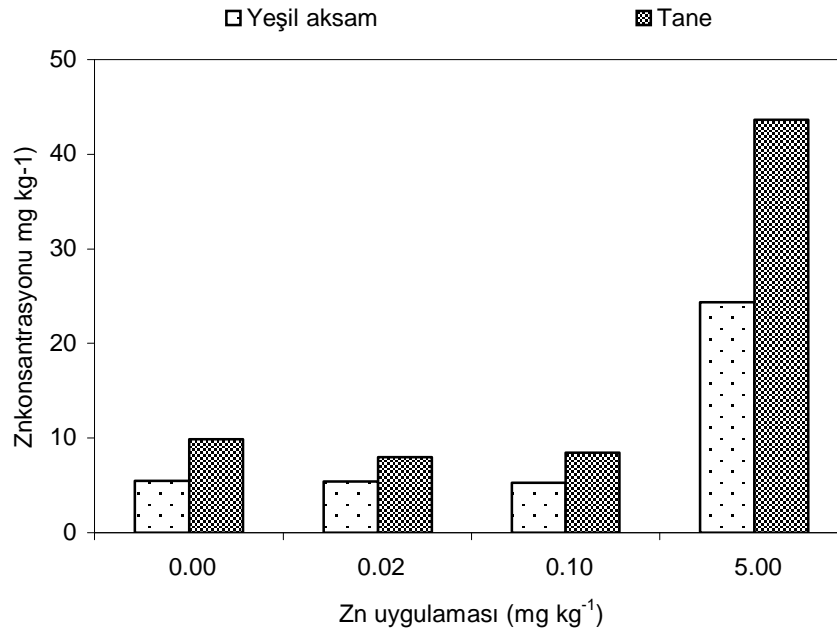


Şekil 4.6. Farklı azot (N) (25 , 75 v 225 mg kg^{-1}) ve çinko (Zn) (0.0 , 0.02 , 0.1 ve 5.0 mg kg^{-1}) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin dane verimine etkisi

4.1.2. Yeşil Aksam ve Tanedeki Çinko, Azot, Amino Asit ve Nitrat Konsantrasyonları

Zn Konsantrasyonu

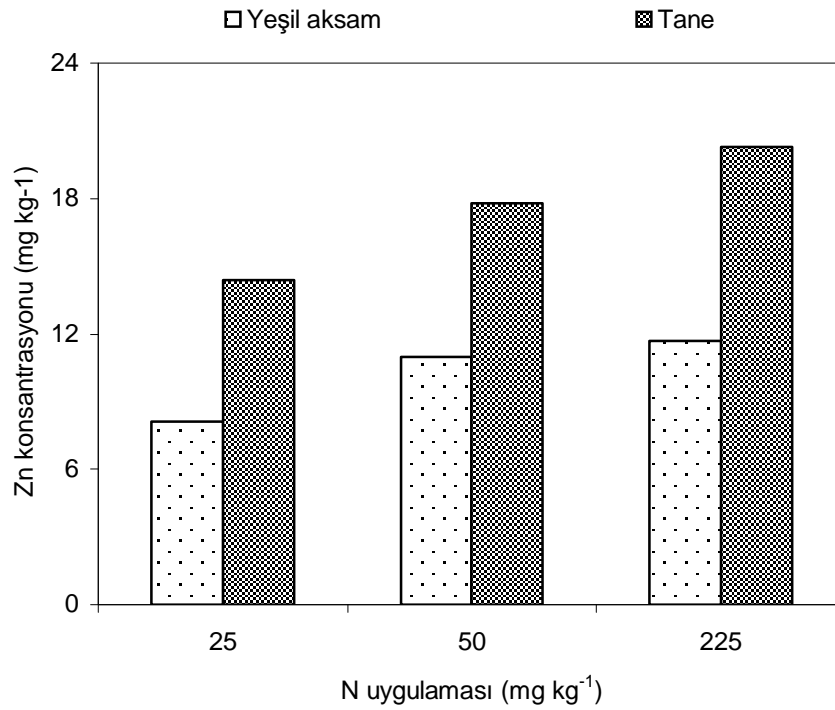
Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan Zn uygulamaları, Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonu arttırdığı ve artışın en belirgin olarak en yüksek Zn dozunda olduğu görülmüştür. Çinkonun 0.00, 0.02 ve 0.10 mg kg⁻¹ uygulamalarında bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu 5.46-5.28 mg kg⁻¹ arasında değişirken, Zn'nun 5.00 mg kg⁻¹ uygulamasında aynı değer 24.4 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır (Şekil 7).



Şekil 4.7. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonu

Çinko uygulamaları dikkate alınmadığında ise, toprağa yapılan N uygulamaları da bitkinin yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunu artırmıştır. Azotun 25, 75 ve 225 mg kg⁻¹ uygulandığı durumda, Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunun sırasıyla 8.1, 11.0 ve 11.7 mg kg⁻¹ olduğu bulunmuştur (Şekil 8).

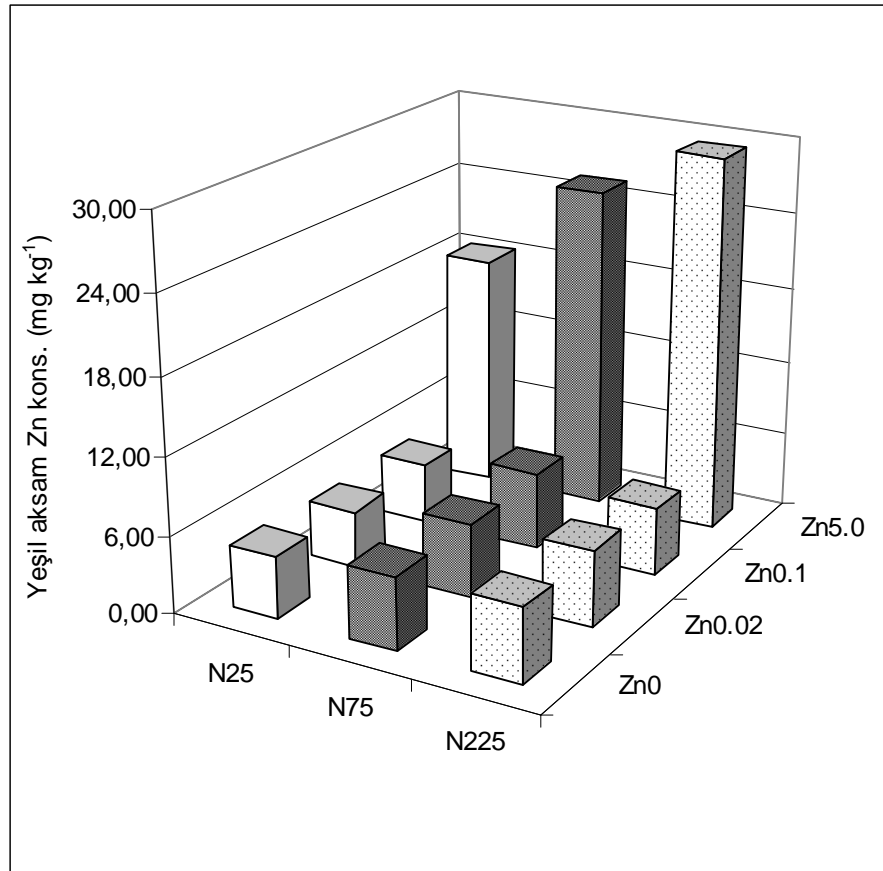
Sonuçlar, bitkinin N'la beslenme düzeyi iyileştikçe Zn'dan yararlanma etkinliğinin de iyileştikğini göstermektedir. Özellikle N'la birlikte bitkinin kuru madde veriminde artışlar olmasına karşılık (Şekil 1), bu sonucun elde edilmiş olması oldukça önemlidir.



Şekil 4.8. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹), Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonu

Bitkinin N'la beslenme düzeyi iyileştikçe, Zn'dan yararlanma düzeyini arttırdığını gösterir bir başka bulgu, Zn'nun toprağa uygulanmadığı koşulda 25 mg kg⁻¹ N dozunda yeşil aksamda Zn konsantrasyonu 4.85 mg kg⁻¹ iken 225 mg kg⁻¹ dozunda aynı değer 5.84 mg kg⁻¹ olduğu, Zn'nun 5 mg kg⁻¹ ilave edildiği koşulda ise aynı değerlerin sırasıyla 18.39 ve 29.48 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). Ayrıca bitkinin Zn ile beslenme düzeyi iyileştikçe N uygulamalarının yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunu artırma etkinliğinin daha da belirginleştiği görülmüştür. Örneğin Zn'nun uygulanmadığı durumda en düşük N uygulamasına

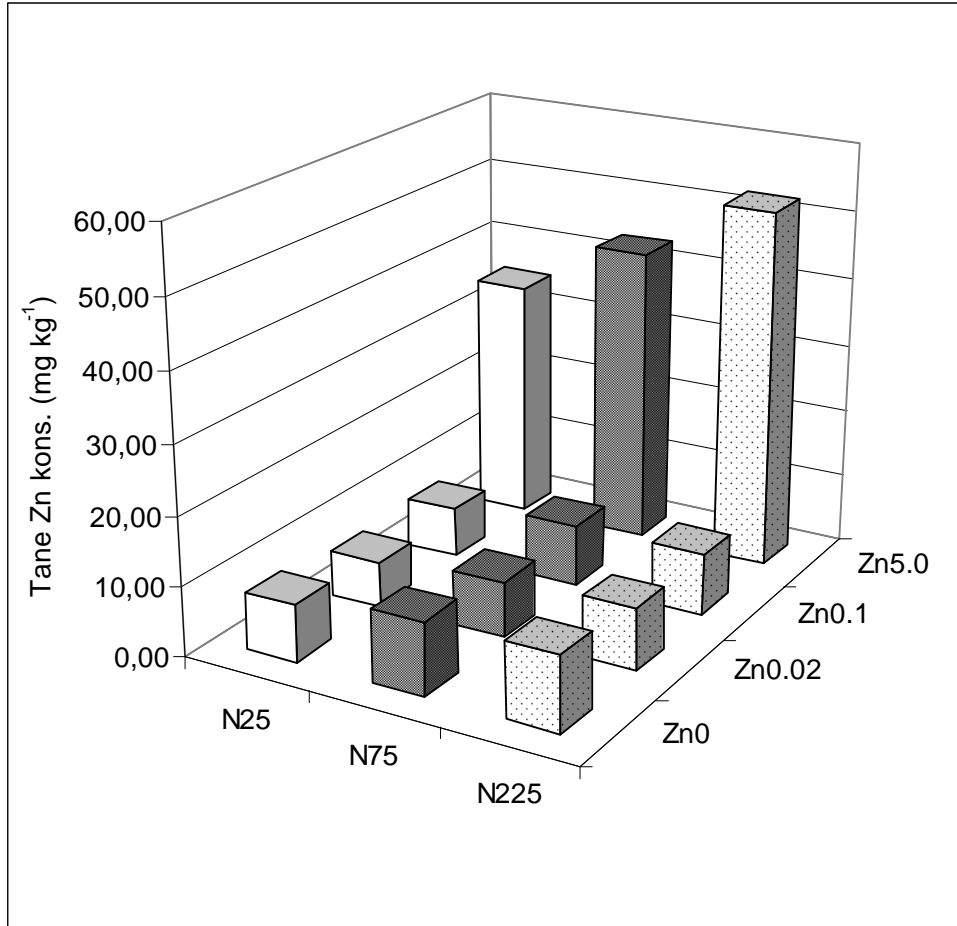
göre, en yüksek N uygulamasıyla yeşil aksamda sağlanan Zn konsantrasyon artış oranı yaklaşık % 20 iken Zn'nun 5.00 mg kg⁻¹ uygulamasında aynı değerin yaklaşık % 60 olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar bitkinin beslenme ortamı Zn ve N'ca optimize edildikçe besin elementlerinin birbirlerinin alımlarını pozitif şekilde etkilediklerini göstermektedir.



Şekil 4.9. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0,0, 0,02, 0,1 ve 5,0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu üzerine etkisi

Bu bulgular dışında, Zn (Şekil 7) ve N (Şekil 8) uygulamalarının tanedeki Zn konsantrasyonunu arttırdığı da bulunmuştur. Özellikle N uygulamasıyla taneye taşınan Zn düzeyinin artmış olması (Şekil 10), Zn'nun taşınmasında bitkideki protein

düzeyinin önemli olabileceğinin işaretidir. Tanedeki Zn düzeyi (Şekil 10) yeşil aksamdaki Zn düzeylerinden (Şekil 9) oldukça yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.10. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin tanedeki Zn konsantrasyonu üzerine etkisi

N konsantrasyonu

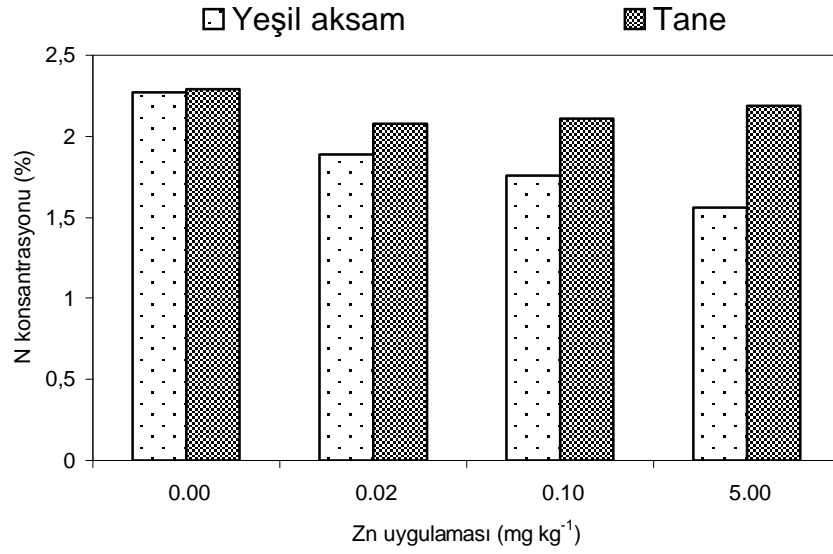
Azot uygulamaları dikkate alınmadığında, toprağa yapılan Zn uygulamaları bitkinin yeşil aksamdaki toplam N konsantrasyonunu azalttığı bulunmuştur. Çinkonun 0.00, 0.002, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ dozlarında yeşil aksamdaki N konsantrasyonunun sırasıyla % 2.27, % 1.89, % 1.76 ve % 1.56 olduğu bulunmuştur (Şekil 11). Bu konsantrasyon azalması Zn ilavesiyle bitki büyümesindeki ve kuru maddesindeki artışla (Şekil 2) yakın ilişkili olduğu düşünülmüştür. Ayrıca Zn

uygulamalarının tanedeki N konsantrasyonu üzerine etkisinin çok belirgin olmadığı görülmüştür (Şekil 11)

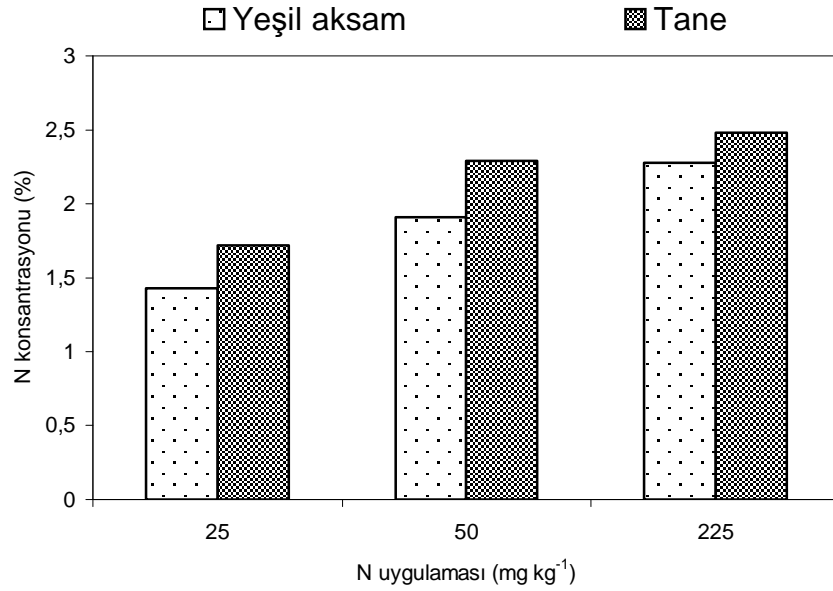
Çinko uygulamaları dikkate alınmadığında toprağa yapılan N uygulamaları beklenildiği gibi bitkinin yeşil aksam ve tanedeki (Şekil 12) N konsantrasyonunu arttırmıştır. Aynı N dozunda, artan Zn uygulamalarıyla bitkinin yeşil aksamındaki N konsantrasyonunun azalması, tanedeki N konsantrasyonu için de geçerli olduğu görülmüştür. Ancak en yüksek N dozunda bu bulgunun tersi elde edilmiştir. Azotun 225 mg kg^{-1} dozunda, Zn'nun uygulanmadığı yerde bitkinin tanesindeki N konsantrasyonu % 2.40 iken, Zn'nun 5.00 mg kg^{-1} uygulandığı yerde aynı değer % 2.89 olduğu bulunmuştur (Şekil 14). Bu sonuç, daha öncede ifade edildiği gibi, bitkinin N ve Zn ile beslenmesi optimize edildikçe her iki elementin bitkilerce alınımının arttığını göstermektedir.

NO₃⁻¹ konsantrasyonu

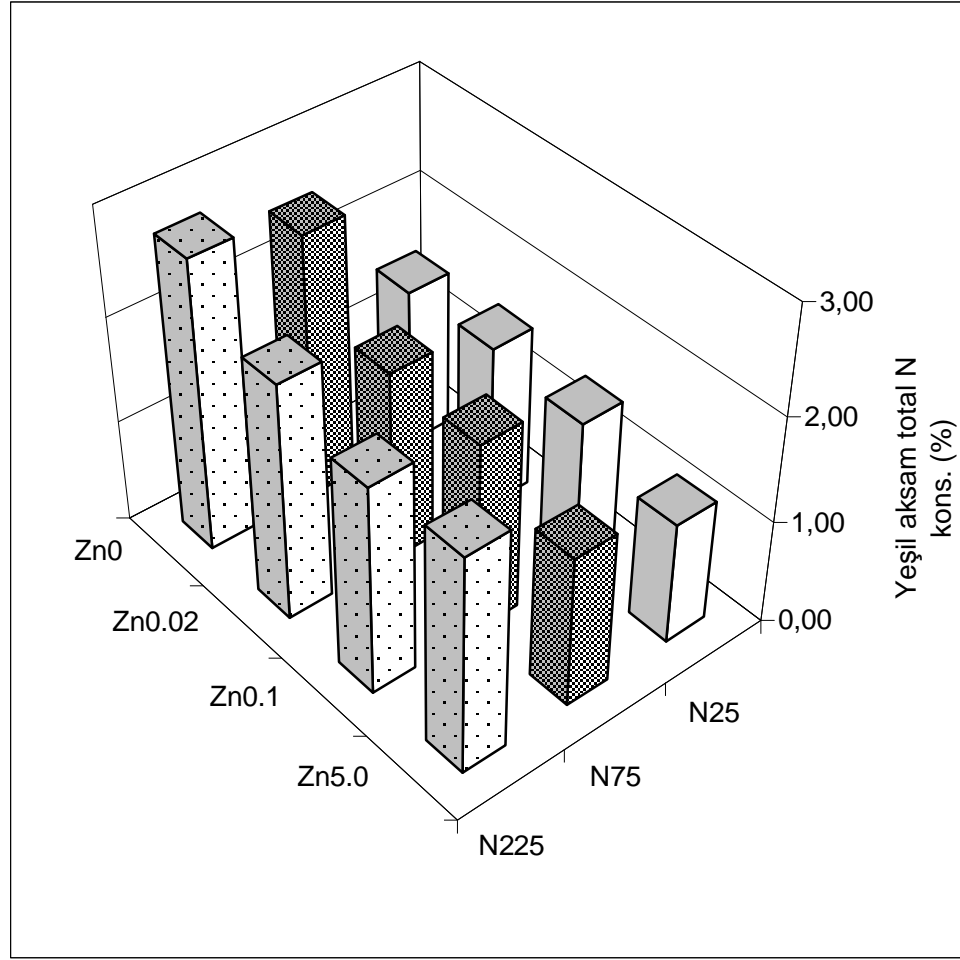
Bitkinin Zn'la beslenme düzeyi iyileştikçe yeşil aksamdaki NO₃⁻¹ konsantrasyonunun önemli oranlarda azaldığı saptanmıştır. Azot uygulamaları dikkate alınmadığında, Zn'nun verilmediği koşulda Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki NO₃⁻¹ konsantrasyonu % 1.26, Zn'nun 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg^{-1} verildiği uygulamalarda ise aynı değer sırasıyla %0.87, % 0.73 ve % 0.57 olduğu belirlenmiştir (Şekil 15). En düşük Zn dozuna göre, en yüksek Zn dozuyla yeşil aksamdaki NO₃⁻¹ konsantrasyonunun yaklaşık % 54 oranında azaldığı görülmüştür. Bu denli yüksek bir oranda NO₃⁻¹ azalması bitki büyümesi ve Zn beslenmesinin iyileşmesi birlikte bitki içindeki NO₃⁻¹'in indirgenmesiyle ilişkili olabilir. Ancak tane NO₃⁻¹ konsantrasyonu ile bitkinin Zn beslenmesi arasında bu yönde belirgin bir ilişkinin olmadığı görülmüştür (Şekil 15)



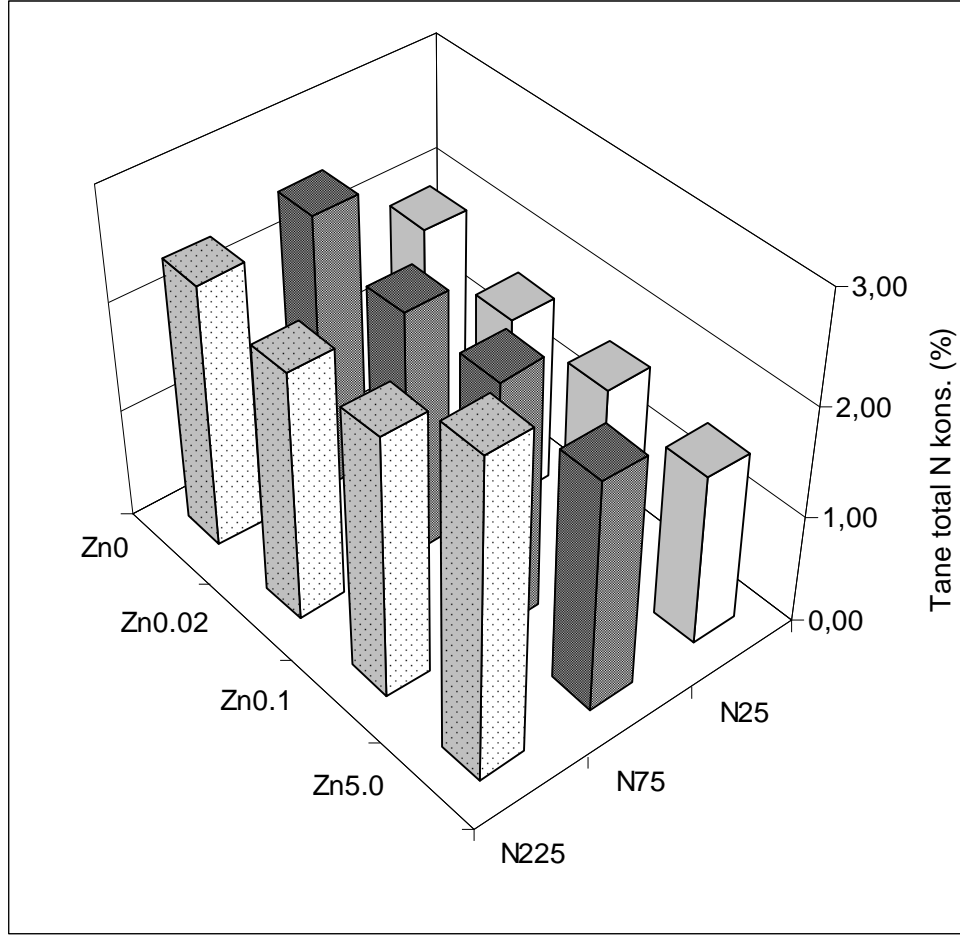
Şekil 4.11. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki N konsantrasyonu



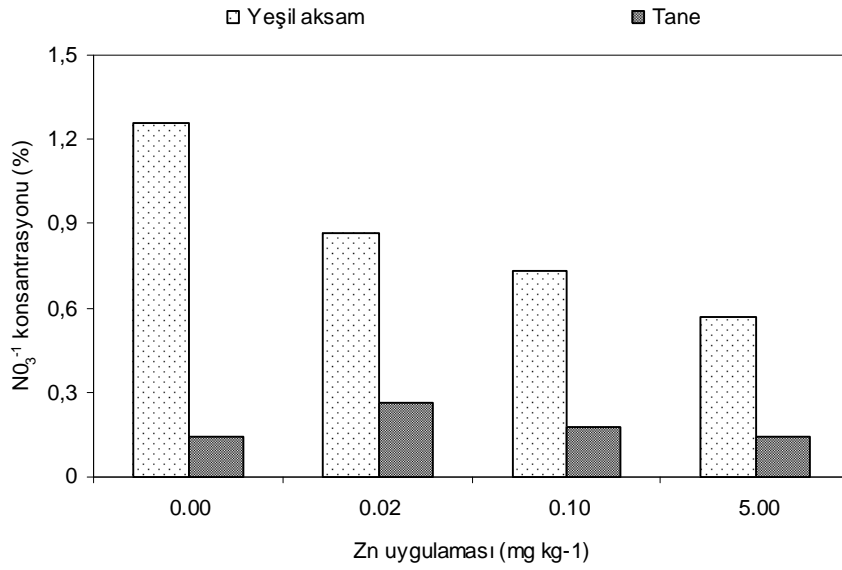
Şekil 4.12. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki N konsantrasyonu



Şekil 4.13. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki total N konsantrasyonu üzerine etkisi



Şekil 4.14. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 110 günlük Seri-82 çeşidinin tanesindeki, total N konsantrasyonu üzerine etkisi



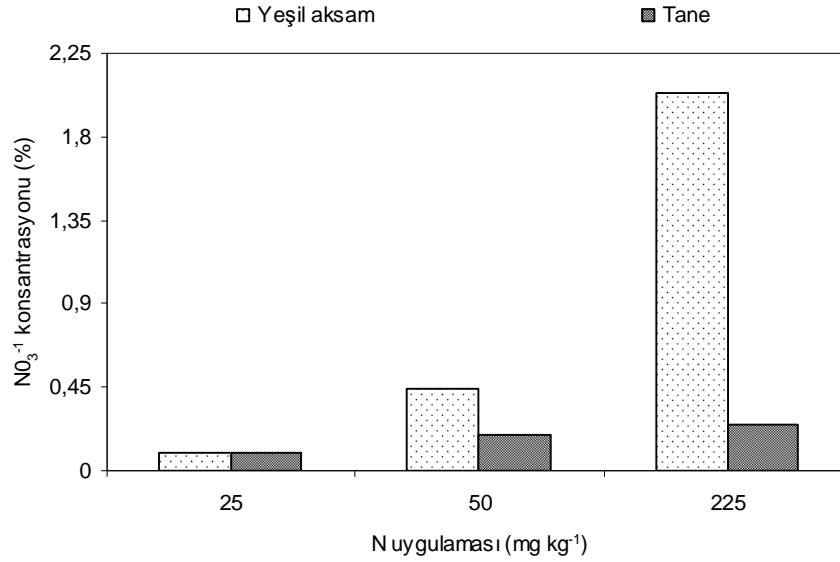
Şekil 4.15. Azot uygulamaları dikkate alınmaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki NO₃⁻¹ konsantrasyonu

Çinkonun aksine, N uygulamaları bitkinin yeşil aksamdaki ve tanesindeki NO₃⁻¹ konsantrasyonunu arttırmıştır. Bu artışın özellikle yeşil aksamda belirgin olduğu görülmüştür (Şekil 16). Tanedeki artış düzeyinin düşük olması olasılıkla taneye taşınan N'lu bileşiklerin büyük çoğunluğunun organik formda olmasıyla ilişkili olabilir.

Amino asit konsantrasyonu

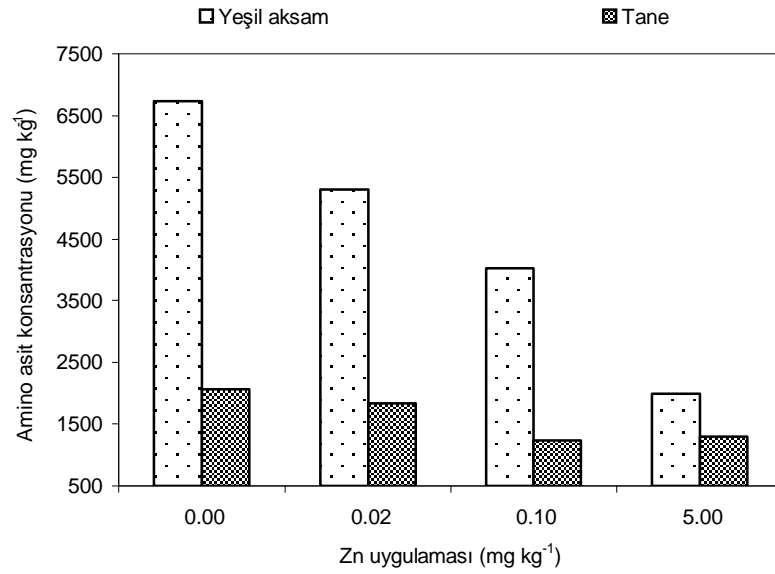
Çinko uygulaması bitkide amino asit konsantrasyonunda önemli düzeyde azalışlara neden olmuştur. Azot uygulamaları dikkate alınmaksızın toprağa Zn verilmediği durumda, bitkinin yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonu 9738 mg kg⁻¹ iken Zn'nun 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ verildiği durumda yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonu sırasıyla 5302, 4036 ve 1990 mg kg⁻¹ olmuştur (Şekil 17). Bu sonuçlar, bitkide Zn eksikliği söz konusuysa yeşil aksamda amino asit biriktiğini Zn'ya yeterli düzeyde beslendiğinde ise amino asit birikiminin olmadığını göstermektedir. Aynı bulgular tanedeki amino asit konsantrasyonu için elde edilmiş,

ancak, Zn uygulamasıyla azalan amino asit konsantrasyonunun boyutu yeşil aksama kıyasla oldukça düşük kaldığı gözlenmiştir (Şekil 17).

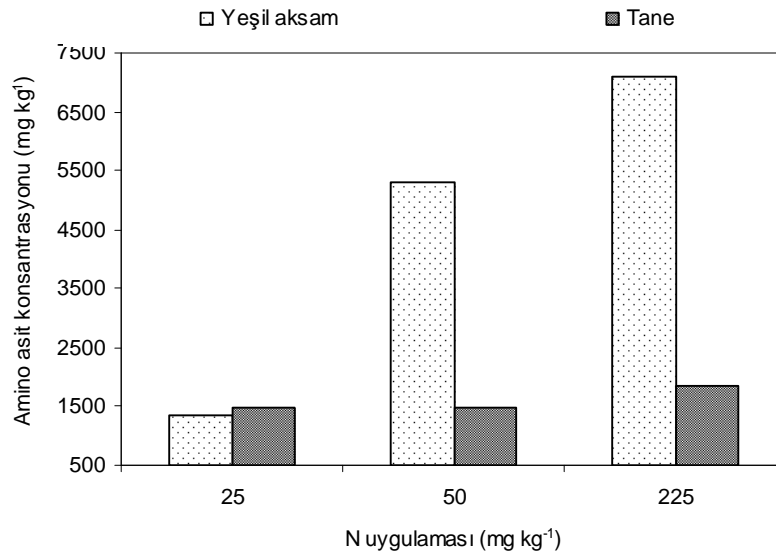


Şekil 4.16. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki NO₃⁻¹ konsantrasyonu

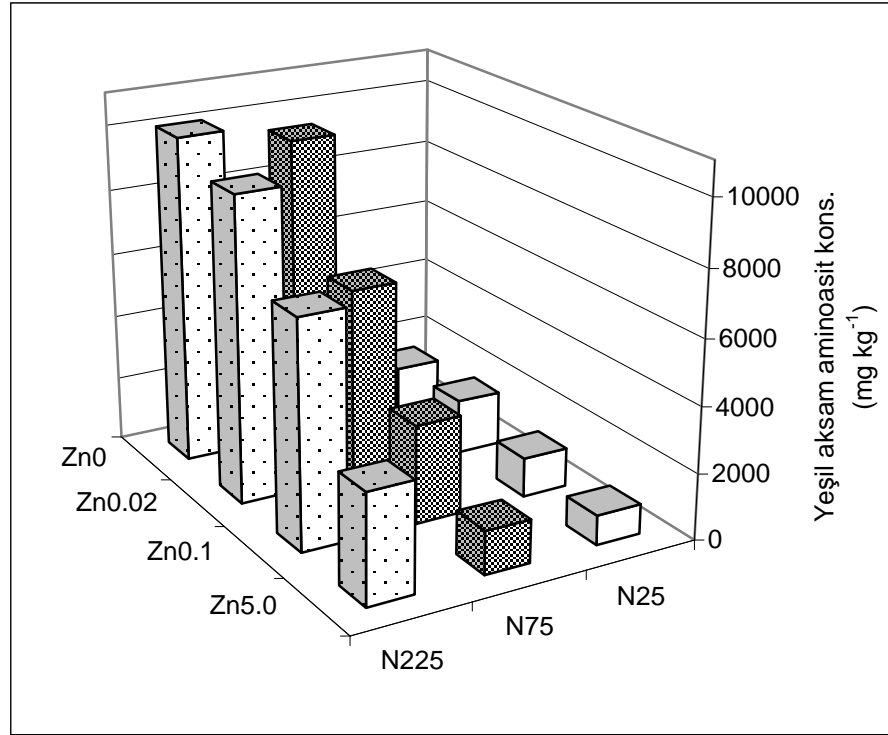
Beklenildiği gibi, N uygulamaları yeşil aksamdaki ve tanedeki amino asit konsantrasyonunu arttırmıştır. (Şekil 18). Bu artış yeşil aksamda oldukça belirgin olmuş ve en düşük azot uygulamasına göre en yüksek N uygulamasıyla bitki yeşil aksamda 5.2 kez daha fazla amino asit konsantrasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Bitkide en fazla amino asit birikimi N uygulamasının yüksek ve Zn'nun hiç verilmediği koşulda görülmüştür. Söz konusu durumda, bitkinin yeşil aksamındaki amino asit konsantrasyonu 10082 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Şekil 19). Aynı azot uygulamasında ve 5.00 mg kg⁻¹ Zn uygulamasında bitkideki amino asit konsantrasyonunun ise 3318 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır (Şekil 19). Sonuçlar Zn'nun amino asit düzeyini bir şekilde azatlığını ortaya koymuştur. Bu sonuç Zn'nun protein sentezinde de önemli görevler aldığını işaret etmektedir. Bilindiği gibi, bitkiye alınan azot indirgenerek amino asitlere, amino asitlerden de proteinlere dönüşür. Bu dönüşümün Zn eksikliğinde tam gerçekleşmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17. Azot uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan farklı Zn uygulamalarında (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹) Seri-82 buğday çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki amino asit konsantrasyonu



Şekil 4.18. Çinko uygulamalarını dikkate almaksızın toprağa yapılan farklı N uygulamalarında (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki amino asit konsantrasyonu



Şekil 4.19. Farklı azot (N) (25, 75 v 225 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.0, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹) uygulamalarının 35 günlük Seri-82 yeşil aksamındaki amino asit konsantrasyonu üzerine etkisi

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde Zn ve N eksikliklerinin bitki büyümesinde önemli sorunlara yol açtığını göstermiştir. Toprağa Zn ve N ilavesi yapıldığında ise bitki büyümesindeki sorunlar giderilebilmiştir. Ancak Zn ve N uygulamaları birlikte değerlendirildiğinde optimum Zn dozunda bitkinin N'la beslenme düzeyi iyileştikçe bitkinin kuru madde ve dane veriminde önemli artışlar elde edilmiştir. Benzer sonuçlar optimum N dozunda artan Zn uygulamalarında da alınmıştır.

Bitkilerin Zn alım düzeyinde optimum N düzeyinin önemli olduğu bulunmuştur. Bitkinin Zn beslenme düzeyi iyileştikçe amino asit ve NO₃⁻¹ konsantrasyonunda azalmalar belirlenmiştir. Bu da Zn eksikliğinde bitkide protein sentezinin gerilediğini ve yeşil aksamda mineral N formlarının biriktiğini göstermektedir.

4.2. Tartışma

Toprağa yapılan N uygulamaları bitkinin kuru madde verimini artırmıştır (Şekil 1). Bu artış oranı uygulanan doz bağılı olarak değiştiği görülmüştür. Literatürde N uygulamasıyla bitkisel verimde artışların olduğunu gösterir çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin Varga ve Svecnjak (2006), tarla koşullarında farklı buğday çeşitlerine düşük (67 kg ha^{-1}) ve yüksek (194 kg ha^{-1}) dozlarda temel N gübrelemesi yapılmışlardır. Ayrıca bu bitkilere aynı zamanda çiçeklenme döneminde 30 kg N ha^{-1} üre şeklinde yaprak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapararak uygulaması düşük N dozunda denemedeki tüm buğday çeşitlerinin dane verimini % 7.8 civarında arttırdığı saptanmıştır. Düşük azot uygulamasına göre yüksek N uygulamasıyla sağlanan verim artış oranının ise % 24.9 olduğu belirlenmiştir. Bu bulgulara karşılık yüksek N dozunda yaprak uygulamasının verim üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Örneğin Dong ve ark. (2005) çok yıllık farklı buğdaygillerde uygulanan N dozu arttıkça N'la sağlanan yeşil aksam kuru madde veriminde de artış olduğunu bulmuşlardır. D' Antonio ve Mack (2006) otlaklık alanlarda yalnız N uygulamasının bitkinin biyomasında % 30 düzeyinde artışlara neden olduğunu saptamışlardır. Ancak P tek başına verildiğinde böyle bir artışın olmadığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada N ve P'un sinerjetik bir etkiyle biyomas ağırlığında artışa yol açıldığı belirlenmiştir. Çalışmada N alınabilirliği yüksek olduğunda P'un sınırlayıcı bir faktör olarak ön plana çıkabildiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında Zn sınırlayıcı bir faktör olduğunda N uygulamalarının kuru madde ve dane verimi üzerine etkisinin küçük boyutta olduğu buna karşılık Zn sınırlayıcı bir faktör değilse aynı N uygulamalarının kuru madde ve dane verimi üzerine olan etkisinin büyük boyutta olduğu belirlenmiştir. Örneğin Zn'nun 0.02 mg kg^{-1} dozunda en düşük N (25 mg kg^{-1}) uygulamasına göre 75 ve 225 mg kg^{-1} lık N uygulamalarıyla sağlanan kuru madde verimi sırasıyla % 14.8 ve % 26.9 olduğu buna karşılık 5.00 mg kg^{-1} Zn dozunda aynı değerlerin % 40.6 ve % 63.6 olduğu bulunmuştur. Sonuçlar Zn beslenmesi iyileştikçe N'nun bitki büyümesi üzerindeki etkisinin de arttığını göstermektedir. Benzer bulgular N ve demirle (Fe) yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Örneğin Assimakopoulou (2006), ıspanakta düşük Fe

veya Fe verilmeyen uygulamaya göre, yeterli düzeyde Fe içeren uygulamadaki N'un kuru madde verimdeki etkisinin daha yüksek olduğunu saptamıştır.

Çinko uygulamasıyla Seri-82 çeşidinin kuru madde veriminde önemli artışlar görülmüştür (Şekil 2). Kontrol uygulaması ($0.0 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) göre, Z uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları sırasıyla % 14.4, % 27.6 ve % 67.4 olduğu belirlenmiştir. Bu artış oranları N beslenme düzeyinin iyileşmesiyle daha da artabileceği görülmüştür. En düşük N dozunda, en düşük Zn dozuna (kontrol) göre, sağlanan verim artışlarının sırasıyla % 4.6, % 11.5 ve % 29.3 olduğu saptanmıştır. Aynı değerlerin 75 mg kg^{-1} N dozunda ise sırasıyla % 25.9, % 46.4 ve % 90.4 olduğu görülmüştür (Şekil 4). Çinko uygulamasıyla buğdayda ve tahıllarda verim artışının olduğunu gösterir çok sayıda çalışma literatürde yer almıştır. Navak ve ark. (1997) sodik bir toprakta iki yıl tekrarlamalı olarak farklı N ($0, 60, 120$ ve 180 kg ha^{-1}) ve Zn (ZnSO_4 olarak $0, 10, 20, 30 \text{ kg ha}^{-1}$) uygulamalarının buğdayda verim, N ve Zn alımı ve konsantrasyonu üzerine olan etkisini belirlemişlerdir. Her iki yıl için dane ve sap verimleri için 120 kg ha^{-1} N uygulamasında ve 20 kg ha^{-1} ZnSO_4 uygulamasında anlamlı artışlar elde edilmiştir. Kontrol uygulamasına göre $60, 120$ ve 180 kg N ha^{-1} uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranlarının sırasıyla % 52, % 74 ve % 77 olduğu saptanmıştır. Ayrıca, $10, 20$ ve 30 kg ZnSO_4 uygulamaları kontrol uygulamasına göre oluşturdukları verim artış oranları sırasıyla % 21, % 30 ve % 32 olduğu belirlenmiştir.

Yürütülen bu çalışmada ve literatürde elde edilen sonuçlar buğdayda bitkinin gereksinim duyduğu N ve Zn dozlarının belirlenmesi oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bir denemede Sharma ve ark. (2000), kaba tekstürlü ve sulanan bir toprakta N uygulamasının kontrol uygulamasına göre dane verimini arttırdığını ve en önemli düzeydeki artışın ise N'un 120 kg ha^{-1} uygulamasında olduğunu ve sözkonusu uygulamayla sağlan verim artış oranının % 32 olduğu belirlemişlerdir. Aynı çalışmada, kontrol uygulamasına göre Zn uygulamasıyla sağlanan verim artış oranının % 13 düzeyinde olduğu saptanmıştır. Çalışmada N ve Zn için optimum dozların sırasıyla $127.63 \text{ kg ha}^{-1}$ ve 5.03 kg ha^{-1} olduğu bulunmuştur. Maksimum verim için aynı değerlerin sırasıyla 143 kg ha^{-1} ve 5.88 kg ha^{-1} olduğu bildirilmiştir.

Bu bulgulara ilave olarak, Kalaycı ve ark., (1999) tarafından gerçekleştirilen denemelerde, sera koşullarında Zn verilmeyen uygulamaya göre Zn'ya sağlanan verim artış oranlarının % 47-83 arasında, tarla koşullarında dane veriminde görülen artış oranlarının ise % 57-92 arasında değiştiği belirlenmiştir. Çinko eksikliğinde kuru madde veriminde önemli azalmaların olduğu bu azalmanın çavdar, tritikale, arpa, ekmeklik buğday, yulaf ve makarnalık buğdayda sırasıyla % 15, % 25, % 34, % 42, % 63 ve % 65 olduğu bulunmuştur (Çakmak ve ark., 1998). Tahıl türleri yanında aynı türün çeşitlerinin de Zn noksanlığına karşı tepkilerinin farklı olduğu 164 mutlak kışlık olan ekmeklik buğday çeşitleriyle sera koşullarında yürütülen bir denemeye gösterilmiştir (Torun ve ark., 2000). Bir başka çalışmada ise, dört farklı deneme alanında kontrol uygulamasına göre farklı dozlarda uygulanan Zn'nun çeltiğin dane veriminde % 12 ile % 180 arasında değişen artışlara yol açtığı bulunmuştur (Slaton ve ark. (2005).

Çinko uygulamalarının yalnızca buğday veya tahılların veriminde artış sağlamadığı, diğer bitki türlerinde de Zn uygulamasıyla verim artışlarının sağlandığı bildirilmiştir. Örneğin, Mirzapour ve Khoshgoftar, (2006) tarafından tarla koşullarında gerçekleştirilen bir denemede farklı Zn uygulamaları altında (0, 10, 20, 30, and 60 kg Zn ha⁻¹) ayçiçeğinin yeşil aksam kuru madde ve dane verimi belirlenmiştir. Kontrol uygulamasına (0 kg Zn ha⁻¹) göre, Zn uygulamalarıyla her iki parametrenin veriminde artışların olduğu ve en önemli artışın 20 kg Zn ha⁻¹ uygulamasında olduğu bulunmuştur. Aynı çalışmada sözkonusu Zn uygulamalarının bitkinin yaprağındaki Zn konsantrasyonunu da arttırdığı saptanmıştır. Benzer sonuçlar Navak ve ark., tarafından yapılan çalışmada görülmüş ve artan N ve Zn uygulamalarının buğdayda söz konusu elementlerin konsantrasyonlarını arttırdığı görülmüştür.

Sera koşullarında farklı Zn ve N dozlarında gerçekleştirilen bu denemede de Zn uygulaması Seri-82 çeşidinin yeşil aksam ve tane Zn konsantrasyonunu arttırmıştır (Şekil 7). Çinko uygulamasıyla buğdayın veya tahılların yeşil aksamdaki ve tanedeki Zn konsantrasyonunu arttırması başka çalışmalarda elde edilmiş bir bulgudur (Çakmak ve ark., 1997a; Çakmak ve ark., 1998; Kalaycı ve ark., 1999; Torun ve ark., 2000).

Çinko uygulaması bitkinin yeşil aksamındaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonunu arttırırken amino konsantrasyonunu azalttığı görülmüştür (Şekil 17). Çinko eksikliğindeki buğdayda amino asit konsantrasyonunun yüksek olması fasulye bitkisinde yapılan bir çalışmada da belirlenmiştir. Çinko eksikliğine sahip fasulye yapraklarında kontrol uygulamasına göre yapraklarda 6.5 kez daha fazla amino asit biriktiği ve bu bitkilere 24., 48., ve 72. saatte yapılan Zn uygulamasından sonra amino asit konsantrasyonu sırasıyla 5.1, 2.7 ve 1.4 kez azaldığı saptanmıştır (Çakmak ve ark., 1989). Amino asit konsantrasyonundaki bu azalma aynı zamanda protein konsantrasyonundaki artışa bağlanmıştır. Bu sonuç da Zn'nun protein sentezinde temel bir rolünün olduğunu ortaya koymaktadır.

Bilindiği gibi, Zn eksikliğinin olduğu bitkilerde düşük protein içeriği ve yüksek aminoasit içeriği RNA yapısının bozulmasının bir sonucudur. RNaz aktivitesinin daha yüksek oranda olmasının bitkide Zn eksikliğinin tipik özelliği olduğu belirtilmektedir. (Sharma ve ark., 1982).

Ribozomların yapısal bütünlüğünde yüksek miktarda gereksinilen Zn'ya karşılık, düşük Zn koşullarında protein içeriğinde hızla azalma olmaktadır. Tütünün doku kültürü hücrelerinde, Zn içeriği 70 µg olduğunda 80S ribozomlarında azalmalar olurken, Zn içeriği 50 µg iken protein sentezinde azalma olmaktadır (Obata and Umabayashi, 1988).

Yeşil aksam dokularında ve diğer meristematik dokularda protein sentezinin gerçekleşmesi için Zn konsantrasyonunun en az 100 mg kg⁻¹ olması gerektiği bildirilmiştir. Meristematik dokularda protein sentezi için gereksinilen Zn miktarı genç-olgun bitki yaprağından yaklaşık 5–10 kez daha fazla olduğu belirtilmiştir (Kitagishi ve Obata 1986). Meristematik dokulardaki Zn içeriği ile yapraktaki Zn içeriği arasındaki konsantrasyon farkının diğer mineral elementlerden daha dar bir durumda olduğu bildirilmiştir. Yeşil aksamdaki meristematik kısımlarda yüksek Zn ihtiyacını karşılamak için köke uygulanan Zn'nun büyük bir kısmının ksilem-floem taşınmasıyla öncelikle yeşil aksamdaki büyüme yerlerine taşındığı bildirilmiştir (Kitagishi and Obata, 1986).

Sonuçlardan Zn eksikliğinde bitkide sentezlenen protein düzeyinde azalmalar olduğu anlaşılmaktadır. Çinko eksikliğine sahip bir bitkiye artan dozlarda uygulanan N'un amino asit konsantrasyonunu arttırmasına (Şekil 19, 18) karşılık protein sentezinde gerilemeye yol açması beklenen bir olasılıktır. Bilindiği gibi bitkide NO_3^{-1} ve NH_4^{+1} şeklinde alınan N bitki içinde indirgenerek aminli bileşiklere, aminli bileşikler amino asitlere ve amino asitlerde proteinler dönüşür (Marshner, 1995). Bu döşümde Zn'nun rolü olduğu bilinmektedir. Bitkide amino asitin temel kaynağı azotlu bileşiklerdir. Bu yönüyle de N protein sentezinin vazgeçilmez unsurlarından biridir. Azotun protein sentezindeki önemi gösterir çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Düşük ve yüksek dozda N uygulamasına ilave olarak yapılan üre şeklindeki yaprak uygulamasının farklı çeşitlerin protein düzeyini ortalama 5 g kg^{-1} düzeyinde arttırdığı bulunmuştur (Varga ve Svecnjak, 2006). Proteinin temel bileşenlerinden olan azot ekim öncesinden ve ekimden sonra uygulamaları buğdayda hem dane verimi hem de protein için önemli olduğu bildirilmiştir (Cassman ve ark., 1992).

İki şekilde N uygulaması yapılmakta, birincisi azotun tamamının ekim öncesinde uygulanması, ikincisi ise kış sonunda veya erken ilkbaharda üst gübrelemeyle uygulanmasıdır (Kelley, 1995). Cooper (1974) başaklanma öncesi ve sonrasında buğdaya N uygulamasının tane veriminde artışa buna karşılık protein düzeyinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Ekim öncesi yapılan gübrelemeler erken çıkabilecek noksanlıkları önleyebilmesine karşın, toprakta residüal olarak bulunan $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u çevre için büyük bir risk taşımaktadır. Bir çok araştırmacı ekim öncesi uygulanan N'un, bitkinin N'u almasından önce kaybolduğunu veya immobilize olduğunu ve bunun da N kullanım etkinliğini büyük ölçüde etkilediğini göstermişlerdir (Wuest ve Cassman, 1992).

Yüksek düzeyde N uygulayarak (azot kullanım etkinliğini azaltır) tane proteinini artırma özellikle kurak toprak koşulları altında etkisizdir (Gauer ve ark., 1992). Buğdayda ekim öncesi N uygulamasına göre enjeksiyonla veya üst gübrelemeyle N uygulaması N kullanım etkinliğini artırabildiği belirlenmiştir (Sowers ve ark., 1994). Spiertz (1983) dengeli bir N uygulamasında buğday tanesindeki N'un % 65-80'nin yeşil aksamdan geldiği geriye kalan miktarın ise

çiçeklenme sonrası köklerden alınan N'tan olduğunu bulmuştur. Çiçeklenme sonrası N alımında topraktaki N'un alınabilirliği ve su sınırlayıcı faktörler olmasına karşılık çiçeklenmeye yakın gerçekleştirilen N uygulaması çiçeklenme sonrası N alımını, tane protein içeriğini ve tane protein konsantrasyonunun arttığı görülmüştür (Wuest ve Cassman, 1992). Dhugga ve Waines (1989) çalışmasıyla tanenin N alma kapasitesinde çiçeklenme sonrasında alınan N'un belirleyici bir faktör olduğu belirlenmiştir. Çiçeklenmeye yakın N uygulamaları çiçeklenme sonrasındaki N alımın, protein konsantrasyonunu ve protein içeriğini arttırmıştır (Banziger ve ark., 1994; Bulman ve Smith, 1993).

Çinko, protein sentezindeki rolüyle bitkinin N beslenme düzeyi üzerine önemli bir etkisinin olabileceği göstermektedir. Aynı şekilde N da bitkinin Zn beslenme düzeyi üzerinde bir rolünün olabileceği görülmektedir. Özellikle N beslenmesinin optimize olduğunda bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonunda önemli artışlar elde edilmiştir. Örneğin Zn'nun toprağa uygulanmadığı koşulda 25 mg kg^{-1} N dozunda yeşil aksamda Zn konsantrasyonu 4.85 mg kg^{-1} iken 225 mg kg^{-1} dozunda aynı değer 5.84 mg kg^{-1} olduğu, Zn'nun 5 mg kg^{-1} ilave edildiği koşulda ise aynı değerlerin sırasıyla 18.39 ve 29.48 mg kg^{-1} olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). Ayrıca Zn'nun uygulanmadığı durumda en düşük N uygulamasına göre, en yüksek N uygulamasıyla yeşil aksamda sağlanan Zn konsantrasyon artış oranı yaklaşık % 20 iken Zn'nun 5.00 mg kg^{-1} uygulamasında aynı değer yaklaşık % 60 olduğu belirlenmiştir.

Azotun Zn'nun yeşil aksam konsantrasyonunu arttırması toprakta N'un rizosfer bölgesindeki etkisine bağlanabilir. Bitki kök bölgesindeki toprak (rizosfer) bitki büyümesinde Zn'nun ana kaynağıdır ve bu nedenle rizosfer kimyasındaki herhangi bir değişim Zn'nun veya diğer elementlerin bitkiye yararlılığında önemli değişimlere yol açacaktır. Bu değişimlerden en önemlisi belki de rizosfer pH'sındaki değişimdir. Bitkinin kök bölgesindeki pH'yı nötral düzeyde tutuma isteğine bağlı olarak beslenme ortamında aşırı alınan kationlara veya anyonlara karşılık kökten dışarıya H^+ , OH^- veya HCO_3^{-1} gibi iyonların salgılanması rizosferdeki pH'yı değiştirecektir. Örneğin NO_3^{-1} şeklindeki N absorbe edildiğinde HCO_3^{-1} salgılanmasında bir artış olacak ve buna bağlı olarak pH da yükselecektir. Buna

karşılık, NH_4^{+1} N'ü absorbe ettiğinde bitki dışarıya H^+ salgılayacak ve sonuçta pH düşecektir. Marschner (1991), bir Luvisol toprakta fasulyenin rizosferinde NH_4^{+1} ile beslendiğinde rizosfer toprağının pH'sı 6.8 den 5.4'e düştüğünü, NO_3^{-1} ile beslendiğinde 6.8'den 7.4'e yükseldiğini saptamıştır. Aynı çalışmada nitratla beslenen bitkilerde Zn konsantrasyonu 34 mg kg^{-1} iken NH_4^{+1} ile beslenenlerde aynı değer 49 mg kg^{-1} olduğu belirlenmiştir.

Riley ve Barber (1971), rizosfer dışı toprağa göre rizosfer toprağının pH'sının 2 birim kadar değişebileceğini göstermişlerdir. Bitki köklerinin rizosfer pH'sını değiştirebilme yeteneği bitki türleri ve çeşitleri arasında değişiklik gösterir ve değişimde toprağın tamponlama kapasitesi de belirleyicidir.

Rizosfer bölgesine köklerden salgılanan fitosideroforlar, toprakta alınamaz durumdaki Zn'yu alınabilir hale getirirler. Fitosideroforların etkinliği tahıl türlerine ve çeşitlerine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Çakmak ve ark., 1998).

Sonuçlar bitkinin beslenme ortamı optimize edildikçe elementlerin bitki büyümesindeki pozitif rollerinin daha da belirgin hale geldiğini göstermektedir. Optimum beslenme ortamının özelliklerinden uzaklaştıkça (eksik veya toksik) bitki büyümesinde sorunlar ortaya (örneğin yüksek amino asit birikimi veya protein düzeyinin azalması) çıkmaktadır. Bu sorunların boyutu beslenme ortamındaki besin elementlerinin düzeyine, bitki türlerine ve çeşitlerine ve çevre koşullarına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Farklı Zn (0.00, 0.02, 0.10 ve 5.00 mg Zn kg⁻¹) ve N (25, 75 ve 225 mg kg⁻¹) uygulamalarının Seri-82 çeşidinin yeşil aksam ve dane verimi ile yeşil aksam ve tanedeki Zn, N, NO₃⁻ ve amino asit konsantrasyonları üzerine etkisini belirlemek için sera koşullarında yürütülen denemeden elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- § Çinko uygulamaları dikkate almaksızın, toprağa yapılan azot uygulamaları Seri-82 çeşidinin yeşil aksam kuru madde verimini arttırmıştır. En düşük azot uygulamasına göre (25 mg kg⁻¹) 75 ve 225 mg N kg⁻¹ uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranlarının sırasıyla % 19.4 ve % 38.5 olduğu bulunmuştur.
- § Azot uygulamaları dikkate almaksızın, Zn uygulamalarıyla Seri-82 çeşidinin yeşil kuru madde veriminin arttığı görülmüştür. Kontrol uygulaması (0.0 mg Zn kg⁻¹) göre, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹ Z uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranları sırasıyla % 14.4, % 27.6 ve % 67.4 olduğu belirlenmiştir.
- § Çinko ve azot uygulamalarının yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi birlikte değerlendirildiğinde her iki uygulamanın etkisinin uygulanan dozlara göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük N dozunda, en düşük Zn uygulamasına (0 mg Zn kg⁻¹) göre, 0.02, 0.1 ve 5.0 mg kg⁻¹ dozlarında sağlanan verim artışlarının sırasıyla % 4.6, % 11.5 ve % 29.3 olduğu saptanmıştır. Aynı değerlerin 75 mg kg⁻¹ N dozunda ise sırasıyla % 25.9, % 46.4 ve % 90.4 olduğu görülmüştür.
- § Bitkinin Zn beslenme düzeyi iyileştikçe N uygulamalarıyla sağlanan kuru madde verim artış oranlarının da arttığı görülmüştür. Örneğin 0.02 mg kg⁻¹ Zn dozunda kontrol N uygulamasına göre, 75 ve 225 mg kg⁻¹ N uygulamalarıyla sağlanan verim artış oranlarının sırasıyla % 14.8 ve % 26.9 olduğu belirlenmiştir. Aynı değerlerin 5.0 mg kg⁻¹ dozunda ise sırasıyla % 40.6 ve % 63.6 olduğu bulunmuştur
- § Elde edilen bulgular, özellikle Zn hiç verilmediği durumda, bitkinin kuru madde veriminde ciddi sorunlar görüldüğü ve bu koşulda yapılan N uygulamalarının etkisinin düşük buna karşılık, optimum düzeyde Zn

uygulaması yapıldığı durumda ise N uygulamalarının kuru madde verimi arttırma üzerindeki etkisinin belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı bulguların bitkinin dane verimi için geçerli olduğu saptanmıştır. Ancak Zn ve N etkileşiminin dane verimi üzerindeki etkisinin boyutu yeşil aksama göre, daha düşük düzeyde olduğu gözlenmiştir.

- § Azot uygulamaları dikkate alınmaksızın, toprağa yapılan Zn uygulamaları, Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki ve tanesinde Zn konsantrasyonu arttırdığı ve artışın en belirgin olarak en yüksek Zn dozunda olduğu görülmüştür. Çinko uygulamaları dikkate alınmadığında ise, toprağa yapılan N uygulamaları da bitkinin yeşil aksamdaki ve tanesindeki Zn konsantrasyonunu arttırmıştır. Azotun 25, 75 ve 225 mg kg⁻¹ uygulandığı durumda, Seri-82 çeşidinin yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunun sırasıyla 8.1, 11.0 ve 11.7 mg kg⁻¹ olduğu bulunmuştur
- § Azot uygulamaları dikkate alınmadığında, toprağa yapılan Zn uygulamaları bitkinin yeşil aksamdaki toplam N konsantrasyonunu azalttığı bulunmuştur. Çinkonun 0.00, 0.002, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ dozlarında yeşil aksamdaki N konsantrasyonunun sırasıyla % 2.27, % 1.89, % 1.76 ve % 1.56 olduğu bulunmuştur. Bu konsantrasyon azalması Zn ilavesiyle bitki büyümesindeki ve kuru maddesindeki artışla yakın ilişkili olduğu düşünülmüştür. Çinko uygulamaları dikkate alınmadığında toprağa yapılan N uygulamaları beklenildiği gibi bitkinin yeşil aksam ve tanedeki N konsantrasyonunu arttırmıştır.
- § Bitkinin Zn'la beslenme düzeyi iyileştikçe yeşil aksamdaki NO₃⁻¹ konsantrasyonunun önemli oranlarda azaldığı saptanmıştır. Azot uygulamaları dikkate alınmadığında, Zn'nun verilmediği koşulda Seri-82 çeşidinin yeşil aksamındaki NO₃⁻¹ konsantrasyonu % 1.26, Zn'nun 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ verildiği uygulamalarda ise aynı değer sırasıyla %0.87, % 0.73 ve % 0.57 olduğu belirlenmiştir. Çinkonun aksine, N uygulamaları bitkinin yeşil aksamdaki ve tanesindeki NO₃⁻¹ konsantrasyonunu arttırmıştır.
- § Çinko uygulaması bitkide amino asit konsantrasyonunda önemli düzeyde azalışlara neden olmuştur. Azot uygulamaları dikkate alınmaksızın toprağa

Zn verilmediği durumda, bitkinin yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonu 9738 mg kg⁻¹ iken Zn'nun 0.02, 0.10 ve 5.00 mg kg⁻¹ verildiği durumda yeşil aksamdaki amino asit konsantrasyonu sırasıyla 5302, 4036 ve 1990 mg kg⁻¹ olmuştur. Aynı bulgular tanedeki amino asit konsantrasyonu için elde edilmiş, ancak, Zn uygulamasıyla azalan amino asit konsantrasyonun boyutu yeşil aksama kıyasla oldukça düşük kaldığı gözlenmiştir.

§ Azot uygulamaları yeşil aksamdaki ve tanedeki amino asit konsantrasyonunu arttırmıştır. Bu artış yeşil aksamda oldukça belirgin olmuş ve en düşük azot uygulamasına göre en yüksek N uygulamasıyla bitki yeşil aksamda 5.2 kez daha fazla amino asit konsantrasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Bitkide en fazla amino asit birikimi N uygulamasının yüksek ve Zn'nun hiç verilmediği koşulda görülmüştür.

Elde edilen sonuçlardan ve literatür bilgilerinden aşağıdaki önerileri sıralayabiliriz.

§ Çinko ve azot eksikliği olan alanlarda sözkonusu elementlerin gübrelenmesinin yapılması bitki büyümesi ve yeşil aksam ve dane verimi açısından önemlidir. Özellikle yetiştirilen bitkinin optimum düzeydeki element gereksiniminin mutlak bir şekilde belirlenmesi de gerekmektedir. Bu şekilde bitki elementlerden en yüksek faydayı sağlayacaktır.

§ Besin ortamın Zn ve N 'ca optimize edilmesi yalnızca verim açısından değil kalite özellikle protein düzeyi açısından da çok önemlidir. Azotun bitki büyümesinin geç dönemlerinde –çiçeklenmede- yapraktan üre veya benzeri maddelerin uygulanması tanedeki protein düzeyini arttırabilir.

§ Azotlu gübrelerin rizosfer pH'sı üzerindeki rolünü dikkate alarak yüksek pH'lı yerlerde NH₄⁺lu gübrelerin, düşük olduğu yerlerde NO₃⁻gübrelerin kullanılması bitkiye Zn beslenmesi açısından yarar sağlayacaktır.

§ Çinkonun total konsantrasyonun topraklarda bitki gereksiniminin çok üstünde olması nedeniyle toprakta Zn'yu etkin şekilde alabilecek ve kullanabilecek yeni çeşitlerin ıslahının yapılması gübrelemeden kaynaklı sorunlar (maliyet, tuzlulaşma, çevre sağlığı vb) önüne geçebilir.

KAYNAKLAR

- ALLOWAY, B.J., 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association Communications. IZA Publications, Brussels.
- ASSIMAKOPOULOU, A., 2006. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 110 (1): 21-29.
- BAIZE, D., 1997. *teneurs totales en elements traces metalligues dans les sols (France)*, INRA Editions, Paris. 409pp.
- BANZIGER, M., FEIL, B., SCHMID, J.E., STAMP, P., 1994. Utilization of late-applied fertilizer nitrogen by spring wheat genotypes. *Eur. J. Argon.* 3, 63-69.
- BARROW, N.J., 199. Mechanisms of Reaction of Zinc with Soil and Soil Components. Chap 2 in Robson, A.D. (ed) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 15-32.
- BETTGER, W. J. ANIL O'DELL, B. L. A. critical physiological role ot Zn in the structure and function of biomembran *Life Sci.* 28, 1425-1438.
- BLACK, M.M., 2003. Micronutrient deficiencies and cognitive functioning. *J. of Nutriiton* 133, 3927S-3931S
- BOARDMAN, N. K., 1975. Trace elements in photosynthesis *In Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems* Eds. D J D Nicholas and A R Efan. pp 199-212. Academy Press, London.
- BORIS, V., and SVECJAK, Z., 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops research*, 96, 125-132.
- BOWEN, H. J. M., CAUSE, P. A., and THİCK. J. 1962. The distribution of some inorganic elements in plant us *J.Exp. Hot.* 13,257-267.

- BRAY, T. M, KUBOW. S., and BEITGER, W. J. 1986. Effects of dietary Zn on endogenous free radical produclirat lung microsomes. *J. Nutr.* 116, 1054-1060.
- BROWN, P.H.,ÇAKMAK, I, and ZHANG, Q., 1993. Form and function of zinc in plants. Chap 7 in Robson, A.D. (ed) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 90-106.
- BROWN, J.C., 1979. Role of calcium in micronutrient stresses of plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10, 459 - 472.
- BURKE, J. P., and FENLON, M. R. 1985. Effects of zinc deficient diet on lipid peroxidation in liver and tumor subcellular membrane. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 179, 187-191
- ÇAKMAK, I., 2004. Identification and Correction of Widespread Zinc Deficiency in Turkey- A Success Story. *Proceedings 552, The International Fertiliser Society, York, UK.*
- ÇAKMAK, I., YILMAZ, A., KALAYCI, M., EKİZ, H., TORUN, B., ERENOĞLU, B., and BRAUN, H.J., 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil.* 180: 165-172.
- ÇAKMAK, I., EKIZ, H., YILMAZ, A., TORUN, B., KOLELI, N., GULTEKIN, I., ALKAN, A. and EKER, S. 1997a. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant and Soil*, 188, 1-10.
- ÇAKMAK, I., MARSCHNER, H. and BANGERTH, 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. Of Experimental Botany*, 40: 405-412.
- ÇAKMAK, I., TOLAY, I., OZKAN, H., OZDEMİR, A. & BRAUN, H.J. 1999b. Variation in zinc efficiency among and within *Aegilops* species. *Zeitschrift für Pflanzenernaehrung and Bodenkunde*, 162, 257-262.

- ÇAKMAK, I., KALAYCI, M., EKİZ, H., BRAUN, H. J. & YILMAZ A. 1999a. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-Science for Stability Project. *Field Crops Research*, 60, 175-188.
- ÇAKMAK, I. 2000. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146, 185-205.
- ÇAKMAK, I., ÇAKMAK, O., EKER, S., OZDEMİR, A., WATANABE, N. & BRAUN, H.J. 1999c. Expression of high zinc efficiency of *Aegilops tauschii* and *Triticum monococcum* in synthetic hexaploid wheats. *Plant and Soil*, 215, 203-209.
- ÇAKMAK, I., 2001. Screening wheat genotypes for zinc efficiency. In: *Perspectives on the Micronutrient Nutrition of Crops*. Eds: K. Singh, S. Mori, R.M. Welch, Scientific Publisher, Jodhpur
- ÇAKMAK, I., GULUT, K.Y., MARSCHNER, H. & GRAHAM, R.D. 1994. Effects of zinc and iron deficiency on phytosiderophores release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 17, 1-17.
- ÇAKMAK, I., OZTÜRK, L., EKER, S., TORUN, B., KALFA, H. I. & YILMAZ A. 1997b. Concentration of zinc and activity of copper/zinc-superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*, 151, 91-95.
- ÇAKMAK, I. and MARSCHNER, H. 1987. Mechanism of phosphorus - induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiol Plant*, 70, 13 - 20.
- ÇAKMAK, I., and MARSCHNER, H. 1988b. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc deficient plants. *J. Exp. Bot.* 39, 1449-1460.
- ÇAKMAK, I and MARSCHNER, H. 1988a. Increase in membrane permeability and exudation in roots of Zn Deficient Plants. *J. Plant Physiol.* 132,356-361.
- CASSMAN, K.G., BRYANT, D.C., FULTON, A.E., JACKSON, L.F., 1992. Nitrogen supply effects on partitioning of dry matter and nitrogen to grain of irrigated wheat. *Crop Sci.* 32, 1252-1258.

- CATLETT, K.M., HEIL, D.M., LINDSAY, W.L., EBINGERD, M.H., 2002. Soil Chemical Properties Controlling Zinc²⁺ Activity in 18 Colorado Soils. *Science Society of America Journal* 66:1182-1189
- CHAUDRY, F.M. and LONERAGAN, J.F. 1972. Zinc absorption by wheat seedlings. 1. inhibition by macronutrient ions in short term experiments and its relevance to long term zinc nutrition. *Soil Society of America Proceedings*. 36, 323 - 327.
- CHVAPIL, M., 1973. New aspects in the biological role of zinc: A stabilizer of macromolecules a membranes. *Life Sci*. 13, 1041 1049.
- COOPER, J.E., 1974. Effects of post-planting applications of nitrogenous fertilizer on grain yield, grain protein content, and mottling of wheat. *Queensl. J. Agric. Anim. Sci.* 31: 33-42
- D'ANTONIO, C.M., and MACK, M.C., 2006. Nutrient limitation in a fire-derived, nitrogen-rich Hawaiian grassland. *Biotropica* 38 (4): 458-467.
- DHUGGA, K.S., WAINES, J.G., 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Sci.* 29, 1232-1238.
- DOMINGO, A. L., NAYALOME, Y, TAMAI, M., and TAKAKI., 1990. Indole carboxylic acid in zinc deficient radish shoots *Soil Sci. Plant Nutri.* 36, 555-560.
- DONG, B., RENGEL, Z. & GRAHAM, R.D. 1995. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 18, 2761-2773.
- DONG, S.K., YANG, Z.F., LONG, R.J., HU, Z.Z., and KANG, M.M., 2005. Effect of N fertilizer on the productivity and nutritive values of perennial grass mixtures in the alpine region of Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Canadian J. Of Plant Sci.* (2): 361-368
- DWIVEDI, R. S., and TAKKAR, P. N., 1974. Ribonuclease activity as index of hidden hunger of zinc in crops. *Plant and Soil* 40, 170-181.

- EKİZ, H., BAGCI, S.A., KIRAL, S., EKER, S., GULTEKIN, I., ALKAN, A. and CAKMAK, I. 1998. Effects of zinc fertilization of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 2245-2256.
- ERENOGLU, B., CAKMAK I., MARSCHNER. H., ROMHELD, V., EKER, S., DAGHAN, H., KALAYCI, M. & EKIZ, H 1996. Phytosiderophore release does not relate well with Zn efficiency in different bread wheat genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 19, 1569-1580.
- ERENOGLU, B., CAKMAK, I., RÖMHELD, V., DERİCİ, R. & RENGEL, Z. 1999. Uptake of zinc by rye, bread wheat and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*, 209, 245-252.
- EVERSON, R. G., and SLACK, C. R. 1968. Distribution of carbonic anhydrase in relation to the C4 pathway of photosynthesis. *Phylochemisly* 7, 581-584.
- EYÜPOĞLU, F., KURUCU, N., and TALAZ, S., 1995. Türkiye topraklarının bitkiye yararlı mikroelementler bakımından genel durumu. *Toprak Gübre Araştırma Ens. 620/ A-002 Projesi Toplu Sonuç Raporu*.
- FALCHUK, K.11., HARDY, C., ULPINO, L., and VALLEE, B. L. 1978. RNA metabolism, manganese, and RNA p zinc sufficient and zinc deficient *Euglena gracilis*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 75, 4175-4 179.
- FELLNER, S.K. 1963. Zinc free plant carbonic anhydrase; lack of inhibition by sulfonamides. *Biochim Biophys Acta* 77, 155-156.
- FUJIWARA, A., and TSUTSUMI, M. 1954. Biochemical studies of micro-elements. *Tohoku J. Agr. Res.* 4, 47-52.
- GAUER, L.E., GRANT, C.A., GEHL, D.T., BAILEY, L.D., 1992. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Can. J. Plant Sci.* 72: 235-241
- GERLOFF, G.C. & GABELMAN, W.H. 1983. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: A. Läuchli and R.L. Bielecki. (Eds.) *Encyclopedia of plant physiology*. New series vol. 15B. Springer Verlag, New York. pp 453-480.

- GORHAM, J. 1990. Salt tolerance in the triticeae: K/Na Discrimination in synthetic hexaploid wheats. *Journal of Experimental Botany*, 41, 623-627.
- GORNY, A., J. UTERMAN, and W. ECKELMANN 2000. Germany: in *Heavy Metal (Trace Element) and Organic Matter Contents of European Soils*. European Commission, CEN Soil Team N 30, Secretariat, Netherlands Normalisatie – institute (NEN) Delft, The Netherlands.
- GOURLEY, C.J.P. ALLAN, D.L. & RUSSELLE, M.P. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, 158, 29-37.
- GRAHAM, R. D., ASCHER, J. S., and HYNES, S. C., 1992. Selecting zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil*. 146: 241-250.
- GRAHAM, R.D., and WELCH, R.M., 1996. Breeding for stable-food crops with high micronutrient density: Working papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No.3. International Institute, Washington D.C.
- GRILL, E, WINNACKER, E., and ZENK, M. H. 1985. Phytochelalins: the principle heavy metal complexing peptides of higher plants . *Science (Washington D.C.)* 230, 674-676.
- HACISALIHOGU, G., HART, J.J. & KOCHIAN, L.V. 2001. High- and low-affinity zinc transport systems and their possible role in zinc efficiency in bread wheat. *Plant Physiology*, 125, 456-463
- HATCH, M. D., and BURNELL, J. N. 1990. Carbon anhydrase activity in leaves and its role in the first step of C₄ photosynthesis. *Plant Physiol.* 93, 825-828.
- HOPKINS, B.G., WHITNEY, D.A., LAMOND, R.E., & JOLLEY, V.D., 1998. Phytosiderophore release by sorghum, wheat and corn under zinc deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 2623-2637.
- HOTZ, C., and BROWN, K.H., 2004. Assesment of rthe risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutrition Bull.* 25, 94-204.
- HU, H., and SPARKS, D. 1990. Zinc deficiency inhibits reproductive development in 'Stuart' pecan. *Hortscience* 25, 1392-1396.

- HUANG, C. S.J. BARKER, P. LANGRIDGE, F.W. SMITH and R.D. GRAHAM
2000. Zinc deficiency up-regulates expression of high-affinity phosphate transporter genes in both phosphate-sufficient and –deficient barley roots. *Plant Physiology*, 124, 415 – 422.
- JENDRISAK, J., and BURGESS, R. R. 1975. A new method for the large scale purification of wheat germ DNA-dependent RNA polymerase II. *Biochemistry* 14, 4639.
- JOHNSON, W. J., and SCHRENK, W. G. 1964. Nature of zinc containing substances in the alfalfa plant cell. *Agr. Food Chem.* 12.210-213.
- JYUNG, W. U, EHMANN, A, SCHLENDORF, K. K., and SCALA, J. 1975. Zinc nutrition and starch metabolism in *phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.* 55, 414-420.
- KABATA - PENDIAS, A. and H. PENDIAS 1992. *Trace Elements in Soils and Plants* (2nd edition) CRC Press, Boca Raton.365 pp.
- KALAYCI, M., TORUN, B., EKER, S., AYDIN, M., OZTURK, L. and CAKMAK, I. 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research* 63, 87-98.
- KELLEY, K.W., 1995. Rate and time of nitrogen applications for wheat following different crops. *J. Prod. Agric.* 8: 339-345
- KHAN, A., and WEAVER, C. M., 1989. Pattern of Zn incorporation into soybean seeds by root absorption, stem injection and foliar application. *J. Agric. Food Chem.* 37, 855-860.
- KIEKENS, L 1995. Zinc, in Alloway, B.J. (ed) *Heavy Metals in Soils* (2nd edition). Blackie Academic and Professional, London, pp 284 - 305.
- KITAGISHI, K., and OBATA, H., 1986. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis. *Soil Sci. Plant Nutr.*(Tokyo) 32,397-405

- KÍRK, G.J.D. and J.B. BAJÍTA. 1995. Root - induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilisation in the rhizosphere of lowland rice. *New Phytologist*, 131, 129 - 137.
- KITAGISHI, K, OBATA, II., and KONDO, T. 1987. Effect of zinc deficiency on 80S ribosomic content of meristematic tissues of rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33, 423-429.
- KITAGISHI. K., and OBATA, H. 1986. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, 397-405.
- KLEIN, R. M., CAPTUTO, E. M., and WITTERHOLE, B. A. 1962. The role of zinc in the growth of plant tissue culture. *Am. J. Bot.* 49, 323-327.
- KOCHÍAN, L. V. 1993. Zinc absorption from hydroponic solution by plant roots. Chap 4 in Robson, A.D. (ed) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 45-58.
- LAW, D. M., 1987. Gibberellin enhanced indole-3-acetic acid biosynthesis: D-tryptophan as the precursor of indole-3-acetic acid. *Physiol. Plant.* 70, 626-632.
- LONERAGAN, J.F. and M.J. WEBB 1993. Interactions between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants. Chap 9 in Robson, A.D. (ed) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 119 - 134.
- MARSCHNER, H., 1993. Zinc Uptake from Soils, Chap 5 in Robson, A.D. (ed) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 59-78.
- MARSCHNER, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants* 2nd. Edition. Academic Press Inc. London, G.B.,p,446.
- MARSCHNER, H., V. RÖMHELD and I. CAKMAK 1987. Root - induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition*, 10, 1175 - 1184.

- MARSCHNER, H. and SCHROPP, A. 1977. Vergleichende Untersuchungen über die Empfindlichkeit von 6 Unterlagensorten der Weinrebe gegenüber Phosphat - induzierten Zink - Mangel. *Vitis*, 16, 79 - 88.
- MIRZAPOUR, M.H., KHOSHGOFTAR, A.H., 2006. Zinc application effects on yield and seed oil content of sunflower grown on a saline calcareous soil. *J. of Plant Nutr.*, 29 (10): 1719-1727.
- MORI, S., NISHIZAWA, N., HAYASHI, H., CHINO, M., YOSHIMURA, E. & ISHIHARA, J. 1991. Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency ? *Plant and Soil*, 130, 143-156.
- MUIR, R. M., and LANTICAN, B. P. 1968. *hi* Physiology and Biochemistry of Plant Growth Substances. Eds. G Settefield and F Wightman. pp 259-272. Range Press, Ottawa.
- NAMBIAR, E.K.S. 1976. The uptake of zinc - 65 by oats in relation to soil water content and root growth. *Australian Journal of Soil Research*, 14, 67-74.
- NAVAK, R., CHAUHAN, R.P.S., and SINGH, G., 1997. Effect of nitrogen and zinc on wheat (*Triticum aestivum*) yield, and nutrients uptake under partially reclaimed sodic soil. : *Indian J. Of Agro.*, 42 (2): 293-296.
- NEUE, H.U., C. QUIJANO, D. SENADHIRA and T. SETTER 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. *Field Crops Research*, 56, 139-155.
- NEUE, H.U. and C.P. MARMARIL 1985. Zinc, sulfur and other micronutrients. In: *Wetland soils: Characterization, Classification and Utilization*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp 307 - 320.
- OBATA, H. and UMEBEYASHI, M. 1988. Effect of zinc deficiency on protein synthesis in cultured tobacco plant cells *Soil Sci.Plant Nutr.(Tokyo)*34,351-357.
- OHKI, K., 1976. Effect of zinc nutrition on photosynthesis and CA activity in cotton. *Physiol. Plant.* 38, 300-304.

- OLSEN, S. R., 1972. Micronutrient interaction. In *Micronutrients in Agriculture*. Eds. J J Mortvedt, P M Giordano, W L Lindsay, pp 199-227. American Society of Agronomy, Madison.
- PRASK, J. A., and PLOCKE, D. J., 1971. A ROLE for zinc in the structural integrity of cytoplasmic ribosomes of *Euglenagracilis*. *Plant Physiol.* 48, 150-155.
- RANDALL, P. J., and BOUMA, D. 1973. Zinc deficiency, carbonic anhydrase and photosynthesis in leaves of spinach *Plant Physiol.* 52, 229-232.
- REED, H. S., 1941. The relation of zinc to seed production. *J. Agr. Res.* 4, 635-644.
- RENGEL, Z. & ROMHELD, V. 2000a. Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm. *Euphytica*, 113, 219-225
- RENGEL, Z. 2001. Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. *Communications in Soil and Plant Analysis*, 32, 1163-1186
- RENGEL, Z. 1999. Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. pp. 227-265. In: Z. Rengel (ed.) *Mineral Nutrition of Crops*
- RENGEL, Z. & ROMHELD, V. 2000b. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. *Plant and Soil*, 222, 25-34
- RENGEL, Z., MARSCHNER, H. & RÖMHELD, V. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Physiology*, 152, 433-448.
- RENGEL, Z. & WHEAL, M.S. 1997a. Herbicide chlorsulfuron decreases growth of fine roots and micronutrient uptake in wheat genotypes. *Journal of Experimental Botany*, 48, 927-934.
- RENGEL, Z. & WHEAL, M.S. 1997b. Kinetic parameters of zinc uptake by wheat are affected by the herbicide chlorsulfuron. *Journal of Experimental Botany*, 48, 935-941.
- RENGEL, Z. 1995. Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Physiology*, 147, 251-257.

- RICEMEAN, D.C. and JONES, G.B. 1959. Distribution of zinc and copper in subterranean clover (*Trifolium subterraneum L.*) grown in culture solution supplied with graduated amount of zinc. Aust. J. Agr. Res. 973-122.
- SALAMI, A. U., and KENEFICK, D. C., 1970. Stimulation of growth in zinc-deficient com seedlings by the addition of tryptophan. Crop Sci. 10, 291-294.
- SCHMID W E, HAAG H P and EPSTEIN E 1965. Absorption of zinc by excised barley roots. Physiol. Plant. 18, 860-869.
- SEETHAMBARAM Y and Das VSR 1984. RNA and RNase of rice (*Oryza sativa L.*) and pearl millet (*Pennisetum americanum L. Leeke*) under zinc deficiency. Plant Physiol. Biochem. 11, 91-94.
- SEETHAMBARAM, Y., and DAS VSR 1985. Photosynthesis and activities and C3 and C4 photosynthetic enzyme: under zinc deficiency in *Oryza sativa L.* and *Pennisetum americanum(L.) Leeke*. Photosynthetica 19,72-79.
- SHARMA, P.K., YADAV, G.L., SHARMA, B.L., and KUMAR, S., 2000. Response of wheat (*Triticum aestivum*) to nitrogen and zinc fertilization. Indian J. Of Agro., 45 (1): 124-127.
- SHARMA, C.P., SHARMA. P.N., BÍSHT, S. S., and NAUTIYAL, B.D., 1982. Zinc deficiency induced changes in cabbage. In 'Proceedings of the Ninth Plant Nutrition Colloquium, Warwick, England' (A. Scaife, ed.), pp. 601-606. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Bucks.
- SHARMA, P.N, CHATTERJEE, C., SHARMA, C. P, NAUTIYA, N., and AGARWALA, S.C. 1979 Effect of zinc deficiency on development and physiology of wheat pollen. J. India Bot. Soc 58,330-334.
- SHKOLNIK, M. Y, DAVYDAVA, V.N. and MOCHENIAT, K. 1 1975. Effect of zinc on the content of gibberellin-like substances in *phaseolus* leaves. Fiziol. Rast. 22, 1021-1024 {Russian}.
- SHROTRI, C. K, TEWARI, M. N., and RATHORE, V.S. 1980. Effects of zinc nutrition on sucrose biosynthesis in maize Pliytochemistry 19,139-140

- SINGH, R. R., and GANGWAR, M. S. 1974. *Indian J. Agr. Sci.* 43, 567.
- SKOOG, F., 1940. Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants. *Am. J. Bot.* 27. 939-950.
- SLATON, N.A., NORMAN, R.J., and WILSON, C.E., 2005. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. *Agronomy J.* 97 (1): 272-278.
- SOWERS, K.E., PAN W.L., MILLER, B.C., SMITH, J.L., 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Argon. J.* 86, 942-948.
- SPIERTZ, J.H.J., 1983. Agronomical and physiological aspects of the role nitrogen in yield formation cereals. *Plant Soil*, 75, 379-391.
- SUGE, H, TAKAHASHI, H, ARITA, S., and TAKAKI, H., 1986. Gibberellin relationships in zinc-deficient plants. *Plant Cell Physiol.* 27, 1010-1012.
- TAKAKI, H, and ARITA, S., 1985. Free tryptophan in zinc deficient oat and barley. *Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ* 32,307-315.
- TAKAKI, H, and ARITA S., 1986. Tryptamine in zinc-deficient barley. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, 433-442.
- TAKAKI, H., and KUSHIZAKI, M 1970. Accumulation of free tryptophan and tryptamine in zinc deficient maize seedling. *Plant Cell Physiol.* 11, 793-804.
- TAKAKI, H., and KUSHIZAKI, M. 1976. Zinc nutrition in higher plants. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci.* 28B, 75-118.
- TAKKAR, P.N., CHIBBA, I.M., and MEHTA, S.K., 1989. Twenty Years of Coordinated Research of Micronutrients in Soil and Plants (1967-1987). Indian Institute of Soil Science, Bhopal, IISS, Bull. I. p.314.0
- TOBIN, A.J., 1970. Carbonic anhydrase from parsley leaves. *J. Biochem.* 245, 2656-2666.

- TOLAY, I., ERENOGLU, B., RÖMHELD, V., BRAUN, H. B. & ÇAKMAK, I. 2001. Phytosiderophore release in *Aegilops tauschii* and *Triticum* species under zinc and iron deficiencies. *Journal of Experimental Botany*, 52, 1093-1099.
- TORRE, M., RODRIGUEZ, A R and SAURA-CALIXTO, F. 1991. Effect of diet on fiber and phytic acid on mineral availability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1, 1-22.
- TORUN, B., BOZBAY, G., GULTEKIN, I., BRAUN, H.J., EKIZ, H. & ÇAKMAK, I. 2000. Differences in shoot growth and zinc concentration of 164 bread wheat genotypes in a zinc-deficient calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 1251-1265.
- TREEBY, M., MARSCHNER, H. & RÖMHELD, V. 1988. Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcareous soil by plant-borne, microbial, and synthetic metal chelators. *Plant and Soil*, 114, 217-226.
- TSUI, C., 1948. The role of zinc in auxin synthesis in tomato plant. *Am. J. Bot.* 35, 172-179.
- TURNER R.G., 1970. The subcellular distribution of zinc and copper within the roots of metal-tolerant clones of *Agrostis tenuis sibth.* *New Phytol* 69, 725-731
- TURNER, R.G. and MARSHALL C. 1971. The accumulation of Zn by root homogenates of zinc-tolerant clones of *Agrostis tenuis sibth.* *New Phytol.* 70, 539-545
- VALLEE, B.L., 1983. Zinc in biology and biochemistry. *In Zinc Enzymes.* Ed. T G Spiro. pp 1-24. John Wiley and Sons, New York.
- WAINES, J. G., 1994. High temperature stress in wild wheats and spring wheats. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 705-715.
- WAINRIGHT, S.J. and WOOLHOUSE, H.W. 1978. Inhibition by zinc of cell wall acid phosphatase from roots in zinc-tolerant and non-tolerant clones of *Agrostis tenuis sibth.* *J. Exp. Bot.* 29, 525-531.

- WALKER, C.D., and WELCH, R. M., 1987. Low molecular weight complexes of zinc and other trace metals in lettuce leaf. *J. Agr. Food Chem.* 35, 721-727.
- WALTER, A, RÖMHELD, V., MARSCHNER, H. & MORI, S. 1994. Is the release of phytosiderophores in zinc-deficient wheat plants a response to impaired iron utilization? *Physiologia. Plantarum*, 92, 493-500.
- WELCH, R.M., and GRAHAM, R.D., 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55, 353-364.
- WELCH, R M, HOUSE, W. A., and ALLAWAY, W. H., 1974. Availability of zinc from pea seeds to rats. *J. Nutr.* 104, 733.
- WELCH, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14, 49-82.
- WELCH, R.M, WEBB M.J. and LONERAGAN, J.F. 1982. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity [Crops]. *In Plant Nutrition 1982: Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium*, Warwick University, England, August 22-27, 1982. Ed. A Scaife. pp 710-715.
- WHITE, J.G., and ZAOSKI, R.H., 1999. Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research* 60, 11-26.
- WOOLFOLK, C.W., RAUN, W.R., JOHNSON, G.V., THOMASON, W.E., MULLEN, R.W., WYNN, K.J., and FREEMAN, K.W., 2002. Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. *Agron. J.* 94: 429-434.
- WUEST, S.B., CASSMAN, K.G., 1992. Fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated wheat. I. Uptake efficiency of preplant vs. late-season application. *Argon. J.* 84: 682-688.
- ZHANG, F., RÖMHELD, V. & MARSCHNER, H. 1989. Effect of zinc deficiency in wheat on the release of zinc and iron mobilizing root exudates. *Zeitschrift für Pflanzenernährung and Bodenkunde*, 152, 205-210.

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Manisa-Alaşehir’de doğdum. İlköğrenimi Alaşehir’de tamamladım. Orta ve Lise öğrenimimi İzmir’de tamamladım. 1992 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde Lisans öğrenimime başladım. 1996 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimime başladım ve öğrenimime devam etmekteyim. Tarım Reformu Genel Müdürlüğünde Ziraat Mühendisi olarak görev yapmaktayım.