

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KİNOA BİTKİSİNDE (*Chenopodium quinoa* Willd.) ÇİNKO
UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ VE DANEDE ÇİNKO
BİOFORTİFİKASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ**

Ali GULİYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KİNOA BİTKİSİNDE (*Chenopodium quinoa* Willd.) ÇİNKO
UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ VE DANEDE ÇİNKO
BİOFORTİFİKASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ**

Ali GULİYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİNOA BİTKİSİNDE (*Chenopodium quinoa* Willd.) ÇİNKO
UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ VE DANEDE ÇİNKO
BİOFORTİFİKASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Ali GULİYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİNOA BİTKİSİNDE (*Chenopodium quinoa* Willd.) ÇİNKO
UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ VE DANEDE ÇİNKO
BİOFORTİFİKASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Ali GULİYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 18 / 07 /2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İlker SÖNMEZ

Prof. Dr. Sahriye SÖNMEZ

Prof. Dr. İbrahim ERDAL

ÖZET

KİNOA BİTKİSİNDE (*Chenopodium quinoa* Willd.) ÇİNKO UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ VE DANEDE ÇİNKO BİOFORTİFİKASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Ali GULİYEV

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlker SÖNMEZ

Haziran 2025; 54 sayfa

Bu çalışma, beyaz kinoa bitkisinde farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan Zn gübrelemesinin danede Zn biyofortifikasyonu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla topraktan 4 dozda (T0:0, T1:4.5, T2:9.0 ve T3:13.5 kg ha⁻¹) ve yapraktan 4 dozda (% Y0:0, Y1:0.07, Y2:0.14 ve Y3:0.21) Zn gübrelemesi tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde kinoa bitkilerine uygulanmıştır. Tarla koşullarında yürütülen bu araştırmada, kinoa bitkisinde dane verimi ve gelişim parametrelerinin yanı sıra, besin elementi içerikleri ile toprak özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre yapılan değerlendirmede; danede Zn biyofortifikasyonunu sağlama bakımından ise hem toprakta hem de yaprakta maksimum Zn dozları olan T3 ve Y3 dozlarından, Toprak*Yaprak interaksiyonunda da T3Y3 uygulamasının maksimum Zn içeriği 100.60 mg kg⁻¹ sağladığı belirlenmiştir. Danede Zn birikiminde kontrole göre T3 ile %40.9, Y3 ile %57.3 ve T3Y3 ile %112.8 oranında artış sağlanmıştır. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda Zn gübrelemesinin toprak Zn konsantrasyonu üzerine T2 ve T3 uygulamalarının maksimum değerleri sağladığı belirlenmiş, topraktan ve yapraktan farklı dozlarda Zn gübrelemesi ile danede azot içeriğinde yapraktan Y3 uygulamasından ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda T2Y3 uygulamasından, danede kalsiyum içeriğinde topraktan T3 uygulamasından, yapraktan Y3 uygulamasından ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda T3Y3 uygulamasından ve danede magnezyum içerikleri topraktan T3 uygulamasından elde edilmiştir. Kinoa bitkisinin danede protein içeriklerinde de yapraktan Y3 uygulamasından ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda T2Y3 uygulamasından en yüksek değerler elde edilmiştir. Çinko biyofortifikasyonu, beslenme kalitesini artırarak insan sağlığına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, çinko uygulamalarıyla kinoa bitkisinin biyofortifikasyon için uygun bir model olduğu belirlenmiş; ayrıca çinko gübrelemesinin sürdürülebilir tarım ve sağlıklı, glutensiz gıda üretimi açısından önemli katkılar sunduğu vurgulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Biyofortifikasyon, Çinko, Dane, Kinoa

JÜRİ: Doç. Dr. İlker SÖNMEZ

Prof. Dr. Sahriye SÖNMEZ

Prof. Dr. İbrahim ERDAL

ABSTRACT

EFFECTS OF ZINC APPLICATIONS ON PLANT GROWTH AND ZINC BIOFORTIFICATION IN QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CROPS

Ali GULIYEV

MSc Thesis, Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlker SÖNMEZ

June 2025; 54 pages

This study was carried out to investigate the effects of different doses of Zn fertilization applied from soil and leaves on grain biofortification in white quinoa. For this purpose, 4 doses of zinc fertilizer (0, 4.5, 9.0 and 13.5 kg ha⁻¹) from the soil and 4 doses (0, 0.07, 0.14 and 0.21%) from the leaves were applied to quinoa plants in randomized blocks according to a factorial design with 3 replications. In this study, carried out under field conditions, the yield and some plant growth parameters of quinoa yield parameters were studied, as well as changes in nutrient content and soil properties. According to the results of the research, with different doses of Zn fertilization by soil (T) and foliar (Y), the nitrogen content in grain was higher with foliar application Y3 (0.21% Zn) and T2Y3 application (4.5 kg ha⁻¹ Zn + 0.21% Zn), the calcium content in grain was obtained with the T*Y interaction of T3 soil application (13.5 kg ha⁻¹ Zn), Y3 foliar application (0.21% Zn) and T3Y3 application (13.5 kg ha⁻¹ Zn + 0.21% Zn) and the magnesium content in grain was obtained with T3 soil application (13.5 kg ha⁻¹ Zn). In terms of providing Zn biofortification in grain, it was found that T3 and Y3 doses, which were the maximum Zn doses in both soil and leaf, and T3Y3 application provided the maximum zinc content in T*Y interaction. Zn accumulation in grain increased by 40.9% with T3, 57.3% with Y3 and 112.8% with T3Y3 compared to the control. It was found that T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn) and T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn) gave maximum values of zinc concentration in soil with different doses of zinc fertilization from soil and foliar. The highest values were obtained from Y3 foliar application (0.21% Zn) and T2Y3 application (9.0 kg ha⁻¹ Zn + 0.21% Zn) in T*Y interaction. Zinc biofortification aims to improve nutritional quality through positive effects on human health. In this context, it was concluded that quinoa could be considered as a model crop for zinc biofortification applications. The study also highlighted the importance of zinc fertilization in terms of sustainable agriculture and economic benefits. With the significant contributions of zinc applications in terms of nutrient enrichment in quinoa grains, healthier food production, adequate nutrition and improved quality of life for gluten-free individuals will be achieved.

KEYWORDS: Biofortification, Grain, Quinoa, Zinc

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İlker SÖNMEZ

Prof. Dr. Sahriye SÖNMEZ

Prof. Dr. İbrahim ERDAL

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı gerçekleştirirken değerli bilgilerini, ilgisini ve kıymetli zamanını benden esirgemeyerek bana her zaman yol gösteren saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. İlker SÖNMEZ'e ve tez savunmamda değerli katkılarını esirgemeyen jüri üyelerine teşekkürlerimi arz ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde emeği geçen tüm Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü hocalarıma ve Akdeniz Üniversitesi İdarecileri'ne ayrı ayrı şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans tez çalışmamda, bilgi, destek ve yardım sağlayan Zir. Yük. Müh. Ali KOÇ'a ve laboratuvar çalışmalarımnda yardımcı olan Zir. Yük. Müh. Aylin ZAMBAK ÖZGÜR, Arş. Gör. Buşra ÇALIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma yaptığım arazini bize tahsis eden ve destek sağlayan Nahçıvan Tarımsal Bilimsel – Araştırma Enstitüsü Başkanı Sayın Doç. Dr. Günel SEYİDZADE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Zehra SEYİDGIZI, babam Cafergulu GULİYEV ve abim Şehriyar GULİYEV'e teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Kinoa (Chenopodium quinoa Willd.)	3
2.2. Çinko	4
2.3. Biyofortifikasyon	6
2.4. Biyofortifikasyonla ilgili yapılan araştırmalar.....	11
3. MATERYAL VE METOT.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Denemenin kurulduğu alan ve toprak özellikleri.....	14
3.1.2. Denemede kullanılan bitki ve özellikleri	14
3.1.3. Araştırma alanının iklim özellikleri.....	15
3.2. Metot	16
3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi	16
3.2.2. Hasat ve alınan ölçümler	18
3.2.3. Laboratuvar çalışmaları	19
3.2.4. İstatistiksel analiz yöntemleri	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Bitkilerin bazı morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesi	22

4.1.1.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının ana salkım uzunluğu üzerine etkileri	22
4.1.2.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri	22
4.1.3.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının bitki sayısı değerleri üzerine etkileri	23
4.1.4.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine etkileri	24
4.1.5.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının 1000 dane ağırlığı üzerine etkileri.....	25
4.1.6.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının dane verimi üzerine etkileri	25
4.1.7.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının hasat indeksi (%) üzerine etkileri.....	26
4.1.8.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danede protein (%) içeriği üzerine etkileri	27
4.2.	Kinoa bitkisinde dane analizlerinin değerlendirilmesi	28
4.2.1.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin çinko içeriğine etkileri.....	28
4.2.2.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin azot içeriğine etkileri.....	29
4.2.3.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin fosfor içeriğine etkileri.....	30
4.2.4.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin potasyum içeriğine etkileri.....	31
4.2.5.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin kalsiyum içeriğine etkileri.....	32
4.2.6.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin magnezyum içeriğine etkileri.....	32
4.2.7.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin mangan içeriğine etkileri.....	33
4.2.8.	Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin bakır içeriğine etkileri.....	34

4.3. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprak özelliklerine etkileri.....	35
4.3.1. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprak pH düzeylerine etkisi	35
4.3.2. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprak EC düzeylerine olan etkileri.....	35
4.3.3. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta çinko içeriklerine etkileri	36
4.3.4. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta toplam azot içeriklerine etkileri	37
4.3.5. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta alınabilir fosfor içeriklerine etkileri	37
4.3.6. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir potasyum içeriklerine etkileri	38
4.3.7. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir kalsiyum içeriklerine etkileri.....	39
4.3.8. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir magnezyum içeriklerine etkileri	39
4.3.9. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta mangan içeriklerine etkileri	40
4.3.10. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının toprakta bakır içeriklerine etkileri.....	41
5. SONUÇLAR.....	42
6. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kinoa Bitkisinde (*Chenopodium quinoa* Willd.) Çinko Uygulamalarının Bitki Gelişimi ve Danede Çinko Biyofortifikasyonu Üzerine Etkileri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

18/ 07 / 2025

Ali GULİYEV

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	: Karbon
C*	: Kroma
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
Cl	: Klor
cm	: santimetre
Cu	: Bakır
da	: dekar
dS m ⁻¹	: desisiemens/metre
Fe	: Demir
H	: Hidrojen
H°	: Hue açısı
g	: gram
g L ⁻¹	: gram/litre
ha	: hektar
HCl	: Hidroklorik Asit
HNO ₃	: Nitrik Asit
K	: Potasyum
K ₂ O	: Potasyum Oksit
kg	: kilogram

kg da^{-1}	: kilogram/dekar
kg m^{-2}	: kilogram/metrekaare
km	: kilometre
km^2	: kilometrekare
L^*	: Renk Derecesi (Parlaklık)
L	: litre
m	: metre
M	: Molar
m^2	: metrekaare
Mg	: Magnezyum
mg	: miligram
mg L^{-1}	: miligram/litre
mg kg^{-1}	: miligram/kilogram
ml	: mililitre
ml da^{-1}	: mililitre/dekar
ml L^{-1}	: mililitre/litre
mm	: milimetre
Mn	: Mangan
N	: Azot
Na	: Sodyum
nm	: nanometre
O	: Oksijen
ppm	: Milyonda bir
P	: Fosfor
pH	: Hidrojen iyonu aktivitesinin eksi logaritması

P₂O₅ : Fosfor Pentoksit

ton da⁻¹ : ton/dekar

Zn : Çinko

% : Yüzde işareti

°C : Derece santigrat

*** : %0.1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli

** : %1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli

* : %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli

Kısaltmalar

DTPA : Dietilentriamin Pentaasetik Asit

EC : Elektriksel iletkenlik

FAO : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

öd : İstatistiki olarak önemli değil

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Mineral mikro besin biyofortifikasyon bitki fizyolojik süreçlerine etkisi, insan sağlığı ve bağışıklık ile ilişkisi	8
Şekil 3.1	Deneme alan görüntüsü	15
Şekil 3.2	Araştırma sonundaki beyaz kinoa bitkisinin tarla koşullarındaki görünümü, gelişim dönemini yansıtmaktadır.	15
Şekil 3.3	Nahçıvan şehri Mart-Ağustos 2024 dönemi ortalama sıcaklık ve yağış miktarı	16
Şekil 3.4	Deneme alanında toprak hazırlığı ve parsellerin hazırlanması	16
Şekil 3.5	Kinoa bitkilerine yapraktan çinko uygulaması.....	18
Şekil 3.6	Kinoa danelerinin laboratuvarda kabuk ve saponinlerinden arındırılması	19
Şekil 3.7	Toprak analizlerinin laboratuvarda analizlerin gerçekleştirilmesi	20

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Kinoa ve bazı bitki tohumlarının besin maddesi oranları	4
Çizelge 2.2	En çok tüketilen sebzelerin (patates, domates, marul, havuç ve soğan) biyofortifikasyon öncesi ve sonrası ortalama demir (Fe), çinko (Zn), molibden (Mo), selenyum (Se) ve silikon (Si) konsantrasyonu	13
Çizelge 3.1	Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ...	14
Çizelge 3.2	Denemede yapraktan ve topraktan uygulanan çinko dozları	17
Çizelge 4.1	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde ana salkım uzunluğu (cm) üzerine olan etkileri.....	22
Çizelge 4.2	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitki boyu (cm) üzerine olan etkileri.....	23
Çizelge 4.3	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde parseldeki bitki sayısı (adet parsel ⁻¹) değerleri üzerine olan etkileri.....	24
Çizelge 4.4	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitkisindeki salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine olan etkileri.....	24
Çizelge 4.5	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının 1000 dane ağırlığı (g) içerikleri üzerine olan etkileri.....	25
Çizelge 4.6	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının dane verimi (g) içerikleri üzerine olan etkileri	26
Çizelge 4.7	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının hasat indeksi (%) içerikleri üzerine olan etkileri	26
Çizelge 4.8	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danede protein kapsamı üzerine olan etkileri (%)	27
Çizelge 4.9	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danede çinko kapsamı üzerine olan etkileri (mg kg ⁻¹)	28
Çizelge 4.10	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin azot kapsamı üzerine olan etkileri (%).	29
Çizelge 4.11	Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin fosfor kapsamı üzerine olan etkileri (%).	30

Çizelge 4.12	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin potasyum kapsamı üzerine olan etkileri (%).....	31
Çizelge 4.13	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin kalsiyum kapsamı üzerine olan etkileri (%).....	32
Çizelge 4.14	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin magnezyum kapsamı üzerine olan etkileri (%).....	33
Çizelge 4.15	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin mangan kapsamı üzerine olan etkileri (mg kg ⁻¹).....	34
Çizelge 4.16	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin bakır kapsamı üzerine olan etkileri (mg kg ⁻¹).....	34
Çizelge 4.17	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta pH düzeyleri üzerine olan etkileri	35
Çizelge 4.18	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta EC düzeyleri üzerine olan etkileri (dS m ⁻¹).....	36
Çizelge 4.19	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Zn (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri	36
Çizelge 4.20	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta toplam N (%) düzeyleri üzerine olan etkileri	37
Çizelge 4.21	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta alınabilir P (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri.....	38
Çizelge 4.22	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta değişebilir K (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri	38
Çizelge 4.23	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta değişebilir Ca (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri	39
Çizelge 4.24	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Mg (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri.....	40
Çizelge 4.25	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Mn (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri.....	40
Çizelge 4.26	Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Cu (mg kg ⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri.....	41

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun artmasıyla besine olan ihtiyacın da paralel olarak sürekli artış göstereceği bilinen bir gerçektir. Dünya nüfusu 1974 yılında yaklaşık 4 milyar iken, günümüzde bu rakam 8 milyarı aşmıştır. Bu durum, besin talebinin hızla arttığını göstermektedir. Besin talebinin yükseldiği bir ortamda, ürün kalitesi ve yüksek verimlilik konusu da giderek daha fazla önem kazanmaktadır (UN DPI 2013).

Gelişmiş ülkelerde besin elementi eksiklikleri neredeyse yok denecek kadar azken, Afrika ve Asya kıtalarında bu sorun büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ortalama bir insanın günlük besin ihtiyacı yaklaşık 1-1.5 kg civarındayken, günlük kalori ihtiyacı 2.000 ila 2.500 kalori arasında değişmektedir. Kişi başına yıllık besin talebi, ABD’de 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 494 kg olarak öngörülürken, Avrupa’da bu rakamın 523.4 kg olması beklenmektedir. Buna karşın, Afrika’da kişi başına düşen yıllık besin talebi 2024’te 150.9 kg olarak tahmin edilmekte, Asya’da ise bu rakam ortalama 339.5 kg civarındadır (Statista 2025).

Dünya genelindeki temel besin talebinin büyük bir kısmını hububat ürünleri oluşturmaktadır. Özellikle buğday, dünya çapında en fazla tüketilen temel gıda maddesidir. Ancak, besin eksikliği yalnızca miktar açısından değil, aynı zamanda besin elementleri açısından da bir sorun oluşturmaktadır. İnsan vücudunda 94 besin elementi bulunmasına rağmen, bunların yalnızca 61’i gıdalar yoluyla temin edilmektedir. Hububat gibi temel besinlerdeki makro ve mikro element eksiklikleri, insanlarda ve hayvanlarda çeşitli hastalık ve fizyolojik sorunlara yol açmaktadır. En yaygın eksiklikler arasında çinko (Zn), demir (Fe) ve A vitamini yer almaktadır (Örnek 2019).

Besin elementleri eksikliğinin temel nedenleri arasında toprak koşulları, iklimsel faktörler ve bitki çeşitleri bulunmaktadır. Toprakların pH değeri, besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilirliğini doğrudan etkiler. Bitkilerin en verimli şekilde besin elementi alabileceği pH aralığı 5.5 ile 7.0 arasında olup, ideal pH değeri 6.5’tir. Düşük pH seviyeleri, toksik elementlerin (örneğin Mn, Fe ve Al) çözünürlüğünü artırarak bitki gelişimini olumsuz etkileyebilir (Gözel 2016).

Dünyada insan nüfusunun sürekli artış eğiliminde olması nedeniyle gıdaya talep de durmadan artmaktadır. Asya, Türkiye ve Çin’de buğday günlük kalori alımının %70’inden fazlasına katkıda bulunur. İnsanlar besin elementi ihtiyaçlarını bitkisel ve hayvansal ürünlerden almaktadır ve bu tarz beslenme bazı özel hassasiyeti olan insan gruplarında farklılaşmalara neden olmaktadır. Özellikle glutensiz ürüne ihtiyaç duyan kişilerin bu ürünlere ulaşma sorunları ve yeterince yaygınlaşmaması sonucunda hastaların zorluk yaşamasına neden olabilmektedir. Özel beslenmeye ihtiyaç duyan ve özellikle glutensiz ürün kapsamında önemli bir alternatif olan kinoa bitkisinin ekim alanları kısmen artış halindedir. Temel beslenmede daha çok hububat grubunun başat olduğu koşullarda olduğu gibi kinoa bitkisi de mevcut toprak koşullarından gerekli besin ihtiyaçlarının tamamını sağlayamamaktadır. Tohumları gluten içermediği için glutene duyarlılığı olan çölyak hastaları (gluten alerjisi) ve veganlar (hayvansal ürün yemeyenler) için protein ve karbonhidrat ihtiyaçlarını karşılayan besleyici bir besindir (Başkan 2023).

Kinoa, ana vatanı And Dağları olan ve 4.000 metreye kadar yetişebilen bir bitki türüdür. Kinoa, iklim değişikliklerine dayanıklı ve kuraklığa toleranslıdır. Her türlü

toprakta yetişebilme kapasitesine sahip olan kinoa, glüten içermemesi, lif ve besin oranlarının yüksek olması nedeniyle besleyici bir gıda kaynağıdır. Türkiye’de en fazla beyaz kinoa tüketilmektedir ve bu çeşit glüten hastalarının diyetlerinde sıkça yer almaktadır. Glütene hassas bireyler, buğday ve diğer glüten içeren bitkilerden alamadıkları besin elementlerini kinoaadan alabilmektedir. Zenginleştirilmiş besinler bu bireyler için büyük bir hayati önem taşımaktadır (Başkan 2023).

Dünyada, çölyak hastaları ve diyetik beslenme zorunluluğu olan kişiler için biyofortifikasyon yapılmış gıdalar önemli bir çözüm sunmaktadır. Çinko yetersizliği yaşayan bireyler için, çinko biyofortifikasyonu ile zenginleştirilmiş besinler oldukça değerli hale gelmiştir. Biyofortifikasyon besinlerin, ilaç kullanımı yerine günlük gıda yoluyla alınması sağlık açısından daha uygun kabul edilmektedir (Kahyaoglu ve Demirci 2019).

Gıda yetersizliği ve besin elementleri eksikliği, dünya genelinde artan bir sorundur. Bu soruna karşı bilimsel ve teknolojik araştırmaların artırılması gerekmektedir. Kinoa gibi alternatif bitkiler, biyofortifikasyon çalışmaları ile bu sorunlara çözüm sağlayabilecek büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu bağlamda, özellikle kinoada çinko biyofortifikasyonu üzerine yapılan çalışmalar, çinko eksikliği sorununa karşı etkili bir çözüm geliştirme adına önemli bir adımdır. Bu araştırmada da özellikle glütensiz beslenmede önemli bir ürün olan kinoa danelerinde Zn düzeylerinin topraktan ve yapraktan yapılan uygulamalarla değişiminin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ıspanakgiller (Chenopodiaceae) familyasında yer alan, tek yıllık ve çift çenekli bir bitkidir (Jacobsen 2003; Tan ve Yöndem 2013). İklim, toprak ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak bitki boyu 40-150 cm arasında değişmektedir. Kazayağını andıran dişli ve üçgen yaprakları, kalın, dik ve odunsu sapları ve güçlü bir kazık kökü vardır (Bhargava vd. 2007). Kinoanın çiçekleri salkım şeklinde olup, genellikle kendine döllenmekte ise de yabancı döllenmede (%10-15) görülmektedir (Risi ve Galwey 1991). Bitkinin tohumları küçük olup bin dane ağırlığı çeşitlere göre 1.99-5.08 g arasında değişim göstermektedir (Reichert vd. 1986). Tohum kabuğundaki saponin maddesi nedeniyle tohum rengi siyah, turuncu, pembe, kırmızı, sarı ve beyaz olabilmektedir (Prego vd. 1998).

Tohumlarındaki yüksek protein içeriği ve lizin gibi temel amino asit varlığıyla birlikte vitamin ve mineral açısından zengindir (Comai vd. 2007). Protein içeriği %13-21, yağ içeriği %10-18, Nişasta içeriği %60, kül yüzdesi %5, ham selüloz içerikleri %4 oranındadır (Bhargava vd. 2007; De Bruin 1964). Tohum kabuğu acı saponin bileşikleriyle kaplı olduğundan, insanlar tarafından tüketilmeden önce çıkarılması gerekmektedir ve mekanik veya kimyasal yollarla perikarp ve saponinlerin çıkarılması tohumun mineral içeriğini etkilememektedir (Ward 2000). Kinoanın en önemli özelliği tohumlarının glüten içermemesidir. Bu nedenle Çölyak (Celiac) hastaları (glüten enteropatisi) için önemli bir besin kaynağıdır (Kuhn vd. 1996).

Kinoanın protein açısından en dikkat çekici özelliklerinden biri, glüten içermemesidir. Glütene karşı hassasiyeti olan bireylerde buğday gibi tahıllar bağırsak emilimini bozmakta ve bu durum yaşam boyu devam etmektedir. Bu yönüyle kinoa, çölyak hastalarının (glüten alerjisi) hem protein hem de karbonhidrat gereksinimlerini karşılayabilecek önemli bir besin kaynağıdır (Jacobsen 1993). Kinoa proteininin bir diğer özelliği ise, kalite yönünden süt proteiniyle benzerlik göstermesi olup, bu durum bitkisel kaynaklı proteinlerde nadir rastlanan bir nitelikler (Ruales ve Nair 1992; Demir ve Kılınç 2016). Ayrıca, FAO (2011)'nin belirttiği esansiyel aminoasit profili ile kıyaslandığında, kinoanın aminoasit dağılımının ideal proteine oldukça yakın olduğu bildirilmektedir. Kinoa tohumlarındaki mineral element konsantrasyonlarında Ca, P, Mg, K, Fe, Cu, Mn ve Zn yönünden zengin olduğu, Na yönünden fakir olduğu görülmektedir. Özellikle Ca (70-874 mg 100 g⁻¹) ve K (845-1.201 mg 100 g⁻¹) konsantrasyonları diğer tahıllara göre yüksek olup tohumların yüksek besinsel değerlere sahip olmasına rağmen bileşiminde beslenmeyi olumsuz yönde etkileyen saponin, proteaz inhibitörleri ve fitik asit içerdiği belirlenmiştir (Ahamed vd. 1998). Özellikle fitik asit bulunduğu üzere tohumdaki fosforun bir depo formu olup fazla miktarda bulunması halinde tohumdaki çinkoyu bağlayarak biyoyararlılığı düşürmektedir. Nişasta tahıllarda en önemli karbonhidrat olup, içerdiği toplam kuru maddenin yaklaşık olarak % 60-70'ini oluşturmaktadır. Kinoada ise yaklaşık % 58.1-64.2 oranında nişasta bulunmaktadır. Kinoa nişastasını ile buğday nişastasının karşılaştırıldığında kinoa nişastası daha düşük jelatinizasyon entalpisi, daha yüksek viskozite ve su bağlama kapasitesine sahiptir. Ayrıca kinoa nişastasının donma ve retro gradasyonda mükemmel bir stabiliteye sahip olduğu için kimyasal olarak modifiye edilmiş nişastaların yerine kullanılabileceği ifade edilmektedir (Keskin ve Kaplan Evlice 2015). Yağ oranına bakımından kinoa tohumları yağ bitkilerine göre fakir, fakat tahıllara

göre daha zengin bir yağ oranına sahiptir.

Toplam yağ içeriğinin ortalama %82'si doymamış yağ asitlerinden oluşur. Tohumların %4.5-8.75 oranındaki yağ içeriğinde, oleik asit (Omega-9) %24, linoleik asit (Omega-6) %52 ve alfa-linolenik asit (Omega-3) %4.8 oranlarında bulunur. Yüksek linoleik asit içeriği, kinoanın besin değerini artırır ve sağlıklı yağ profiliyle diyetlerde önemli bir yer edinmesini sağlar. Çoklu doymamış yağların doymuş yağlara oranı soya, mısır, zeytinyağı gibi yağlardan daha yüksektir. Kinoa'daki toplam serbest yağ asidi oranı % 18.9 olup buğday ve çimlenmiş arpaya göre daha yüksek oranlardadır (Keskin ve Kaplan Evlice 2015). Ayrıca kinoa yağı yaklaşık % 11 oranında doymuş yağ asidi içeriğine sahip olup, bu doymuş yağ asitleri arasında da palmitik asit baskın olarak bulunmaktadır (Wood vd. 1993). Kinoa ve bazı tohumların besin maddesi oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kinoa ve bazı bitki tohumlarının besin maddesi oranları (Cardozo ve Tapia, 1979)

Bitkiler	Besin Maddeleri (%)				
	Protein	Yağ	Karbonhidrat	Lif	Kül
Kinoa	13.8	5.0	59.7	4.1	3.4
Arpa	14.7	1.1	67.8	2.0	5.5
Buğday	13.0	1.6	70.0	2.7	1.8
Mısır	8.7	3.9	70.9	1.7	1.2
Yulaf	11.1	4.6	57.6	0.3	2.9
Pirinç	7.3	0.4	80.4	0.4	0.5

2.2. Çinko

Türkiye'de tarımsal alanlarda çinko bakımından eksiklikler olduğu ve bu eksikliklerin sebeplerinin başında topraklarımızın büyük çoğunluğunun pH düzeylerinin ve kireç içeriklerinin oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı bilinmektedir (Eyüpoğlu, 1999). FAO (1982) tarafından desteklenen ve dünyada 30 değişik ülkede olarak yürütülen bir araştırmada tarım topraklarının yaklaşık %30'unda Zn noksanlığı olduğu belirtilmiş ve Türkiye toprakları da Zn noksanlığı gösterenler arasında sınıflandırılmıştır (Sillanpää ve Vlek 1985; Kacar ve Katkat 2007). Türkiye topraklarının % 70-80'i pH değerinin 7-8 aralığına girmekte olup bu pH düzeylerinde genellikle mikroelementler bakımından noksanlıklar görülmektedir. Oluştukları ana materyale bağlı olarak toplam Zn miktarı topraktan toprağa farklılık gösterir. Genelde toplam Zn miktarının 10-300 mg kg⁻¹ arasında olduğu belirtilmektedir (Jones vd. 1991). Toprak çözeltisinde bulunan çinkonun büyük bölümü bağımsız metal iyonu (Zn²⁺) ve %15-30 kadarı ise kompleks şeklindedir. Topraktaki değişebilir çinko miktarının, toprak pH'sına bağlı olarak değiştiği ve pH arttıkça azaldığı belirtilmektedir (Marschner, 1986). Değişebilir çinko miktarı genellikle 0-2 mg kg⁻¹ aralığında olup pH 5 seviyesinde değişebilir çinko oranı %10-30 arasında iken, pH 3'te bu oran %50'nin üzerine çıkabilmektedir. pH değeri 6.5'in üzerine çıktığında ise, çözünebilen çinkonun büyük bir kısmı (%60-80) organik kompleksler

şeklinde bulunur (Kabata-Pendias, A. (2011). Ayrıca, toprak pH'sı arttıkça çözünürlüğü düşük olan $Zn(OH)_2$ ve $ZnCO_3$ gibi bileşikler oluşur ve Zn^{2+} iyonunun yararlanılabilirliği önemli ölçüde azalır.

Çinko bitkiler tarafından Zn^{2+} şeklinde alınır. Ancak yüksek pH derecelerinde $Zn(OH)^+$ şeklinde alındığı da belirtilmektedir. Ayrıca kileyt formları ($Zn-EDTA$, $Zn-DTPA$, $Zn-EDDHA$) şeklinde de almaktadırlar. Bitkilerde çinko düzeyleri genellikle düşük düzeylerde dir. Kuru madde esasına göre çinkonun bitkideki konsantrasyonu 20-100 mg kg^{-1} civarındadır. Bu nedenle bitkilerin Zn ihtiyaçları da düşük düzeylerde dir. Çoğu tahıllarda 10-15 mg kg^{-1} Zn, çift çenekli bitkilerde ise 20-30 mg kg^{-1} Zn kritik düzey olarak kabul edilmektedir (Özbek vd. 1999; Marschner 1986). Çinko bitkilerde özellikle enzimlerin yapısında yer alır ve çok sayıda enzimi aktive eder. Karbonhidrat, protein ve oksin metabolizmasında rol oynar. Fotosentez üzerine etkilidir (karbonik anhidraz) ve klorofil oluşumunun çinko miktarı ile değiştiği bilinmektedir (Marschner 1986). Köklerden sürgünlere çinkonun taşınımı ksilem ile gerçekleşirken çinkonun fazla olduğu durumlarda floemde taşınabilir ve yeniden bir hareket kazanabilir. Çinko ile ortamda bulunan diğer +2 değerliğe sahip katyonların konsantrasyonlarına göre çinko alımı azalmaktadır. Zn ile Fe ve Mn arasında çekişme olarak nitelendirilebilen bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca fazla miktarda fosforlu gübreleme Zn noksanlığına sebep olmaktadır. Yüksek fosfat konsantrasyonu bitkide metabolik bozukluk yaratarak Zn noksanlığına sebep olmaktadır (Anonim 1984).

Çinko eksikliği, dünya nüfusunun üçte birinden fazlasını etkilemektedir ve bu durum, insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Çünkü çinko, bağışıklık sistemi, doğurganlık, normal görme ve yara iyileşmesi gibi birçok fizyolojik işlevin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için gereklidir. Ayrıca, çocukluk döneminde görülen sıtma, zatürre ve ishal gibi enfeksiyonların önlenmesi ile sağlıklı büyümenin desteklenmesinde de yeterli çinko alımı hayati önem taşımaktadır (Ohanenye vd. 2021).

Tarla koşullarında çinkonun (Zn) yapraktan uygulanması, bitkinin yenmeyen kısımlarında Zn konsantrasyonunu artırmaktadır (Cakmak ve Kutman, 2017). Buğday çeşitlerine, farklı büyüme dönemlerinde %0,5 Zn ve Fe içeren dört farklı yaprak spreyi uygulanması sonucunda, dane Zn ve Fe konsantrasyonları sırasıyla %17.3–38.8 ve %13.1–30.3 oranlarında artarken, dane verimi ise %2.5–5.1 arasında yükselmiştir. Benzer şekilde, pirinç ve kahverengi pirinçte de farklı büyüme evrelerinde Zn ve Fe'nin yapraktan uygulanmasıyla, dane Zn (%30.8–44.8) ve Fe (%22–38) konsantrasyonlarının yanı sıra dane verimi (%6.0–10.3) de önemli ölçüde artırılmıştır (Dhaliwal vd. 2010). Ayrıca Zn ile tohum kaplaması, çeşitli tarla bitkilerinde ürün verimini artıran etkili bir uygulama olup, $ZnCl_2$ ile yapılan kaplama işlemi buğdayda doku Zn konsantrasyonunu, çimlenmeyi ve fide gelişimini artırmıştır (Rehman ve Faruk, 2016).

Han vd. (2024) tarafından yapılan bir tarla çalışmasında soya fasulyesinde yapraktan uygulanan amino asit (AA) ve çinko (Zn) kombinasyonlarının özellikle tahıllarda Zn birikimini artırdığı tespit edilmiştir. Denemede dört farklı dozda (0, 50, 100 ve 150 ml 100 L^{-1}) amino asit ile dört farklı Zn dozu (0, 2, 4 ve 6 mg L^{-1}) kullanılmış, amino asit ve çinkonun birlikte yapraktan uygulanması sonucunda özellikle AA3*Zn4 uygulamasında tahıl Zn konsantrasyonu en yüksek düzeye (61.2 mg kg^{-1}) ulaşmıştır. Çalışma sonucunda, artan Zn ve AA dozlarının Zn biyofortifikasyonu üzerinde pozitif etkisi olduğu belirlenmiş ve en yüksek tahıl Zn içeriği AA4 (51.3 mg

kg⁻¹) ve Zn4 (59.5 mg kg⁻¹) dozlarında kaydedilmiştir.

Hayvanlarda Zn eksikliğinin sonuçları, büyümede azalma, iştahsızlık, üreme sorunları, açık pullu lezyonlarla birlikte şişmiş ayaklar ve üremenin bozulmasıyla sonuçlanır (McDowell 1992). Çinko eksikliği belirtileri saç dökülmesi, dermatit, parakeratoz, uzuvlarda deformasyon, eklemlerde sertleşme vb. şeklinde ortaya çıkar.

Çinko, bitkilerin büyümesi ve gelişimi için kritik bir mikro besin maddesidir ve insanların sağlıklı beslenmesi açısından da önemlidir. Bu araştırma, kinoa gibi besin değerini artırabilecek bitkilerde çinko biyofortifikasyonunun potansiyelini ortaya koymaktadır. Çinko uygulamaları ile tohumlardaki çinko içeriği artırılabilir, bu da özellikle çinko eksikliği yaşayan bireyler için faydalı olabilir. Bu tür biyofortifikasyon stratejilerinin sağlıklı beslenme ve besin güvenliği açısından önemli bir katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

2.3. Biyofortifikasyon

Biyofortifikasyon “gıda ürünlerinin besinsel kalitesinin agronomik uygulamalar, geleneksel bitki ıslahı veya modern biyoteknoloji yoluyla iyileştirildiği süreç” olarak tanımlanmakta ve gıda üretimi sırasında mineral ilavesi yerine, bitki gelişim döneminde yapısındaki mikro besinleri arttırmayı amaçlamaktadır. Biyofortifikasyon; bitkilerin yenilebilir kısımlarında daha yüksek mikro besin konsantrasyonu elde etmek için ıslah/genetik mühendisliği (genetik biyo-zenginleştirme) veya gübreleme (agronomik biyo-zenginleştirme) yoluyla temel mahsullerin mikro besinlerle biyo-zenginleştirilmesi, diyet eksikliklerini ele alma stratejisinin önemli bir parçasıdır. Agronomik ve genetik olarak sınıflandırılan biyofortifikasyon ile canlı beslenmesine katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Olumsuz toprak koşullarının yeterince besin elementi sağlayamadığı son ürünlerde besin zenginliği ve biyoyararlılığın artırılması çalışmaları ile canlıların beslendikleri ürünlerden maksimum faydalanmaları ve beslenme kaynaklı yetersizliklerin giderilmesine yönelik uygulamalar artış göstermektedir. Orman ve Ok (2016), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Tarımsal Araştırmalar Danışma Grubu (CGIAR) gibi kuruluşların biyofortifikasyonun önemini fark ederek tarımsal ürünlerin tüketilen kısımlarının amino asit, protein, vitamin A ve kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, selenyum, iyot gibi elementler ile zenginleştirilmesini öncelikli konu olarak kabul ettiklerini belirtmektedir. Cakmak (2008a), neredeyse tüm dünyayı etkileyen mikroelement yetersizliği problemini hafifletilmesi için en uygun stratejinin, mikro besin öğeleriyle temel gıda ürünlerinin biyolojik olarak zenginleştirilmesi olan biyofortifikasyon olduğunu ifade etmektedir. Günümüzde biyofortifikasyon, fortifikasyona göre daha çok tercih edilmektedir. Biyofortifikasyon işlemi, mikro elementlerce zengin yeni tahıl genotiplerinin ıslah edilmesi ya da mikro element içerikli gübrelerin kullanımının yaygınlaştırılması stratejilerini dikkate almaktadır. Storksdieck ve Hurrell (2009), gübreleme (topraktan ve yapraktan gübreleme ve tohum kaplama) yoluyla tarımsal biyofortifikasyonun, bitkinin genetik yapısını değiştirmeden bitki besin içeriğini artırmaya yardımcı olduğunu belirtmektedir.

Gıda ürünlerinin agronomik biyofortifikasyonunun, gelişmekte olan dünyadaki insanların beslenmesini artırmak için önemli bir tarım aracı olarak kullanılabileceğini

ifade etmektedir (Prasad ve Shiway 2020). Tahıl ürünlerinin Se gübreleri kullanılarak biyolojik olarak zenginleştirilmesine ilişkin iyi bilinen örnek Finlandiya'dan gelmektedir. Benzer şekilde, çinko gübrelemesi ile tahıl biyofortifikasyon örnekleri Türkiye ve Hindistan'dan yaygın olarak uygulanmaktadır. Agronomik biyofortifikasyon, gıda ürünlerindeki minerallerin ve bazı moleküllerin içeriğini artırmanın en hızlı ve ekonomik yoludur.

Dünyada, çoğunlukla hamile kadınlar ve beş yaşın altındaki çocuklar olmak üzere, yaklaşık iki milyar insan mikro besin eksikliği ve/veya yetersiz beslenmeyle karşı karşıyadır (White ve Broadley 2009; WHO 2012). İnsan nüfusunun her geçen gün artması ve başlıca gıda ürünlerinin normal insan büyümesi için gereken mikro besinleri yeterli miktarda sağlayamaması, bu durumun başlıca nedenlerindendir.

Çocukların erken yaşta ölmesine neden olan faktörlerin başında A vitamini, çinko, demir ve iyot eksiklikleri gelmektedir (Prentice vd. 2008); bu durum, beş yaşın altındaki çocukların yaklaşık %20'sinin ölümüne neden olmaktadır. WHS (2022) tahminlere göre, beş yaşın altındaki 149,2 milyon çocuk bodur durumdadır. Yetersiz beslenme, beş yaşın altındaki çocuk ölümlerinin neredeyse %45'ine neden olmaktadır. Besin eksikliği Güneydoğu Asya gibi bölgelerde önemli ölçüde daha kötü bir durumdadır. Erken yaşta ölümlere neden olan faktörler arasında başka nedenler bulunsa da, temel neden yetersiz beslenme ile ilişkilidir. Bununla birlikte, en çok vurgulanan sorun dengeli bir beslenme eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

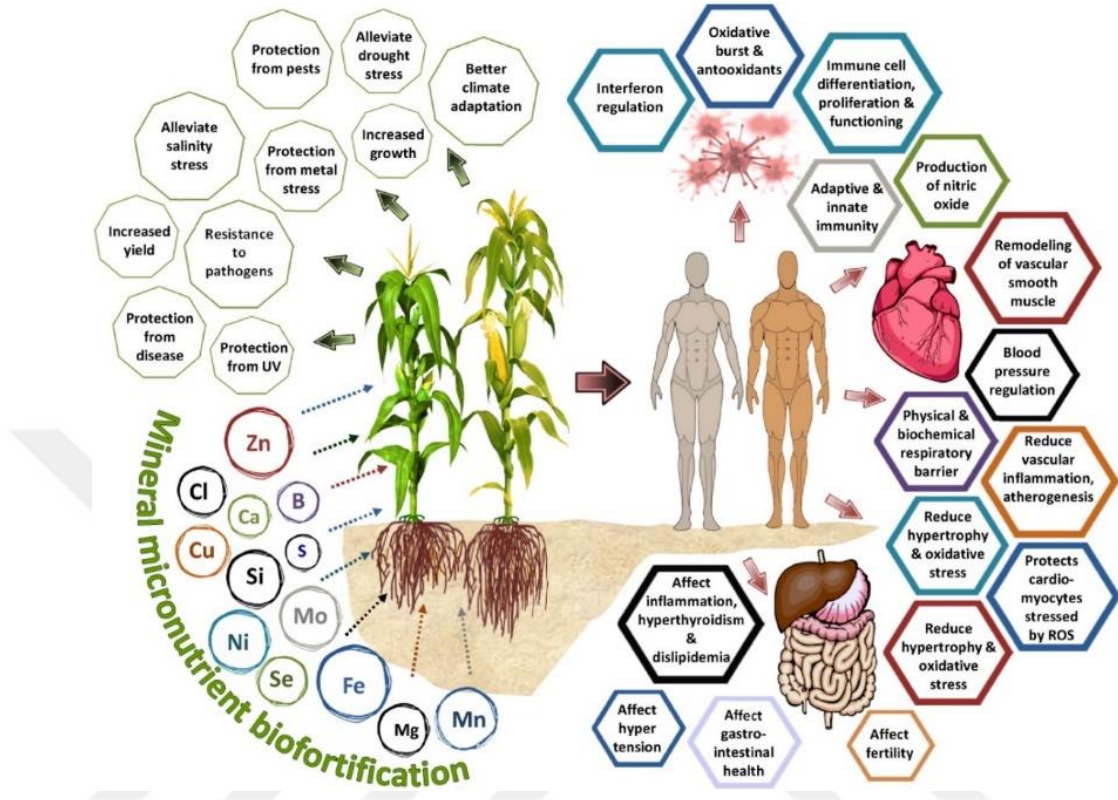
Küresel Beslenme Raporu'na göre, kötü beslenme Asya ve Afrika bölgelerinde gayrisafi yurtiçi hasılanın %11 oranında azalmasına yol açmaktadır (Global Nutrition Report 2017). Afrika, Doğu Asya ve Pasifik'te, yetersiz beslenmenin bir ölçütü olan Gizli Açlık Endeksi (HHI) düşüş eğilimi göstermiştir.

Yetersiz beslenme, esas olarak meyve, sebze, hayvansal gıdalar ve besin açısından zengin yiyeceklerin eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Ruel-Bergeron vd. 2015). Dünyadaki birçok yoksul insan, bu tür yiyecekleri karşılayamadığından, esas olarak tahıllara ve uygun fiyatlı temel gıdalara yönelmektedir. Bu durum, Zn (çinko) ve A vitamini alımını artırmanın etkili sonuçlar sağlayabileceğini göstermektedir. Diğer mikro besinlerin de dikkate alınması durumunda, daha mükemmel etkilerin ortaya çıkabileceği ima edilmektedir.

Son zamanlarda odak noktası, toplumun savunmasız kesimlerini hedeflemek amacıyla mikro besin takviyeleri ve gıdaların endüstriyel olarak zenginleştirilmesine kaymıştır (Bhardwaj vd. 2022). Ancak, uzun vadeli ve sürdürülebilir etkiler, ancak mahsul üretim aşamasında bitkilerin mikro besinleri doğal yollarla asimile etmesi yoluyla elde edilebilir (Şekil 2.1).

Dünya çapında etkili olan iklim değişikliği, mahsul verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Çiftçiler bu sorunu çözmek amacıyla dengesiz gübrelemeye yönelmiştir. Ancak bu durum, toprak kalitesinin bozulmasına ve dolayısıyla insanlara sunulan mahsul bazı gıdaların kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Maksimum verim elde etmek için yoğun şekilde kullanılan makro gübreler (azot, fosfor ve potasyum), topraktaki mikro besin elementlerinin yetersiz hale gelmesine neden olmuştur. Ayrıca, aşırı makro gübreleme, mikro besin elementlerinin bitkiler tarafından alımını antagonistik etkiyle

azaltmış ve insanlarda mikro besin eksikliğine yol açmıştır. Fazla gübreleme yalnızca yetersiz mikro besin alımına değil, aynı zamanda çevresel sorunlara da neden olmaktadır (Suresh vd. 2021).



Şekil 2.1. Mineral mikro besin biyofortifikasyonunun bitki fizyolojik süreçlerine etkisi, insan sağlığı ve bağışıklık ile ilişkisi (Bhardwaj vd. 2022)

Dünyada en fazla tüketilen hububat bitkilerinde, aşırı makro gübreleme sonucunda mikro besin eksikliği ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, “görünmez açlık” olarak adlandırılan besin elementi eksikliğine karşı birçok çalışma ve araştırma yapılmıştır (Tara vd. 2021). Mikro besinlere sınırlı erişimi olan nüfuslar için, biyofortifikasyon biozenginleştirilmiş ve uygun maliyetli bir sürdürülebilir tarım tekniği olarak öne çıkmaktadır (Dipti vd. 2024). Biyofortifikasyon, mineral mikro besinlerin gıdalardaki değerinin artırılmasına yönelik agronomik, genetik veya transgenik uygulamaları içerir. Agronomik biyofortifikasyon, hububat, sebze ve meyve gibi ürünlerin mikro besin içeriğini artırmada etkili olmuştur. Ancak bitkilerin besin kullanımı ve alım verimliliği, toprak tipi, mahsul yönetimi ve gübre türü gibi faktörlerden etkilenmektedir (Baligar vd. 2001).

Bu teknik hem bitkilerde hem de insan beslenmesinde ortaya çıkan besin eksikliklerini gidermeye yardımcı olabilecek bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda, iklim değişikliği sorunlarına karşı bir çözüm olarak da görülmektedir. Bitkilerin daha fazla besin almasını ve bu besinlerin tüketilebilir kısımlarında birikmesini sağlar (Fodor 2024).

World Food Prize (WFP) tarafından 2000 yılında ödüllendirilen Quality Protein

Maize (QPM) çeşidi, lizin ve triptofan bakımından zengin içeriğiyle öne çıkan, biyofortifikasyonun örnek uygulamalarından biridir. Oleik asit ve stearidonik asit soya fasulyesi zenginleştirilmesi ve Garg vd. (2018) tarafından ifade edilen selenyum, iyot ve çinko takviyesiyle genetik dönüşüm uygulamaları, biyofortifikasyonun diğer örneklerindendir. Nestel vd. (2006), biyofortifikasyonu şu şekilde tanımlamaktadır: “Biyofortifikasyon, gıda mahsullerinin besin yoğunluğunun, tüketiciler veya çiftçiler tarafından tercih edilen herhangi bir özellikten ödün vermeden, geleneksel bitki ıslahı, agronomik uygulamalar ya da modern biyoteknoloji yoluyla artırıldığı bir süreçtir.”

Ruel ve Alderman (2013), biyofortifikasyonu vitamin ve mineral eksikliklerini azaltabilen, beslenmeye duyarlı bir tarım müdahalesi olarak değerlendirmektedir. Bouis vd. (2011) ile Saltzman vd. (2013), fasulye, börülce ve inci darının demir biyofortifikasyonu; mısır, pirinç ve buğdayın çinko biyofortifikasyonu; manyok, mısır, pirinç ve tatlı patatesin A vitamini öncüsü karotenoidlerle güçlendirilmesi gibi çalışmaların ilerlemekte olduğunu belirtmiştir. La Frano vd. (2014) ile De Moura vd. (2015), biyolojik olarak güçlendirilmiş mahsullerin, biyotakviye edilmemiş çeşitlere göre daha besin yoğun olduğunu ifade etmektedir. Bu, pişirme, işleme ve depolama sonrası mikro besin biyoyararlanımı benzer kaldığında, daha yüksek mikro besin tüketimine olanak sağlamaktadır.

Haas vd. (2005), demirle zenginleştirilmiş pirincin Filipinler’deki üreme çağındaki kadınların demir depolarını iyileştirdiğini göstermiştir. Hindistan’da Finkelstein vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, demir biyofortifikasyonlu inci darının okul çocuklarında demir eksikliğini tersine çevirdiği belirtilmiştir. Haas vd. (2016) ise Ruanda’da demir biyofortifikasyonlu fasulyenin kadınlarda demir depolarını artırdığını ifade etmektedir.

Biyofortifikasyonun sürdürülebilir bir strateji olarak gıda ve beslenme güvenliği programlarına entegre edildiğini ifade etmektedir. Bu çalışmalar, tohum sistemlerini, talep yaratmayı ve pazarlamayı geliştirme yönünde ilerlemekte ve hem çiftçilere hem de kentsel tüketicilere fayda sağlamak amacıyla yüksek verimli biyolojik olarak güçlendirilmiş mahsullerden sağlıklı gıda ürünleri geliştirmeye odaklanmaktadır (Bouis vd. 2011, Birol vd. 2015). Küresel Beslenme Raporu, temel besin kaynağı olarak tahıl bazlı diyetler benimseyen topluluklarda mikro besin eksikliklerinin daha belirgin olduğunu ifade etmektedir. Rapor, bu tür diyetlerin sınırlı besin çeşitliliği sunduğunu ve bunun da mikro besin eksikliklerine yol açabileceğini vurgulamaktadır (Global Nutrition Report, 2020).

UN DPI (2013)’e göre dünya nüfusunun hızla artması, gıda talebinde önemli bir artışa neden olmuştur. Bu durum, özellikle temel enerji kaynaklarının yetersizliği sorununu gündeme getirmiştir. Üke (2016), bu bağlamda bilim insanlarının yalnızca modern temel gıdalarla sınırlı kalmayarak, tarih boyunca eski toplumlar tarafından kullanılan alternatif gıdaları da incelediğini ifade etmektedir. Bu araştırmalarda öne çıkan önemli bitkilerden biri kinoa’dır.

2000’li yılların başından itibaren kinoa bitkisi üzerinde biyofortifikasyon çalışmaları yoğunlaşmıştır. Kinoa, diyetik bir besin kaynağı olarak önemli görülmekte ve bu çalışmalara en fazla ihtiyaç duyulan coğrafyalar arasında gelişmekte olan ülkeler yer almaktadır. Birleşmiş Milletler’in Dünya Gıda Örgütü (FAO) ve birçok kuruluş, bu

araştırmalara destek sağlamaktadır.

Lata-Tenesaca vd. (2029) tarafından Brezilya'nın Jaboticabal kentindeki São Paulo Eyalet Üniversitesi'nde Mayıs-Ağustos 2019 tarihleri arasında hidroponik yetiştirme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, kinoa bitkilerine yaprak ve kök sistemi aracılığıyla uygulanan silikonun (Si) Emilimi ve birikimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kökten uygulanan 5–10 g kg⁻¹ Si dozunun yapraklardaki Si konsantrasyonunu 9,3 g kg⁻¹ seviyesine yükselttiğini göstermiştir. Ayrıca, besin çözeltisi yoluyla Si uygulaması ile yaprak püskürtmesinin 3 mmol L⁻¹ konsantrasyonunda birlikte uygulanması, sürgünlerde anlamlı düzeyde Si birikimini artırmıştır. Bunun yanında, Si biyofortifikasyonu bitkide azot (N) ve fosfor (P) alımını da artırdığı kanıtlanmıştır. Literatürde ayrıca, silikonun fotosentez ve transpirasyon süreçlerini düzenlediği, hücrel membranlardaki besin taşıyıcıları ile ilişkili genlerin ekspresyonunu artırdığı çalışmalarda da doğrulanmıştır. Kinoa bitkisinde yapılan diğer bir çalışmada ise, Lata-Tenesaca vd. (2022), yapraktan Fe püskürtme uygulamasının (9 mmol L⁻¹), kök uygulamasından (90 µmol L⁻¹) daha etkili olduğunu tespit etmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, yapraktan uygulama yöntemiyle Fe'nin bitkilerde toplanması artmış ve fotosentetik pigmentlerin, elektron taşınımının ve dane kalitesinin iyileşmesine yol açmıştır. Ayrıca, antinutrisyonel bileşiklerin ve fosfor seviyelerinin azaldığı da gözlenmiştir. Kaya (2010), kinoa Fe'nin biyofortifikasyonunun gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından faydalarını vurgulamıştır. Ancak Fe'nin verimlilik ve tahıl kalitesi üzerindeki etkilerinin tam olarak belirlenmesi amacıyla bir sera deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde kök uygulaması (90 µmol L⁻¹), yapraktan püskürtme (9 mmol L⁻¹) ve kök-yaprak kombinasyonu yöntemleri kullanılmıştır.

Zahmatkesh vd. (2024), kinoa potasyum (K) ve çinko (Zn) uygulamalarının kuraklık koşullarındaki etkilerini incelemiştir. Araştırma, iki farklı vejetasyon döneminde (2018-2019 ve 2019-2020) şelatlı formlar kullanılarak yapılmıştır. Bulgular, K ve Zn şelatlarının kinoa bitkisinin kuraklık stresine karşı toleransını artırdığını ve fizyolojik özellikler, antioksidan enzimler, fotosentetik pigmentler ile tahıl veriminde artış sağladığını ortaya koymuştur.

Türkoğlu vd. (2024), tuz stresi (NaCl: 0, 100 ve 200 mM) altındaki kinoa bitkisine ZnO uygulamalarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, ZnO'nun oksidatif stres göstergelerini azalttığı, enzim aktivitelerini artırdığı ve tuz stresi koşullarında kinoa bitkisinin büyüme performansını iyileştirdiği belirlenmiştir.

Küçükyumuk ve Erdal (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı çinko uygulamalarından sonra (%0,05, %0,1 ve %0,2 dozlarında) ve uygulama sayılarının yaprak, meyve eti ve meyve kabuğunun Zn konsantrasyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğu görülmüştür. Örneğin Granny Smith elma çeşidinde yapraklardaki Zn içeriği kontrol grubunda 24 mg/kg iken, %0,2 Zn dozunda 396 mg/kg'a kadar yükselmiştir. Benzer şekilde, meyve eti ve meyve kabuğunda en yüksek Zn konsantrasyonu sırasıyla 30 mg/kg ve 57 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Uygulama sayısı arttıkça (1 kez, 2 kez, 3 kez) çinko içeriği de belirgin şekilde artmıştır. Ayrıca, artan Zn dozu yapraklarda demir (Fe) ve mangan (Mn) içeriklerinde azalışa, meyve etinde ise Fe içeriğinde artışa neden olurken, bakır (Cu) içerikleri genel olarak azalmıştır. Meyve eti ve kabuğunda fosfor (P) içeriği ise artan Zn uygulaması ile azalmıştır. Bu bulgular, çinko sülfat uygulamalarının bitki dokularındaki mineral dengesini etkilediğini ve yüksek dozlarda özellikle yaprak ve meyve dokularında çinko birikimini artırdığını

göstermektedir. Ancak, yüksek doz Zn uygulamalarının diğer mikro elementler üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alınmalıdır.

Koçakaya ve Erdal (2005), Van yöresinde yetiştirilen altı buğday çeşidi üzerinde yürüttükleri çalışmada, farklı çinko (Zn) uygulamalarının (2 kg Zn/da, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) bitki Zn alımı, dane Zn içeriği ve verim üzerine önemli etkiler oluşturduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan uygulama sonucunda kardeşlenme dönemindeki yeşil aksam Zn içeriği ortalama %56 artışla 24 ppm'den 37,5 ppm'e çıkarken, dane Zn oranı %35'lik bir artışla 14,8 ppm'den 20,0 ppm'e yükselmiştir. Ayrıca toplam verim 1038 kg/da'dan 1300 kg/da'ya (%27), tane verimi ise 246 kg/da'dan 321 kg/da'ya (%33) artış göstermiştir. Kontrol grubunda en yüksek dane Zn içeriği 17,8 ppm (Kutluk 94), en düşük 9,3 ppm (Tir 2) olarak belirlenirken; Zn uygulaması ile en yüksek değer 25,8 ppm (Doğukent 1) olarak kaydedilmiş, en yüksek tane verimi ise Karacabey 97 çeşidinde 417,8 kg/da olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, özellikle Doğukent 1 ve Karacabey 97 çeşitlerinin Zn uygulamasına yüksek yanıt verdiğini ortaya koymaktadır.

2.4. Biyofortifikasyonla ilgili yapılan araştırmalar

Dünya çapında temel gıda olarak hizmet veren çok sayıda tarla ürünü, biyolojik zenginleştirme için araştırmacıların birincil hedefi olmuştur. Pirinç, buğday ve mısır, baklagiller, yağlı tohum bitkileri ve yem bitkileri dahil olmak üzere tahıl bitkileri, dışarıdan sağlanan besin maddelerini biriktirme eğilimindedir ve bu nedenle biyolojik olarak zenginleştirilmiştir. Şimdiye kadar yapılan literatür çalışmaları, Zn, Fe, I, Cu vb. gibi temel mikro besinlerle yüklü biyolojik olarak güçlendirilmiş mahsuller üzerinde yapılan geniş araştırmaları ortaya koymuştur (Klikocka ve Marks 2018). Mısır, tatlı patates, portakal, manyok, kabak, sorgum, Fe ile zenginleştirilmiş fasulye, mercimek, Zn ile zenginleştirilmiş pirinç, mercimek, buğday, sorgum ve börülce gibi çok sayıda biyolojik olarak zenginleştirilmiş mahsul piyasaya sürülmüştür (Steuer vd. 2017). Cakmak ve Kutman (2017) Zn ile zenginleştirilmiş tahılların tarımsal biyolojik zenginleştirilmesi üzerine bir inceleme derlediler.

Biyofortifikasyon; bitkilerin yenilebilir kısımlarında daha yüksek mikro besin konsantrasyonu elde etmek için ıslah/genetik mühendisliği (genetik biyo-zenginleştirme) veya gübreleme (agronomik biyo-zenginleştirme) yoluyla temel mahsullerin mikro besinlerle biyo-zenginleştirilmesi, diyet eksikliklerini ele alma stratejisinin önemli bir parçasıdır. Agronomik ve genetik olarak sınıflandırılan biyofortifikasyon ile canlı beslenmesine katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Genetik biyofortifikasyon, yenilebilir bitki kısımlarındaki mikro besin konsantrasyonunu zenginleştirmek için spesifik genetik manipülasyon yoluyla elde edilebilir. Küresel gıdaya ilişkin mevcut senaryo, diyet ürünlerinde birden fazla mikro besin maddesinin miktarının yetersiz olduğunu ortaya koymuştur; dolayısıyla mahsullerin tek bir besin maddesiyle zenginleştirilmesi, özellikle diyetin sınırlı miktarda gıdaya dayandığı durumlarda, besin güvenliğini sağlamak için yeterli değildir. Mikro besin elementlerinin bitkilere uygulanmasına yönelik ileri düzeyde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Górniak ve arkadaşları (2018), son yıllarda yenilebilir bitkilerin selenyum ve iyot ile biyolojik olarak zenginleştirilmesine ilişkin yapılan araştırmaları rapor etmiştir. İnsan vücudundaki besin alımını etkileyen önemli faktörlerden biri, tüketilen gıdanın mikro besin öğelerini biyoyararlı formlarda sağlayıp sağlamadığıdır. Bu

durum, özellikle fitatın demir (Fe) ve çinko (Zn) gibi besin elementlerinin emilimini inhibe etmesiyle daha da belirgin hale gelmektedir. Ayrıca, çinko (Zn^{2+}), demir (Fe^{2+}) ve bakır (Cu^{2+}) gibi metal katyonlarının yapraktan uygulanması, diğer besin elementlerinin mineral içeriğinde azalmaya neden olabilmektedir. Dolayısıyla, beslenme güvenliğinin sağlanmasına yönelik yaklaşımlarda bu elementler arasındaki sinerjistik ve antagonistik etkileşimlerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Topraktaki mikro besin eksikliği dünyanın birçok yerinde çeşitli analitik tekniklerle değerlendirilmektedir. Eksiklikler, çoğunlukla yüksek verimli bitki çeşitlerinin ihtiyaç duyduğu gübrelerin aşırı kullanılması ve buna karşılık mikro besin takviyelerinin yetersiz uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Dünya toprağının önemli kısımlarındaki mikro besin eksiklikleri için maksimum Zn ve B eksikliğinin sırasıyla %49 ve %31 olduğu gözlenmiştir (Sillanpää 1990). Diğer mineral eksiklikleri Mo, Cu, Mn ve Fe için sırasıyla %15, %14, %10 ve %3 olarak bulunmuştur.

Çinko eksikliği dünya genelinde yaygın olarak görülmekte olup; özellikle Irak, Pakistan, Hindistan, Türkiye, Suriye, Meksika, İtalya, Lübnan, Nepal, Tanzanya ve Tayland gibi ülkelerde daha yüksek oranlarda rastlanmaktadır. "Gizli açlık" olarak da adlandırılan mikro besin yetersizliği, belirgin belirtiler göstermemesine rağmen dünya genelinde her üç kişiden birini etkilemektedir. A vitamini, demir (Fe), iyot (I), çinko (Zn) ve folat eksiklikleri, insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmakta olup, çeşitli mikro besinlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri literatürde açıkça ortaya konmuştur (Dhaliwal vd. 2022).

Yetersiz beslenme kavramının evrimi 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. 19. yüzyılda Fe, Zn ve I gibi eser elementlerin sağlık açısından önemi iyice anlaşıldı. Ayrıca çoklu mikro besinli beslenme kavramı ve bunların diyet gereksinimleri 1940'lerde ele alındı. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişmekte olan ülkelerde büyük ölçekte çoklu mikro besin eksiklikleri gözlemlendi. Mikro besin yetersizliğiyle mücadele etmek için, Roma merkezli Dünya Gıda Konferansı 1974'te eylem çağrısında bulundu (Shaw 2007). Bununla birlikte, küresel düzeyde daha az aktivite olması nedeniyle, mikro besin eksiklikleri konusunda 1975 ile 1985 yılları arasında bilimsel açıdan sağlam epidemiyolojik araştırma verileri yoğun endişe yarattı.

Olumsuz toprak koşullarının yeterince besin elementi sağlayamadığı son ürünlerde besin zenginliği ve biyoyararlılığın artırılması çalışmaları ile canlıların beslendikleri ürünlerden maksimum faydalanmaları ve beslenme kaynaklı yetersizliklerin giderilmesine yönelik uygulamalar artış göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Tarımsal Araştırmalar Danışma Grubu (CGIAR) gibi kuruluşlar biyofortifikasyonun önemini fark ederek tarımsal ürünlerin tüketilen kısımlarının aminoasit, protein, vitamin A ve kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, selenyum, iyot gibi elementler ile zenginleştirilmesini öncelikli konu olarak kabul etmektedir (Orman ve Ok 2016). Neredeyse tüm dünyayı etkileyen mikroelement yetersizliği problemini hafifletilmesi için en uygun strateji, mikro besin öğeleriyle temel gıda ürünlerinin biyolojik olarak zenginleştirilmesi olan biyofortifikasyondur. Günümüzde biyofortifikasyon, fortifikasyona göre daha çok tercih edilmektedir. Biyofortifikasyon işlemi mikro elementlerce zengin yeni tahıl genotiplerinin ıslah edilmesi ya da mikro element içerikli gübrelerin kullanımının yaygınlaştırılması stratejilerini dikkate almaktadır (Cakmak 2008a).

Gübreleme (toprakten ve yaprakten gübreleme ve tohum kaplama) yoluyla tarımsal biyofortifikasyon, bitkinin genetik yapısını değiştirmeden bitki besin içeriğini artırmaya yardımcı olur (Storksdieck ve Hurrell 2009).

Gıda ürünlerinin agronomik biyofortifikasyonu, gelişmekte olan dünyadaki insanların beslenmesini artırmak için önemli bir tarım aracı olarak kullanılabilir. Tahıl ürünlerinin Se gübreleri kullanılarak biyolojik olarak zenginleştirilmesine ilişkin iyi bilinen örnek Finlandiya'dan gelmektedir. Benzer şekilde çinko gübrelemesi ile tahıl biyofortifikasyon örnekleri Türkiye ve Hindistan'dan yaygın olarak uygulanmaktadır. Agronomik biyofortifikasyon, gıda ürünlerindeki minerallerin ve bazı moleküllerin içeriğini artırmanın en hızlı ve ekonomik yoludur (Prasad ve Shiway 2020).

Bugüne kadar dünya çapında tahıllar, bakliyatlar, yağlı tohumlar, yem bitkileri vb. dahil olmak üzere çok sayıda biyolojik olarak güçlendirilmiş mahsul üretildi. Bu işlem sırasında istenilen besin maddesi, bitkilerin büyümesi sırasında veya öncesinde dışarıdan eklenir. Toprak uygulaması, kök alımı için yeterli düzeyde besin sağlarken, yaprakten uygulama, bitkinin diğer kısımlarına taşınması için yapraktaki besin içeriğini artırır. pH, kireçli yapısı vb. gibi toprak özellikleri, mikro besinlerin kullanılabilirliğini ve dolayısıyla biyolojik zenginleştirmenin başarı oranını etkiler. Bu nedenle, gübreleme uygulama şekli ve toprak özellikleri, değişikliklerle birlikte belirli bir mahsuldeki mineral zenginleşmesini etkiler.

Çizelge 2.2. En çok tüketilen sebzelerin biyofortifikasyon öncesi ve sonrası ortalama Fe, Zn, Mo, Se ve Si konsantrasyonu (Consentino vd. 2023)

Sebze	Fe		Zn		I		Se	
	BÖ	BS	BÖ	BS	BÖ	BS	BÖ	BS
Patates	11	23	15	42	0.15	0.29	5	27
Domates	448	656	15	30	0.03	0.23	0.09	8.91
Marul	180	400	145	220	20	780	3	80
Havuç	464	680	116.2	207.5	0.6	4.63	2.21	10.97
Soğan	-	-	25.5	33.5	0.08	8.33	0.03	9.96

*Sebzelerin Mineral İçeriği (mg kg⁻¹) (BÖ: Biyofortifikasyon Öncesi, BS: Biyofortifikasyon Sonrası)

Mikro elementlerin hem bitki gelişimi hem de insan sağlığı için önemli fonksiyonları olduğu iyi bilinmektedir. Bu mikro besinlerin büyük bir kısmı bitkiler tarafından kolayca erişilebilir ve sonuç olarak besin zincirinin bir bileşeni haline gelir. Bununla birlikte, bitkiler mikro besin maddelerini kolayca absorbe edemediklerinde, bunların agronomik biyofortifikasyon aracılığıyla bitkilere dahil edilmesi gerekir. Tarımsal biyofortifikasyon özellikle gelişmekte olan ölkelerde bitki performansını artırma ve dokulardaki mikro element konsantrasyonunu artırma stratejisi olarak yararlıdır (Çizelge 2.2).

Bu çalışmada, kinoa bitkisinin danesinde çinko biyofortifikasyonu gerçekleştirilmeye çalışılmış, toprak ve yaprak uygulamalarıyla farklı dozlarda çinko sülfat kullanarak, bitki gelişimi ve tohumlardaki çinko düzeylerini incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde denemenin kurulduğu araştırma alanının ve deneme toprağın özellikleri, denemede kullanılan materyaller ve laboratuvar çalışmalarında uygulanan yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Denemenin kurulduğu alan ve toprak özellikleri

Araştırma Hasan Aliyev Nahçıvan Tarımsal Bilimsel-Araştırma Enstitüsünde açık arazi koşullarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Denemenin kurulduğu araştırma alanına ait toprak özellikleri Çizelge 3.1’te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Toprak	Sınıflandırma
pH	7.8	Hafif alkali
EC (dS m ⁻¹)	0.74	Tuzsuz
CaCO ₃ (%)	25.31	Aşırı
Organik Madde (%)	1.56	Az
N (%)	0.078	Fakir
P (mg kg ⁻¹)	11.82	Yüksek
K (me 100 g ⁻¹)	1.66	Çok yüksek
Ca (me 100 g ⁻¹)	36.5	İyi
Mg (me 100 g ⁻¹)	9.0	Orta
Zn (mg kg ⁻¹)	1.47	İyi
Mn (mg kg ⁻¹)	10.4	Yeterli
Cu (mg kg ⁻¹)	3.76	Yeterli

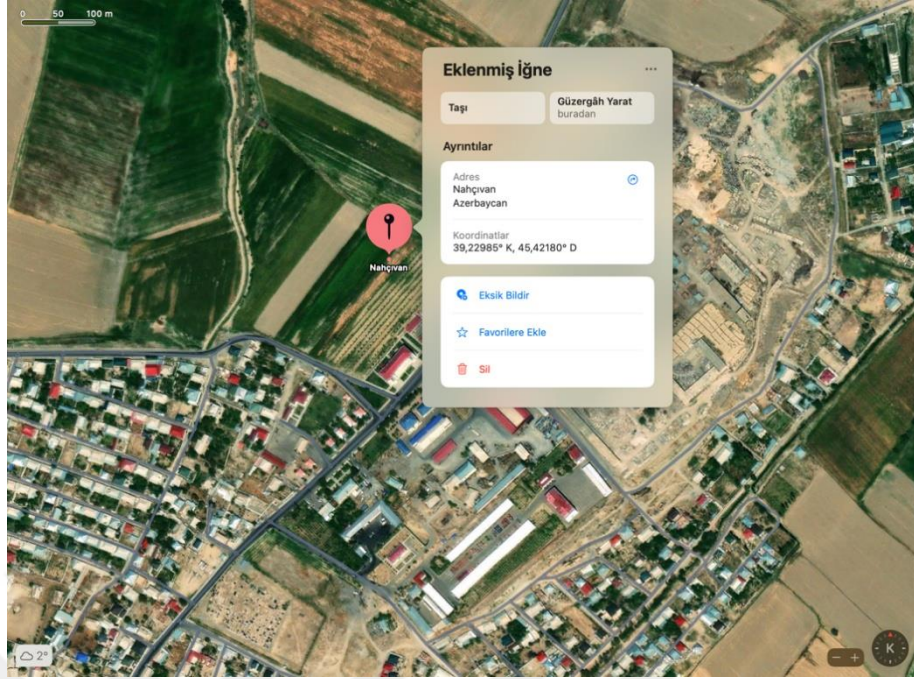
Toprak hafif alkali özellik göstermekte (pH 7.8), tuzluluk seviyesi düşük (EC 0.74 dS m⁻¹) ve aşırı kireçlidir (%25.31). Organik madde (%1.56) ve azot (%0.078) düzeyleri düşük, fosfor (11.82 mg kg⁻¹) ve potasyum (1.66 me 100 g⁻¹) ise yüksek seviyededir.

Kalsiyum, çinko, mangan ve bakır yeterli ya da iyi düzeyde, magnezyum ise orta sınıftadır. Özellikle, çinko ve bakır gibi iz elementlerin uygun seviyeleri, bitki gelişimini destekleyen olumlu bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

3.1.2. Denemede kullanılan bitki ve özellikleri

Çalışmada, test bitkisi olarak bir kinoa çeşidi olan ve Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nden (BATEM) tescilli olan KOÇUM07 (Chenopodium quinoa Willd.) tohum çeşidi kullanılmıştır. Çeşit beyaz kinoa olarak bilinmekte olup, 1000 dane ağırlığı 2.1 gr, çimlenme yüzdesi ise %98 olmuştur (Şekil 3.2’ye baka bilirsiniz).

Tohum ekilmeden önce mantar hastalıkları ve zararlılara karşı RUBİN 2 DS ile muamele edilerek uygulanmıştır.



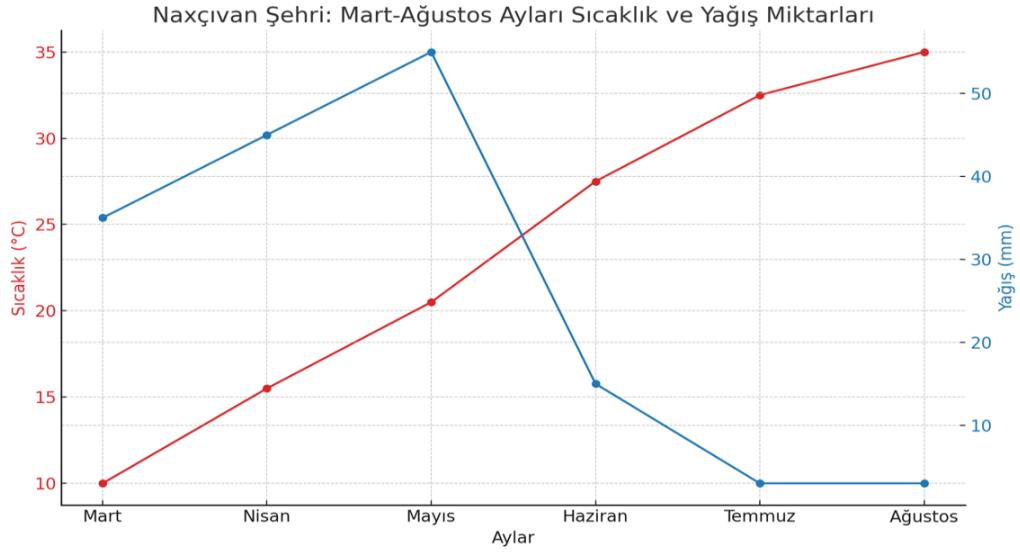
Şekil 3.1. Deneme alan görüntüsü



Şekil 3.2. Araştırma sonundaki beyaz kinoa bitkisinin tarla koşullarındaki görünümü, gelişim dönemini yansıtmaktadır.

3.1.3. Araştırma alanının iklim özellikleri

Deneme alanı kurulan Nahçıvan şehrinde Mart 2024'ten başlayarak Haziran 2024, Temmuz ve Ağustos 2024 aylarına kadar iklim özellikleri değişkenlik göstermiştir. Sıcaklık artarken yağış azalmaya başlamıştır. Şekil 3.3'de verildiği gibi sıcaklıklar yükselirken, yağışlar minimum seviyelere inmiş ve yaz aylarında kuraklık hâkim olmuştur.



Şekil 3.3. Nahçıvan şehri Mart-Ağustos 2024 dönemi ortalama sıcaklık ve yağış miktarı

3.2. Metot

3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Deneme 15 Nisan 2024 - 15 Ağustos 2024 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. Toprak hazırlığı aşamasında toprağın derin sürümü Nisan 2024'te gerçekleştirilmiş ve toprak hazırlığı yapılmıştır (Şekil 3.4). Deneme toplam 16 uygulamadan oluşmuş olup her bir deneme parseli 6 m², dikim her parselde 3 sıra olacak ve sıra arası 40 cm, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 3.4. Deneme alanında toprak hazırlığı ve parsellerin hazırlanması

Deneme parselleri hazırlandıktan sonra Çizelge 3.2'de belirtilen oranlarda çinko uygulamaları yapılmıştır. Çinko uygulamaları ile 0, 4.5, 9.0 ve 13.5 kg ha⁻¹ dozlarında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2'de, araştırmada topraktan ve yapraktan uygulanan Zn

uygulamaları yer almaktadır. Araştırma kontrol dahil topraktan ve yapraktan 4 farklı dozda olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre planlanmıştır.

Çizelge 3.2. Denemede yapraktan ve topraktan uygulanan Zn dozları

Uygulamalar	Toprak Uygulaması (kg ha ⁻¹)	Yaprak Uygulaması (%)
T0Y0	0	0.0
T0Y1	0	0.07
T0Y2	0	0.14
T0Y3	0	0.21
T1Y0	4.5	0.0
T1Y1	4.5	0.07
T1Y2	4.5	0.14
T1Y3	4.5	0.21
T2Y0	9.0	0.0
T2Y1	9.0	0.07
T2Y2	9.0	0.14
T2Y3	9.0	0.21
T3Y0	13.5	0.0
T3Y1	13.5	0.07
T3Y2	13.5	0.14
T3Y3	13.5	0.21

15 Nisan 2024'te parsellerde her sıraya 10 bitki olacak şekilde toplam 30 bitki parsel⁻¹ ekimi yapılmıştır. Bu amaçla, derinliği 0.5-2 cm arasında olacak şekilde 10 çukur açılmış ve tohumlar bu çukurlara ekilmiştir. Tohumların çimlenmesi 5-7 gün içinde başlamış, tam çimlenme ise 10 gün içinde tamamlanmıştır. Ekim sonrasında havaların yağmurlu geçmesi nedeniyle, ilk sulama 6 Mayıs 2024 tarihinde yapılmıştır. Sulamadan bir hafta sonra, 13 Mayıs'ta, yabancı otlarla mücadele edilmesi ve kinoa fidelerinin kök boğazlarının yumuşatılması amacıyla ilk çapalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bitkilerin boyu 20-30 cm aralığına ulaştığında, ikinci sulama için hazırlık yapılmıştır. Ardından, çapalama işlemi tekrar yapılarak deneme alanı sulanmıştır. Temel gübreleme olarak parsellere 5 kg da⁻¹ N, 6 kg da⁻¹ P₂O₅ ve 6 kg da⁻¹ K₂O gübreleri deneme parsellerine uygulanmıştır. Bitkiler deneme alanında günlük olarak izlenmiş; boy gelişimi, hava sıcaklığı, hastalık ve zararlılar kontrol edilmiştir. Kinoa bitkisine yapraktan ilk çinko sülfat uygulaması bitki boyu 50 cm'ye ulaştığında, 2. çinko sülfat uygulaması ise dane oluşum döneminde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).

Vejetasyon dönemi boyunca toplam 5 kez sulama yapılmıştır. Bitki boyu 30 cm'yi aştığı dönemde ana salkımlar oluşmaya başlamıştır. Ana salkım uzadıkça yan salkımlar gelişerek bitki, tam bir salkım formu kazanmıştır. Temmuz ayında, oluşan salkımlarda dane gelişimi ve tozlanma süreci başlamıştır. Kinoa bitkisinde tozlanmanın genellikle kendi kendine gerçekleşmesi nedeniyle, abiyotik faktörlerin etkisi sınırlı kalmıştır.



Şekil 3.5. Kinoa bitkilerine yapraktan çinko uygulaması

3.2.2. Hasat ve alınan ölçümler

Yetiştirilen ve yaprakların sararıp dökülmeye başladığı ve çiçek salkımlarının kuruduğu aşamada (Jacobsen vd. 1999) hasat olgunluğuna gelen kinoa bitkilerinde Ağustos 2024'te hasat gerçekleştirilmiştir. Hasat işlemi mekanik olarak elle yapılmış ve her parselden elde edilen bitkiler ayrı ayrı bağlar halinde hazırlanmış, bu bağlar rutubet ve nem oranını düşürmek amacıyla 25°C'de 4 gün boyunca bekletilmiştir.

Hasat öncesinde parsellerdeki bitki sayısı (adet parsel⁻¹), bitki boyu (cm), ana salkım uzunluğu (cm) ve salkımlardaki dal sayısı (adet bitki⁻¹) tespit edilerek gerekli ölçümler yapılmıştır. Daha sonra bağlar ayrı ayrı dövülerek kinoa daneleri salkımlardan ayrılmıştır. Kinoa daneleri, laboratuvar ortamında kabuk ve saponinlerinden arındırılmak üzere toprak eleme eleklerinde elenmiştir (Şekil 3.6). Elendikten sonra 1000 dane ağırlığı (gram), dane verimi (kg da⁻¹) ve hasat indeksi (%) belirlenmiştir. Yapılan çalışmada hasat indeksi (Harvest Index, HI), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$HI (\%) = \left(\frac{\text{Dane verimi}}{\text{Toplam biyokütle}} \right) \times 100$$

Bu formülde, dane verimi, bitkiden elde edilen tane ürününün kuru ağırlığını ifade etmektedir. Toplam biyokütle ise bitkinin hasat sonrası tüm kuru ağırlığını (tane + sap + yapraklar vb.) kapsamaktadır. Her iki parametre aynı birimde (g veya kg) alınarak oranlanmış ve elde edilen değer yüzde (%) cinsinden ifade edilmiştir.

Bu hesaplama ile, kinoa bitkisinin fotosentez ürünlerini ekonomik olarak değerlendirilebilen kısımlara (yani tanelere) ne oranda yönlendirdiği belirlenmiş, dolayısıyla bitkinin verim etkinliği hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan ölçümler sonucunda, her parselden çıkan tohumlardan örnekler alınarak kimyasal analiz için öğütülmüştür.



(a) Daneler



(b) Toprak eleme elekleri

Şekil 3.6. Kinoa danelerinin laboratuvarda kabuk ve saponinlerinden arındırılması

3.2.3. Laboratuvar çalışmaları

Araştırmada deneme alanından alınan toprak örnekleri ve kinoa bitkisi yetiştiriciliği sonrası hasat edilen kinoa danelerinde bazı analizler ve ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu analizlere ait analiz ve ölçüm yöntemleri bu kısımda verilmiştir.

Toprak analizleri: Deneme yapılan alandan başlangıç ve deneme sonunda olmak üzere iki ayrı zaman diliminde toprak örnekleri alınmıştır.

Başlangıç toprak örneği deneme yapılan tarlayı temsil edecek şekilde Jackson (1967) tarafından bildirilen esaslara uygun olarak, 0-20 cm derinlikten alınmış, alınan toprak örneği 1 kg'lık örnek naylon poşete konulmuştur. Alınan toprak örnekleri hava kuru hale getirildikten sonra büyük parçalar tokmak ile parçalanmış ve 2 mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Hazır hale gelen toprak örneği analiz için plastik bir kaptaki bekletilmiştir. Deneme sonunda, 48 deneme parselinden 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri Jackson (1967) tarafından bildirilen esaslara uygun olarak alınmış, alınan toprak örnekleri ayrı ayrı karıştırılıp 1 kg'lık örnek naylon poşetlere konulmuştur.

Alınan toprak örnekleri hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Hazır hale gelen toprak örnekleri analiz için plastik bir kaptaki bekletilmiştir. Toprak analizlerinde organik madde, pH, EC (elektriksel iletkenlik), azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), çinko (Zn), manganez (Mn) ve bakır (Cu) değerleri ölçülmüştür.

Analizler “Azerbaycan Respublikası Aqrar Xidmetler Agentliyi LESM-in Merkezi” laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Toprak analizlerinin laboratuvarında analizlerin gerçekleştirilmesi

Toprakta bünye analizi: Deneme topraklarının bünye analizi Bouyoucos (1951) tarafından belirlenen esaslara göre hidrometre yöntemiyle yapılmış, analiz sonuçlarına göre bünye sınıfları belirlenmiştir (Black 1965).

Toprak reaksiyonu (pH): Toprak örneklerinin pH değerleri 1:2.5 oranında toprak:su karışımı 60 dakika süreyle çalkalandıktan sonra pH metre ile ölçülmüştür (Jackson 1967).

Elektriksel iletkenlik (EC): Toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri 1:2.5 oranında toprak/su karışımı 60 dakika süreyle çalkalandıktan sonra EC-metre ile ölçülmüştür.

Kireç (CaCO_3): Toprak örneklerinin CaCO_3 içerikleri Scheibler Kalsimetresi ile ölçülerek, sonuçlar % CaCO_3 olarak hesaplanmış ve (Çağlar 1949) Aereboe ve Falke'ye göre sınıflandırılmıştır (Evliya 1964).

Organik madde (%): Toprak örneklerinin organik madde içeriği Modifiye Walkley-Black metoduna göre (Black 1965) tayin edilmiş, sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Thun vd.'ne (1955) göre sınıflandırılmıştır.

Toplam azot (N): Analize hazırlanmış olan deneme toprak örneklerinin azot içeriği Modifiye Kjeldahl metoduna göre tayin edilmiştir (Kacar ve İnal 2008). Alınan sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Loue (1968)'ya göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir fosfor (mg kg^{-1}): Analize hazırlanmış olan deneme toprak örnekleri Olsen metoduna göre belirlenmiştir. Spektrofotometre cihazında 880 nm dalga boyunda okuma yapılarak sonuçlar mg kg^{-1} olarak verilmiştir (Olsen ve Sommers 1982).

Değişebilir potasyum, kalsiyum, magnezyum (mg kg^{-1}): Analize hazırlanmış olan deneme toprak örneklerinin 1 N Amonyum Asetat (pH: 7) ekstraksiyonuna göre (Kacar ve İnal 2008), ekstraksiyondaki K, Ca ve Mg konsantrasyonları (mg kg^{-1}) ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiş, Ca ve Mg analiz sonuçları Loue (1968)'ya, K analiz sonuçları

Pizer (1967)'e göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir mangan, çinko ve bakır (mg kg^{-1}): Analize hazırlanmış olan deneme toprak örnekleri 0.005M DTPA ekstraksiyonuna göre (Lindsay ve Norvell 1978) ekstraksiyondaki mikroelement konsantrasyonları (mg kg^{-1}) ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Dane analizleri Dane analizleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında, danelerde toplam azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), çinko (Zn), manganez (Mn), bakır (Cu) ve protein içerikleri belirlenmiştir. Analiz öncesinde, kinoa daneleri öğütülmeye hazırlanmak için önce 2 saat boyunca kurutucu dolapta bekletilmiştir. Daha sonra, her bir örnek ayrı ayrı öğütme değirmeni kullanılarak öğütülüp analize hazır hale getirilmiştir.

Danede Toplam Azot (N): Azot analizi Modifiye Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır (Kacar ve İnal 2008).

Danede Toplam makro (P, K, Ca, Mg) ve toplam mikro (Zn, Mn, Cu) bitki besin elementleri: Kurutulmuş ve öğütülmüş 0.5 g bitki örneği üzerine 9 ml %65'lik HNO_3 ve 3 ml %37'lik HCl ilave edilmiştir. Yaş yakma işlemi Digiblok (Labtech ED 36S) adı verilen bir yakma ünitesinde yaş yakma işlemi yapılmıştır. Elde edilen süzükte makro ve mikro bitki besin elementleri ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar % veya mg kg^{-1} olarak verilmiştir.

3.2.4. İstatistiksel analiz yöntemleri

Araştırma 4 farklı dozda topraktan ve yapraktan çinko sülfat uygulaması ve 3 tekerrürlü olacak şekilde tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları SPSS ile paket programları kullanılarak varyans ve tekrarlı ölçüm analizi ile birlikte %5 önem seviyesinde Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde topraktan ve yapraktan uygulanan çinko gübrelemesi kinoa bitkisinin danesinde besin elementi içerikleri, toprak özellikleri ve bitkideki bazı parametreler üzerine olan etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

4.1. Bitkilerin bazı morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesi

Bu bölümde topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının bitkide bitki boyu, ana salkım uzunluğu, dane verimi, hasat indeksi, 1000 dane ağırlığı ve salkımdaki dal sayısı gibi bazı gelişim parametreleri üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir.

4.1.1. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının ana salkım uzunluğu üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin ana salkım uzunluğu üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'deki verilere göre, topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde ana salkım uzunluğu (cm) üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisinde ana salkım uzunluğu (cm) değerleri 39.67-57.67 cm aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.1. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde ana salkım uzunluğu (cm) üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	50.67	57.00	57.67	39.67	51.25
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	42.33	49.33	47.33	53.33	48.08
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	49.33	45.33	51.33	39.67	46.42
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	54.67	47.33	53.33	46.67	50.50
Ortalama	49.25	49.75	52.42	44.83	
Toprak			0.780 ^{öd}		
Yaprak			1.561 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.240 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çinko uygulamalarının, yapraktan çinko sülfat (ZnSO₄) şeklinde yapılmasının; bitki yüksekliğini, dane sayısını ve 1000 dane ağırlığını artırdığı halde, salkım uzunluğu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Qamari vd. 2023). Kara ve Yılmaz (2019) tarafından yürütülen araştırmada, çinko buğday ve diğer tahıl bitkilerinde ana salkım uzunluğu üzerinde anlamlı bir değişiklik yaratmadığı; bunun yerine, bitkinin genel besin alımı ve dayanıklılığının arttığı gözlemlenmiştir.

4.1.2. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa

bitkisinin bitki boyu üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2’deki verilere göre, topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde boy uzunluğu (cm) değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisinde boy uzunluğu (cm) değerleri 72.00-99.33 cm aralığında değişim göstermiştir. Bu sonuç, topraktan yapılan çinko sülfat uygulamalarının bitki boyu üzerinde doğrudan belirgin bir iyileştirici etki sunmadığını göstermektedir. Yaprak yoluyla uygulanan çinko morfolojik parametreler üzerindeki etkileri sınırlı kalmakta; bu uygulamanın bitkinin genel besin alımını optimize etmede rol oynadığı, ancak bitki boyunda anlamlı bir fark yaratmadığı bildirilmiştir (Smith ve Johnson 2017).

Çizelge 4.2. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının kinoa bitki boyu (cm) üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	80.00	92.00	99.33	80.00	87.83
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	82.00	83.67	78.00	81.67	81.83
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	78.33	82.33	72.00	78.33	77.75
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	92.33	75.67	75.00	77.00	80.00
Ortalama	83.17	83.42	81.08	79.25	
Toprak			1.985 ^{öd}		
Yaprak			0.405 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.480 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Tuiwong vd. (2019) yapraktan çinko uygulamalarının bitki besin durumunu iyileştirdiği fakat boy uzamasında net bir artışa yol açmadığı rapor etmiştir. Hussain vd (2025), çinko uygulamasının ayçiçeği bitkisinin bitki boyu, yaprak alanı ve kök gelişimi gibi büyüme parametrelerini iyileştirdiğini bildirmiştir.

Kara ve Yılmaz (2019), çinko uygulamalarının buğdayda bitki boyunu doğrudan artırmadığı, fakat 1000 dane ağırlığı ve diğer verim bileşenlerini iyileştirdiği belirtilmiştir. Miller ve Carter (2018), mısırdaki çinko uygulamalarının bitki boyu üzerinde anlamlı bir artış sağlamadığı, fakat genel verim bileşenlerinin optimize edildiği ortaya konmuştur. Tuiwong vd. (2019), domates bitkisinde çinko uygulamasının bitkinin besin alımını ve diğer verim bileşenlerini desteklediği, ancak bitki boyu gibi morfolojik özelliklerde belirgin bir iyileşme yaratmadığı rapor edilmiştir.

4.1.3. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının bitki sayısı değerleri üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde parseldeki bitki sayısı değerleri üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir. Çizelge 4.3’teki verilere göre, topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde parseldeki bitki sayısı (adet parsel⁻¹)

değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisinde parseldeki bitki sayısı değerleri 21.67-30.33 adet parsel⁻¹ aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.3. Toprakten ve yaprakten farklı dozlar da çinko uygulamalarının kinoa bitkisinde parseldeki bitki sayısı (adet parsel⁻¹) değerleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	24.33	27.00	24.00	22.33	24.42
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	27.33	23.00	21.67	26.33	24.58
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	27.33	23.67	25.00	23.00	24.75
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	24.67	26.00	30.33	27.33	27.08
Ortalama	25.92	24.92	25.25	24.75	
Toprak			1.570 ^{öd}		
Yaprak			0.264 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.607 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.1.4. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine etkileri

Farklı dozlar da topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4'teki verilere göre, topraktan ve yaprakten farklı dozlar da çinko uygulamalarının kinoa bitkisindeki salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisindeki salkımdaki dal sayısı değerleri 25.33-35.00 adet aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.4. Toprakten ve yaprakten farklı dozlar da çinko uygulamalarının kinoa bitkisindeki salkımdaki dal sayısı (adet) değerleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	32.00	28.00	31.33	28.00	29.83
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	25.33	35.00	32.67	28.67	30.42
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	32.67	33.33	33.67	29.33	32.35
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	31.67	32.33	28.33	27.33	29.92
Ortalama	30.42	32.17	31.50	28.33	
Toprak			0.844 ^{öd}		
Yaprak			1.868 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.197 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Yahya Nas ve İbrahim Duman (2024) tarafından yapılan çalışmada, farklı dozlarda uygulanan çinko gübrelemesinin meyve salkımı ve dal sayısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığı, uygulamalar sonucunda dal sayısında hafif artışlar gözlenirse de bu değişimlerin varyans analizine göre anlamlı düzeyde olmadığı ($p>0.05$) ve çinko uygulamalarının verim ve kalite üzerinde olumlu etkiler oluşturmalarına rağmen dallanma gibi morfolojik yapı unsurlarını doğrudan etkilemediği rapor edilmiştir.

4.1.5. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının 1000 dane ağırlığı üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin 1000 dane ağırlığı (g) üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının 1000 dane ağırlığı (g) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	1.87	1.93	1.80	1.83	1.86
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.80	1.80	1.87	1.80	1.82
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	1.83	1.80	1.80	1.80	1.81
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.80	1.80	1.77	1.80	1.79
Ortalama	1.83	1.83	1.81	1.81	
Toprak			1.716 ^{öd}		
Yaprak			0.333 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.761 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: $p<0.05$; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.5'teki verilere göre, topraktan ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının 1000 dane ağırlığı (g) değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisindeki 1000 dane ağırlığı (g) değerleri 1.77-1.93 g aralığında değişim göstermiştir.

Khrbeet (2018) tarafından yapılan çalışmada, yaprakten uygulanan çinko gübrelemesinin 1000 dane ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir.

4.1.6. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının dane verimi üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin dane verimi üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6'daki verilere göre, topraktan ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının dane verimi (g) değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli

bulunmamıştır. Kinoa bitkisindeki dane verimi değerleri 320.0-379.0 g aralığında değişim göstermiştir. Keerio vd. (2020), yapraktan çinko uygulamasının ayçiçeği verimini ve yağ içeriğini artırdığını yalnız dane verimi değerlerinde etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.6. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının dane verimi (g) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	353.3	356.7	350.0	330.0	347.5
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	366.7	336.7	333.3	366.7	350.8
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	370.0	333.3	350.0	320.0	343.3
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	366.7	353.3	379.0	366.7	366.4
Ortalama	364.2	345.0	353.1	345.8	
Toprak			1.962 ^{öd}		
Yaprak			1.522 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt			1.194 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.1.7. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının hasat indeksi (%) üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin hasat indeksi (%) üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7’deki verilere göre, topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının hasat indeksi (%) değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kinoa bitkisindeki hasat indeksi değerleri % 63.73-73.20 aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.7. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının hasat indeksi (%) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	66.57	64.03	71.13	68.13	67.47
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	63.73	70.53	73.20	66.87	68.58
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	64.37	68.53	67.00	66.97	66.72
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	65.00	65.60	60.53	64.07	63.80
Ortalama	64.92	67.18	67.97	66.51	
Toprak			1.679 ^{öd}		
Yaprak			0.675 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.919 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Aslı ve Göksoy (2022) tarafından yapılan çalışmada $ZnSO_4$ uygulamasıyla biyokütle verimi, tane verimi ve hasat indeksi hem biyolojik verim hem yağ oranı anlamlı şekilde artmış, Necat Togay vd. (2004) tarafından *Phaseolus vulgaris* üzerinde yürütülen bir araştırmada, çinko uygulamaları sonucunda biyolojik verim ve tane veriminde artış gözlenmiş; hasat indeksi ise %37 ile %49,5 arasında değişmiş ve çinko uygulamalarının hasat indeksi değerlerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı belirlenmiştir.

4.1.8. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının danede protein (%) içeriğı üzerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danede protein (%) içeriğı üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının danede protein kapsamaları üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	17.78bc	17.78bc	17.98bc	17.12c	17.66
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	17.04c	17.11c	19.39bc	17.71bc	17.81
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	17.12c	17.32c	18.62bc	21.62a	17.97
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	17.12c	17.88bc	19.69ab	17.17c	18.67
Ortalama	17.27 (C)	17.52 (BC)	18.92 (A)	18.41 (AB)	
Toprak			1.583 ^{öd}		
Yaprak			4.724 ^{**}		
Toprak*Yaprak İnt.			3.144 ^{**}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Parantez içerisinde büyük harfle gösterilen değerler artan yaprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Çizelge 4.8’deki verilere göre, topraktan artan çinko uygulamalarının kinoa danesinde protein içeriğı bakımından etkisi istatistiksel olarak önemsiz, yaprakten çinko uygulamalarında ve Toprak*Yaprak interaksyonu p<0.1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Yapraktan çinko uygulamalarıyla Y2 dozunun (%0.14 Zn) %18.92 düzeyinde maksimum protein içeriğı elde edilmesine yardımcı olduğu ve kontrole göre danede protein içeriğinde %9.55 düzeyinde artış sağlanmıştır. Toprak*Yaprak interaksyonunda ise T2Y3 dozunun danede maksimum protein içeriğini (%21.62) sağladığı ve en düşük değere göre %27 düzeyinde artış sağlanmıştır. Proteinin içeriğı olan triptofanın sentezinde çinko önemli etkiye sahiptir (Kacar ve Katkat, 2018; Ghasemian ve ark., 2010). Panda vd. (1999) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada çinko uygulamalarının çeltikte protein oranında artışa neden olduğunu ancak çinko dozunun daha fazla artması ile de protein oranının azaldığını belirtmiştir. Çinko, azotun bitki tarafından alınıp bitki kısımlarında taşınmasına ve tanede azot dolayısıyla protein oranının artışına katkıda bulunmaktadır. Artan dozda Zn uygulamalarının bazı yem bitkilerinde ham protein oranında artışa neden olduğu bildirilmiştir (Öztürk vd. 2009).

Aktaş (2016) makarnalık buğdayda çinko uygulamalarıyla danede protein artışı sağlandığını belirtmiştir. Abdel ve Haggan (2014) soya çeşitlerinde yaptıkları araştırmada çinko elementinin protein oranını artırdığını belirtmişlerdir.

4.2. Kinoa bitkisinde dane analizlerinin değerlendirilmesi

4.2.1. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının danenin çinko içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakdan uygulanan Zn uygulamalarının kinoa bitkisinin danede Zn içeriği üzerine etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Toprak uygulamaları, yaprak uygulamaları ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda artan Zn uygulamalarının kinoa danesinde Zn kapsamı bakımından etkisinde istatistiksel olarak %0.1 ($p<0.01$) düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir.

Toprak uygulamalarında T3 uygulaması (79.50 mg kg^{-1}), yaprak uygulamalarında Y3 uygulaması (83.43 mg kg^{-1}) ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda ise T3Y3 uygulaması ($100.60 \text{ mg kg}^{-1}$) maksimum değerlerin elde edildiği uygulamalar olarak belirlenmiştir. Elde edilen maksimum değerler kontrole göre topraktan Zn uygulamalarıyla T3 ile %40.9, yaprakdan uygulamalarda Y3 ile %57.3 ve T*Y interaksiyonunda T3Y3 ile %112.8 oranında artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.9. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danede çinko kapsamı üzerine olan etkileri (mg kg^{-1})

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha^{-1} Zn)	47.27g	50.97fg	57.53de	69.87c	56.41D
T1 (4.5 kg ha^{-1} Zn)	54.07ef	67.80c	72.53c	89.07b	70.87B
T2 (9.0 kg ha^{-1} Zn)	54.87ef	61.13d	71.97c	74.17c	65.53C
T3 (13.5 kg ha^{-1} Zn)	56.00def	71.00c	90.40c	100.60a	79.50A
Ortalama	53.05 (D)	62.73 (C)	73.11 (B)	83.43 (A)	-
Toprak			94.064***		
Yaprak			172.571***		
Toprak*Yaprakİnt			8.302***		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: $p<0.05$; **: $p<0.01$; ***: $p<0.001$.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Juan Xin vd. (2024), Zn yetersizliğine duyarlı mısır çeşitlerinde yaprakdan uygulanan ZnSO_4 'ün, bitkinin azot (N) ve potasyum (K) alımını sırasıyla yaklaşık %27 ve %25 oranında artırdığını bildirmiştir. Ancak, çinko yetersizliğine dirençli çeşitlerde mineral alımında kısmi azalmalar gözlenmiştir. Recena (2021) tarafından yayımlanan ve toprak uygulamasının çinko alımına etkisini inceleyen çalışma, 36 farklı toprak türünde zinc sulfate kullanımıyla yapılan deneylerde, toprağın DTPA-Zn düzeylerinde anlamlı artış tespit ettiğini bildiriyor. Özellikle Zn eksik topraklarda, uygulanan çinkonun bitki tarafından alınabilir hale geldiği vurgulanmaktadır Ayrıca Liu vd. (2020) tarafından mısır üzerinde yapılan saha denemelerinde, toprakta çinko uygulanmasının tane verimini

%4.2–16.7 oranında artırdığı ve bunun yanında tane çinko konsantrasyonunu da kayda değer biçimde artırdığı raporlanmıştır. Bu bulgular, Zn uygulamasının hem verim hem de bitkideki çinko birikimi açısından etkili olduğunu göstermektedir. Sattar vd. (2021), yapraktan uygulanan çinkonun su stresi altındaki buğday bitkilerinde büyüme, fizyolojik tepkiler ve tahıl verimi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 5, 10 ve 15 mM Zn dozları terminal büyüme dönemlerinde (%40 ve %80 toprak su tutma kapasitesinde) uygulanmıştır. Sonuçlara göre 10 mM Zn uygulaması, bitki boyunu, gaz değişim parametrelerini ve verimi önemli ölçüde artırmış; tahılda ve yaprakta Zn içeriğini yükseltmiştir. Böylece yapraktan yapılan Zn uygulamasının, özellikle 10 mM dozda, stres koşullarında verim ve kaliteyi artırmada etkili olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin azot içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan Zn uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin azot içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin azot kapsamı üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	2.85bc	2.85bc	2.88bc	2.74c	2.83
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	2.73c	2.74c	3.10bc	2.83bc	2.85
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	2.74c	2.77bc	2.98bc	3.46a	2.88
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	2.74c	2.86bc	3.15ab	2.75c	2.99
Ortalama	2.76 (B)	2.81 (AB)	2.95 (AB)	3.03 (A)	-
Toprak			1.596 ^{öd}		
Yaprak			4.661 ^{**}		
Toprak*Yaprak ^{İnt}			3.142 ^{**}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Parantez içerisinde büyük harfle gösterilen değerler artan yaprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Çizelge 4.10'daki verilere göre, topraktan artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin toplam azot kapsamı bakımından etkisi istatistiksel olarak önemsiz, yapraktan Zn uygulamalarında ve Toprak*Yaprak interaksiyonu p<0.1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Yapraktan Zn uygulamalarıyla Y3 dozunun (%0.21 Zn) %3.03 düzeyinde maksimum azot içeriği elde edilmesine yardımcı olduğu ve T2Y3 dozunun danenin maksimum azot içeriğini (%3.46) sağladığı gözlenmiştir.

Çinko, bitkilerde azot metabolizmasının düzenlenmesine katkıda bulunur. Çinko, amino asitlerin proteinlere dönüşümünü destekleyerek azot metabolizmasını iyileştirir, bitkide birçok enzimatik reaksiyonun katalizörüdür ve bu sayede azotun verimli kullanımını sağlar. Çinko eksikliği, bitkide fotosentez ve azot asimilasyonunu olumsuz etkiler (Cakmak 2000). Yapraktan çinko sülfat uygulamalarının kinoa bitkisinin azot metabolizmasını destekleyebileceğini göstermektedir (Smith ve Brown 2017). Jorfi vd.

(2023) tarafından yapılan çalışmada, hem topraktan hem de yapraktan uygulanan çinko sülfatın kinoa bitkisinin azot (N) alımını artırabileceğine dair bilimsel kanıtlar sunulmuştur. Özellikle, yapraktan yapılan çinko sülfat uygulamasının kinoa bitkisinde azot, fosfor ve potasyum birikimini artırdığı bildirilmiştir. Bu etkinin Q26 çeşidinde daha belirgin olduğu, Giza 1 ve Titicaca çeşitlerinde ise kontrol ve optimal uygulamalar arasındaki farkların daha az olduğu rapor edilmiştir. Li vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, erken dane doldurma döneminde yapılan yapraktan çinko uygulamasının buğdayın dane çinko konsantrasyonunu %82,9 oranında artırdığı ve çinko kullanım verimliliğini %49 oranında iyileştirdiği bildirilmiştir. Lee ve Kim (2016), mısır bitkisinde çinko sülfat uygulamalarının azot alımını artırdığını ve verimi desteklediğini rapor etmiştir. Rodriguez ve Lopez (2019), domates bitkisinde çinko sülfat uygulamalarının azot içeriğini artırdığını ve meyve kalitesine olumlu katkılar sağladığını belirtmiştir. Wahane vd. (2022), pirinç bitkisinde çinko sülfat uygulamalarının azot alımını desteklediğini ve genel besin içeriğini iyileştirdiğini rapor etmiştir.

4.2.3. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin fosfor içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danede fosfor içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin fosfor kapsamı üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	0.20	0.18	0.16	0.16	0.18
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	0.17	0.18	0.16	0.16	0.17
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	0.16	0.17	0.15	0.17	0.16
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16
Ortalama	0.18	0.17	0.16	0.16	-
Toprak			1.972 ^{öd}		
Yaprak			3.204 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.385 ^{öd}		

Değerler 3 tekrerrüt ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.11’deki verilere göre, topraktan ve yapraktan artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin fosfor kapsamı bakımından etkisi istatistiksel olarak önemsiz olarak belirlenmiştir. Topraktan ve yapraktan Zn uygulamalarıyla danenin fosfor içeriklerinin %0.16-0.20 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Loneragan ve Webb (1993) tarafından yapılan çalışmada, çinko (Zn) ve fosfor (P) gibi makro ve mikro besin elementleri arasındaki biyokimyasal ve tarımsal etkileşimler detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle yüksek fosfor dozlarının, bitkinin çinko ihtiyacını artırabileceği ve bu durumun bazı durumlarda çinko eksikliğine yol açabileceği belirtilmiştir. Bu etkileşim, bitki beslenme dengesini etkileyerek büyüme ve verim üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilir. Çinko ve fosfor arasındaki etkileşimler, farklı bitki türlerinde de incelenmiştir. Xin vd. (2024)

tarafından 22 güncel mısır çeşidi üzerinde yürütülen bir çalışmada, yapraktan uygulanan çinko sülfatın ($ZnSO_4$) dane verimi ve azot (N) birikimini artırdığı, ancak fosfor (P) ve potasyum (K) emilimini azalttığı bildirilmiştir. Fosfor alımındaki azalma, ortalama %13.6 oranında gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, çinko sülfat uygulamasının büyüme ve azot alımı üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini; ancak fosfor içeriğinde anlamlı bir artış sağlamadığı, hatta belirgin bir düşüşe yol açtığını ortaya koymaktadır. Zhang ve Wang (2021), pirinç tarımında çinko sülfatın fosfor alımı üzerindeki etkisinin minimal olduğunu ve topraktaki fosfor seviyelerini değiştirmedığını belirtmiştir.

4.2.4. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin potasyum içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin potasyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin potasyum kapsamı üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	1.27	1.17	0.90	1.09	1.11
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.06	1.34	0.99	1.21	1.15
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	1.07	1.11	1.08	1.02	1.08
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.14	1.11	1.17	1.37	1.20
Ortalama	1.13	1.18	1.03	1.17	-
Toprak			1.921 ^{öd}		
Yaprak			3.047 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			2.567 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05 öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.12’de verilere göre, topraktan ve yapraktan artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin potasyum (K) içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, Zn uygulamalarının kinoa danesinin potasyum kapsamı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Topraktan ve yapraktan Zn uygulamalarıyla danede potasyum içeriklerinin %0.90-1.37 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yapraktan Zn uygulamalarının danenin potasyum miktarı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Park ve Kim (2019), mısır bitkisinde çinko sülfat uygulamalarının potasyum metabolizması üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığını, ancak kök gelişimi ve besin alımı süreçlerine destek sağladığını bildirmiştir.

Ahmed vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, örneğin çinko oksit nanopartikülleri veya çinko sülfatın yapraktan uygulanmasıyla elde edilen faydaların genellikle verim ve kalite parametreleri üzerine olduğu belirtilmiştir. Ancak, bu uygulamaların bitkideki potasyum (K) seviyeleri üzerindeki etkilerinin doğrudan değerlendirildiği çalışmaların literatürde nadiren rapor edildiği vurgulanmıştır. Kandil vd.

(2022), pirinç bitkisinde toprak ve yapraktan uygulanan çinko gübrelemesinin verim, kalite ve demir (Fe) ile azot (N) gibi temel besin maddelerinin kullanımını artırdığını; ancak potasyum (K) düzeyleri üzerinde belirgin bir etki oluşturmadığını bildirmiştir.

4.2.5. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin kalsiyum içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin kalsiyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13'teki verilere göre, topraktan artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin kalsiyum kapsamı bakımından etkisinde topraktan yapılan uygulamaların %0.1 ($p<0.01$) düzeyinde, yapraktan uygulamalar ve Toprak*Yaprak interaksiyonları %1 ($p<0.1$) düzeyinde istatistiksel olarak önemli olarak belirlenmiştir. Toprak uygulamalarında T3 uygulaması (%0.19), yaprak uygulamalarında Y3 uygulaması (%0.18) ve Toprak*Yaprak interaksiyonunda ise T3Y3 uygulaması (%0.22) maksimum değerlerin elde edildiği uygulamalar olarak belirlenmiştir. Kalpana (2025), farklı çinko formülasyonlarının mısır bitkisinde vejetatif büyümeyi artırdığını bildirmiştir. Ancak çinko sülfat uygulamalarının kalsiyum metabolizması üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı, yalnızca hücre duvarı gelişimini desteklediği belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. Topraktan ve yapraktan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin kalsiyum kapsamı üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.14de	0.13de	0.15cd	0.15cd	0.14B
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.14de	0.18bc	0.11e	0.19ab	0.16B
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.14de	0.15cd	0.18bc	0.15cd	0.16B
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.19b	0.18bc	0.16bcd	0.22a	0.19A
Ortalama	0.15 (B)	0.16 (AB)	0.15 (B)	0.18 (A)	-
Toprak			16.756***		
Yaprak			6.302**		
Toprak*Yaprakİnt			4.898***		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: $p<0.05$; **: $p<0.01$; ***: $p<0.001$.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Parantez içerisinde büyük harfle gösterilen değerler artan yaprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

4.2.6. Topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danenin magnezyum içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yapraktan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin magnezyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının danenin magnezyum kapsamları üzerine olan etkileri (%)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.21	0.21	0.18	0.21	0.20B
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.20	0.25	0.19	0.22	0.22AB
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.19	0.20	0.21	0.20	0.20B
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.25	0.21	0.22	0.26	0.24A
Ortalama	0.21	0.22	0.20	0.22	-
Toprak			6.483***		
Yaprak			2.341 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			2.277 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Çizelge 4.14'teki verilere göre, topraktan artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin kalsiyum kapsamı bakımından etkisinde topraktan yapılan uygulamaların %0.1 (p<0.01) düzeyinde istatistiksel olarak önemli olarak belirlenmiştir. Yapraktan artan çinko uygulamalarının ve Toprak*Yaprak interaksiyonları ise istatistiksel olarak önemsiz olarak belirlenmiştir. Toprak uygulamalarında T3 uygulaması (%0.24) maksimum değerlerin elde edildiği uygulama olarak belirlenmiştir. Fu vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, pirinç bitkisine aşırı düzeyde uygulanan çinko (Zn) gübresinin, özellikle kök ve yaprak dokularında magnezyum (Mg) alımını azalttığı belirlenmiştir. Araştırma bulgularına göre, yüksek Zn düzeyleri Mg'ye özgü taşıyıcılarla rekabet ederek Mg emilimini sınırlamaktadır. Ancak bu durum, Mg'nin sürgün kısmına taşınmasını etkilememekte ve dolayısıyla bitki içerisindeki genel Mg dengesini doğrudan bozmamaktadır.

4.2.7. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının danenin mangan içeriğine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakdan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin mangan (Mn) içeriği üzerine etkileri ile bu etkilere ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15'ten elde edilen bulgular, Zn uygulamalarının kinoa danesinin mangan kapsamı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Toprakdan ve yaprakdan Zn uygulamalarıyla danenin mangan içeriklerinin 24.20-33.80 mg kg⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Jorfi vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, çinko sülfat uygulamalarının kinoa bitkisinin mangan içeriği üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı bildirilmiştir.

Çizelge 4.15. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarde çinko uygulamalarının danenin mangan kapsamları üzerine olan etkileri (mg kg⁻¹)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	26.67	27.27	24.20	29.13	26.82
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	27.93	33.80	26.33	27.40	28.87
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	25.07	26.40	27.73	26.60	26.45
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	26.80	27.87	31.33	30.33	29.08
Ortalama	26.62	28.83	27.40	28.37	-
Toprak			1.792 ^{öd}		
Yaprak			0.948 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.375 ^{öd}		

Değerler 3 tekrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.2.8. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının danenin bakır içeriğine etkileri

Farklı dozlarde topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa bitkisinin danesinin bakır içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarde çinko uygulamalarının danenin bakır kapsamları üzerine olan etkileri (mg kg⁻¹)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	11.53	11.87	12.27	12.47	12.03
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	13.07	13.00	11.87	12.73	12.67
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	12.27	11.93	12.07	12.67	12.23
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	12.13	12.73	13.60	12.87	12.83
Ortalama	12.25	12.38	12.45	12.68	-
Toprak			0.892 ^{öd}		
Yaprak			0.212 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.437 ^{öd}		

Değerler 3 tekrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.16’da verilere göre, topraktan ve yaprakten artan Zn uygulamalarının kinoa danesinin bakır (Cu) içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, çinko uygulamalarının kinoa danesinde bakır kapsamı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Toprakten ve yaprakten Zn uygulamalarıyla danede bakır içeriklerinin 11.53-13.60 mg kg⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, topraktan çinko sülfat uygulamalarının bakır içeriği üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Xue vd. (2014) tarafından yürütülen çalışmada, çinko, demir, mangan ve bakırın mısır bitkisindeki karşılıklı birikim düzeyleri analiz edilmiş ve çinko uygulamasının genel mineral alımını artırdığı belirlenmiştir.

4.3. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak özelliklerine etkileri

4.3.1. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak pH düzeylerine etkisi

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak pH düzeyleri üzerindeki etkileri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak pH’ı üzerinde istatistiksel olarak önemli etkilerin olmadığı ve toprak ile yaprak uygulamaları arasındaki etkileşimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Araştırma topraklarının pH değerleri 7.57 ile 7.77 arasında değişkenlik göstermiştir. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamaları ile deneme topraklarının pH değerlerinde değişim yapması beklenen bir durum olmadığı, uygulanan çinko sülfat ile toprakta kolloid yüzeylerde pH değişimini sağlayacak düzeyde anyon-katyon değişiminin gerçekleşmesi mümkün olamayacaktır.

Çizelge 4.17. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta pH düzeyleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	7.67	7.57	7.63	7.60	7.62
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	7.63	7.57	7.67	7.60	7.62
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	7.63	7.63	7.63	7.57	7.64
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	7.63	7.77	7.60	7.60	7.65
Ortalama	7.64	7.63	7.66	7.59	-
Toprak			0.177 ^{öd}		
Yaprak			0.483 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.575 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.2. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak EC düzeylerine olan etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten çinko uygulamalarının araştırma topraklarının elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine etkileri Çizelge 4.18’de verilmiştir. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak EC değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkilerin olmadığı ve toprak ile yaprak uygulamaları arasındaki etkileşimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

EC ortalamaları 0.60 ile 0.89 dS m⁻¹ arasında değişmiştir. T3 uygulaması tüm dönemler dikkate alındığında en yüksek ortalama EC değerine (0.77) sahip olmuştur. T0 uygulaması Y1 uygulama dozunda 0.89 dS m⁻¹ değeriyle en yüksek EC seviyelerinden birini göstermiştir. Genel ortalamalar dikkate alındığında, Y3 dönemi 0.72 dS m⁻¹ ile diğer dönemlere kıyasla daha düşük bir EC ortalamasına sahiptir.

Çizelge 4.18. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarde çinko uygulamalarının toprakta EC düzeyleri üzerine olan etkileri (dS m⁻¹)

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.69	0.89	0.83	0.60	0.75
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.78	0.78	0.64	0.70	0.73
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.77	0.77	0.68	0.78	0.75
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.86	0.65	0.76	0.80	0.77
Ortalama	0.77	0.77	0.73	0.72	-
Toprak			0.099 ^{öd}		
Yaprak			0.251 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.761 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.3. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprakta çinko içeriklerine etkileri

Farklı dozlarde toprakten ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların alınabilir çinko içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarde çinko uygulamalarının toprakta Zn (mg kg⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.80	0.83	0.83	0.90	0.84C
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.07	1.13	1.10	1.17	1.12B
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	1.13	1.27	1.50	1.50	1.35A
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	1.67	1.57	1.47	1.43	1.53A
Ortalama	1.17	1.20	1.23	1.25	
Toprak			39.356 ^{***}		
Yaprak			0.557 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.561 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Çizelge 4.19’daki verilere göre, toprakten çinko uygulaması deneme topraklarının alınabilir çinko değerleri üzerine istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde (p<0.001) önemli bulunmuştur. Toprakten çinko uygulamalarında en yüksek Zn değeri 1.67 mg kg⁻¹ ile T3Y0 uygulamasında, en düşük değer ise 0.80 mg kg⁻¹ ile T0Y0 uygulamasından elde edilmiştir. Yapraktan uygulama ve Toprak*Yaprak interaksyonunun etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yapraktan yapılan çinko uygulamalarının, topraktaki kullanılabilir çinko (DTPA-Zn) düzeyini önemli ölçüde artırmadığı; ancak toprak

uygulamalarıyla karşılaştırıldığında, özellikle çinko eksikliği görülen kireçli topraklarda daha sınırlı fakat olumlu etkiler gösterebildiği belirlenmiştir. Öte yandan, topraktan uygulanan çinko gübresi, DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn düzeylerini ortalama %174 oranında artırarak daha etkili bir sonuç vermiştir (Zhao vd. 2014).

4.3.4. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprakta toplam azot içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların toplam azot içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprak N değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkilerin olmadığı ve toprak ile yaprak uygulamaları arasındaki etkileşimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Toprak N değerleri %0.60 ile 0.77 arasında değişmiştir.

Çizelge 4.20. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta toplam N (%) düzeyleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.063	0.067	0.073	0.063	0.067
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.067	0.063	0.077	0.060	0.067
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	0.060	0.073	0.073	0.063	0.068
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	0.067	0.060	0.063	0.063	0.063
Ortalama	0.064	0.066	0.072	0.063	-
Toprak			0.492 ^{öd}		
Yaprak			2.292 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.781 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.5. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprakta alınabilir fosfor içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların alınabilir fosfor içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21’deki verilere göre, topraktan ve yaprakten çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların alınabilir P değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların alınabilir P değerleri 29.48 mg kg⁻¹ ile 29.93 mg kg⁻¹ aralığında değişim göstermiştir. Çalışma sonuçları, kontrol uygulamasına kıyasla çinko dozlarının toprak P içeriğinde yalnızca %0.4’lük bir artış sağladığını, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir. Alloway vd. (2008), çinko uygulamalarının verim ve besin içerikleri üzerindeki etkisinin, toprak özellikleri ve çevre koşullarına bağlı olarak değişebileceğini belirtmiştir.

Çizelge 4.21. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta alınabilir P (mg kg⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	29.48	29.54	29.53	29.82	29.59
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	29.60	29.74	29.59	29.66	29.65
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	29.63	29.50	29.93	29.58	29.66
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	29.66	29.65	29.80	29.80	29.72
Ortalama	29.59	29.61	29.71	29.72	
Toprak			0.454 ^{öd}		
Yaprak			0.688 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.698 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.6. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir potasyum içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda toprakdan ve yaprakdan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir potasyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta değişebilir K (mg kg⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha⁻¹ Zn)	630.3	637.1	632.0	627.9	631.8
T1 (4.5 kg ha⁻¹ Zn)	624.5	626.1	630.7	632.5	628.5
T2 (9.0 kg ha⁻¹ Zn)	638.9	638.0	583.7	626.9	621.9
T3 (13.5 kg ha⁻¹ Zn)	636.9	626.5	618.1	634.0	628.9
Ortalama	632.7	631.9	616.1	630.3	
Toprak			0.426 ^{öd}		
Yaprak			1.487 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.080 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.22’deki verilere göre, toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir K değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların değişebilir K değerleri 583.7 mg kg⁻¹ ile 638.0 mg kg⁻¹ aralığında değişim göstermiştir. Marschner (2012) çinkonun toprakta bazı makroelementlerin hareketliliğini ve bitki tarafından alınabilirliğini etkileyebileceğini ifade etmiştir. Alloway (2008), yaprakdan çinko uygulamalarının genellikle mikro besin dengesini doğrudan etkilediğini, makro elementler üzerinde daha sınırlı bir etki gösterdiğini ifade etmektedir.

4.3.7. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir kalsiyum içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakdan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir kalsiyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23'teki verilere göre, topraktan çinko uygulamalarında en yüksek Ca değeri 8388 mg kg⁻¹ ile T3 dozunda, en düşük değer ise 7823 mg kg⁻¹ ile T0 dozunda elde edilmiştir. Yaprak uygulamaları ve Toprak*Yaprak interaksyonu etkilerinde ise uygulamaların etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.23. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta değişebilir Ca (mg kg⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	7323	7880	8230	7860	7823B
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	8397	8033	8487	8440	8339AB
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	8123	8567	8710	8000	8350AB
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	8347	8557	8097	8550	8388A
Ortalama	8048	8259	8381	8213	-
Toprak			4.131*		
Yaprak			1.090 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.292 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

Büyük harfle gösterilen değerler artan toprak uygulamaları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Cakmak (2008b), çinkonun bitkilerde makro besin elementleri üzerindeki etkisinin dolaylı olarak gerçekleşebileceğini, özellikle kalsiyum gibi elementlerin taşınmasını destekleyebileceğini ifade etmiştir.

4.3.8. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının toprakta değişebilir magnezyum içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakdan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir magnezyum içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24'teki verilere göre, topraktan ve yaprakdan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir Mg değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların değişebilir K değerleri 936.7 mg kg⁻¹ ile 966.7 mg kg⁻¹ aralığında değişim göstermiştir. Guo vd. (2021), buğday fidelerinde yürüttükleri hidroponik çalışmada, düşük çinko (Zn) konsantrasyonlarının (< 1 µM) potasyum (K), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) alımını teşvik ettiğini, buna karşılık yüksek Zn seviyelerinde bu elementlerin alımının belirgin şekilde azaldığını göstermiştir. Bu bulgular, çinkonun magnezyum gibi makro besin elementlerinin biyoyararlanımını uygun

dozlarda destekleyebileceğini, ancak aşırı dozlarda inhibe edebileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.24. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Mg (mg kg^{-1}) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	943.3	963.3	936.7	940.0	945.8
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	950.0	960.0	953.3	940.0	950.8
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	966.7	943.3	963.3	943.3	954.2
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	936.7	943.3	966.7	966.7	953.3
Ortalama	949.2	952.5	955.0	947.5	
Toprak			0.206 ^{öd}		
Yaprak			0.165 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.697 ^{öd}		

Değerler 3 tekrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: $p < 0.05$; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.9. Toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının toprakta mangan içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda toprakten ve yaprakten uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların alınabilir mangan içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.25'te verilmiştir. Çizelge 4.25'teki verilere göre, toprakten ve yaprakten çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir Mn değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların değişebilir Mn değerleri 10.28 mg kg^{-1} ile 10.69 mg kg^{-1} aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.25. Toprakten ve yaprakten farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Mn (mg kg^{-1}) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	10.59	10.28	10.54	10.51	10.48
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	10.52	10.47	10.48	10.55	10.51
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	10.61	10.61	10.42	10.40	10.51
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	10.69	10.65	10.48	10.61	10.61
Ortalama	10.60	10.50	10.48	10.52	
Toprak			0.932 ^{öd}		
Yaprak			0.850 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			0.732 ^{öd}		

Değerler 3 tekrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: $p < 0.05$; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

4.3.10. Toprakdan ve yaprakdan çinko uygulamalarının toprakta bakır içeriklerine etkileri

Farklı dozlarda topraktan ve yaprakdan uygulanan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların alınabilir bakır içeriği üzerine olan etkileri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Çizelge 4.26'daki verilere göre, topraktan ve yaprakdan çinko uygulamalarının kinoa yetiştirilen toprakların değişebilir Cu değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların değişebilir Mn değerleri 3.51 mg kg⁻¹ ile 4.36 mg kg⁻¹ aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.26. Toprakdan ve yaprakdan farklı dozlarda çinko uygulamalarının toprakta Cu (mg kg⁻¹) içerikleri üzerine olan etkileri

Uygulamalar	Y0 (%0.0 Zn)	Y1 (%0.07 Zn)	Y2 (%0.14 Zn)	Y3 (%0.21 Zn)	Ortalama
T0 (0.0 kg ha ⁻¹ Zn)	3.74	3.60	3.51	3.73	3.64
T1 (4.5 kg ha ⁻¹ Zn)	3.70	4.28	3.55	3.59	3.78
T2 (9.0 kg ha ⁻¹ Zn)	3.52	3.59	4.36	3.68	3.79
T3 (13.5 kg ha ⁻¹ Zn)	3.67	3.91	3.66	3.69	3.73
Ortalama	3.66	3.85	3.77	3.67	
Toprak			0.251 ^{öd}		
Yaprak			0.438 ^{öd}		
Toprak*Yaprakİnt.			1.226 ^{öd}		

Değerler 3 tekerrür ortalamasıdır. F değerleri esas alınmıştır. *: p<0.05; öd: önemli değil.

Aynı harflerle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemlidir.

5. SONUÇLAR

Biyofortifikasyon, tarımsal ürünlerin besin değerlerini artırmada giderek önem kazanmaktadır. Agronomik biyofortifikasyonun farklı bitkilere kolay uygulanabilirliği, bu yöntemi öne çıkarmaktadır. Özellikle yoğun tüketilen ürünlerde besin zenginliği, sağlıklı beslenme ve hastalıklara direnç açısından kritik rol oynamaktadır. Topraklardaki besin alımını sınırlayan etmenler, beslenme yetersizliklerine yol açmakta ve bu sorun, özellikle ekonomik açıdan dezavantajlı toplumlarda daha da derinleşmektedir.

Sağlıklı bitki yetiştiriciliği, ışık, su, hava, zararlı kontrolü ve gübreleme gibi temel tarımsal uygulamalara bağlıdır. Ancak olumsuz toprak ve iklim koşulları, yeterli ve dengeli beslenmeyi her zaman mümkün kılmamaktadır. Bu tür sorunlar, biyofortifikasyon gibi tarımsal stratejilerle aşılabilmektedir. Özellikle mikrobeyin yetersizliklerinin sağlık üzerindeki etkileri nedeniyle son yıllarda çinko, selenyum, iyot ve bazı vitaminlerin ürünlerde artırılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu bağlamda çinko biyofortifikasyonu, küresel ölçekte yaygın çinko eksikliğine karşı etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Çinko biyofortifikasyonu, özellikle çinko eksikliğinin yaygın olduğu bölgelerde önemli bir halk sağlığı stratejisidir. Çinko eksikliği bağışıklık sistemi sorunları ve büyüme gerilikleri gibi ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır. Bu bağlamda çinko yönünden zenginleştirilmiş kinoa, özellikle glüten hassasiyeti olan bireyler için beslenme yetersizliklerinin giderilmesinde etkili olabilir. Biyofortifikasyonun hem gıda güvenliğine katkısı hem de çinko biyoyararlılığını artırarak genel beslenme kalitesini yükseltme potansiyeli dikkat çekicidir. Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm sunarken, çevresel açıdan da toprak sağlığı, su verimliliği ve biyoçeşitlilik açısından olumlu katkılar sağlamaktadır.

Bu araştırmada, kinoa bitkisinde topraktan dört farklı dozda (0, 4.5, 9.0, 13.5 kg ha⁻¹) ve yapraktan dört farklı dozda (%0, 0.07, 0.14, 0.21) çinko uygulamasının etkileri, açık tarla koşullarında tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları, farklı dozlardaki toprak ve yaprak uygulamalarının, kinoa danelerindeki çinko konsantrasyonunu anlamlı düzeyde artırdığını göstermiştir. En yüksek çinko birikimi, toprak uygulamalarında T3 dozunda 79.50 mg kg⁻¹, yaprak uygulamalarında Y3 dozunda 83.43 mg kg⁻¹ ve her iki uygulamanın birlikte yapıldığı T3Y3 dozunda 100.60 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, çinkonun biyoyararlılığının artırılmasında biyofortifikasyonun etkili bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır. Çinko uygulamalarıyla elde edilen bu seviyeler, insan beslenmesi açısından önem taşımakta ve Dünya Sağlık Örgütü gibi kurumların önerdiği günlük çinko ihtiyacını karşılamaya yönelik katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, biyofortifikasyon uygulamaları gıda güvenliğinin artırılmasında önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Topraktan ve yapraktan çinko uygulamaların danede protein içeriğine etkilerinde yapraktan uygulamalarda T2 (%0.21 Çinko) uygulama dozunda %18.92 ve birlikte uygulamalarla da T2Y3 (9.0 kg ha⁻¹ + %0.21 Çinko) uygulama dozunda %21.62 en yüksek danede protein içerikleri belirlenmiştir. Danede protein içeriğinin artışına yaprak uygulamasının daha etkili olduğu, ancak topraktan yapılan uygulamalarla birlikte yaprak uygulamasının daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kontrole göre topraktan

uygulamalarda en yüksek değer (T2) %17.8, birlikte uygulamada ise en yüksek değer (T2Y3) %26.3 oranında artış sağlamıştır ve bu durum çinkonun bitkide protein sentezini teşvik ettiğini göstermektedir. Protein içeriğindeki bu artış, çinko eksikliğinin yaygın olduğu bölgelerde besin değeri yüksek ürünler yetiştirilmesi açısından kritik bir avantaj sağlamaktadır. Çinkonun amino asit metabolizması üzerindeki pozitif etkileri, daha besleyici ve işlevsel gıdaların üretimine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca çinko ile birlikte azot uygulamalarının tanede protein kapsamı üzerine önemli etkilerde bulunması muhtemeldir.

Araştırmada topraktan ve yapraktan çinko uygulamalarının danede diğer besin elementleriyle olan etkileşimlerinde azot, kalsiyum ve magnezyum gibi bazı makro besin elementleri ile sinerjik bir etkileşim sergilemiştir. Topraktan (T) ve yapraktan (Y) farklı dozlarda çinko gübrelemesi ile kinoa danesinde azot içeriğinde yapraktan Y3 uygulamadozundan (%0.21 Çinko) ve T*Y interaksiyonunda T2Y3 uygulama dozundan (9.0 kg ha⁻¹ Çinko + %0.21 Çinko), danede kalsiyum içeriğinde topraktan T3 uygulama dozundan (13.5 kg ha⁻¹ Çinko), yapraktan Y3 uygulama dozundan (%0.21 Çinko) ve T*Y interaksiyonunda T3Y3 uygulama dozundan (13.5 kg ha⁻¹ Çinko +%0.21 Çinko) ve danede magnezyum içerikleri topraktan T3 uygulama dozundan (13.5 kg ha⁻¹ Çinko) elde edilmiştir. Bu bulgular, çinko biyofortifikasyonunun diğer mineral elementlerin alımı ve dağılımı üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve tarımsal yönetim stratejilerinin optimize edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yaprak uygulamalarının çinko alımını hızlandırdığı, toprak uygulamalarının ise uzun vadeli birikim sağladığı gözlemlenmiştir. İki uygulama yönteminin birlikte kullanılması, çinko biyoyararlılığını en üst düzeye çıkaran bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, çinko biyofortifikasyonunun kinoa bitkisinde verim, kalite ve besin değerleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve önemli bulgular ortaya koymuştur. Çinko uygulamalarının, özellikle insan sağlığı, sürdürülebilir tarım ve ekonomik verimlilik açısından kritik bir öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Kinoa bitkisinin çinko biyofortifikasyonu programlarında model bir ürün olarak kullanılması, beslenme yetersizlikleri ile mücadelede ve gıda güvenliğinin artırılmasında etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu bulgular, gelecekteki tarımsal yönetim stratejileri ve biyofortifikasyon uygulamaları için değerli bir rehber niteliği taşımaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Abdel, E. and Haggan, L.M. 2014. Effect of micronutrients foliar application on yield and quality traits of soybean cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7-11.
- Ahamed, N.T., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R., Pal, M. 1998. A lesser-known grain, Chenopodium quinoa: Review of the chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition Bulletin*, 19(1): 61–70. DOI: 10.1177/156482659801900110
- Ahmed, R., Uddin, M.K., Quddus, M.A., Samad, M.Y.A., Hossain, M.A.M., Haque, A.N.A. 2023. Impact of Foliar Application of Zinc and Zinc Oxide Nanoparticles on Growth, Yield, Nutrient Uptake and Quality of Tomato. *Horticulturae*, 9(2), 162. DOI: 10.3390/horticulturae9020162
- Aktaş, H. 2016. Çinko uygulamasının makarnalık buğdayın (*Triticum durum* desf.) verim ve bazı kalite özellikleri üzerindeki etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 193-201.
- Alloway, B.J. 2008. *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Springer Science Business Media. DOI: 10.1007/978-1-4020-6860-7
- Anonim. 1984. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Yayın No: 47, Rehber No:8. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Toprak Su Gn. Müd. Araş. Dairesi Başkanlığı, Ankara. URL: <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/Record/6014/Description>
- Aslı S., Abdurrahim T.G. 2022. Ayçiçeğinde farklı bitki sağlığı ve azot dozlarının verim, verim unsurları ve kalite üzerine etkileri. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/b7b5dab1-c38b-4f0b-afc2-9b11b206d0b2/content>. [Son erişim tarihi: 22.05.2025].
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., He, Z.L. 2001. Nutrient Use Efficiency In Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(78): 921–950.
- Başkan, N. 2023. *Kinoa Faydaları Nelerdir?* URL: <https://www.medicalpark.com.tr/kinoa-faydalari-nelerdir/hg-2858> [Son erişim tarihi: 22.05.2025].
- Bhardwaj, A.K., Chejara, S., Malik, K., Kumar, R., Kumar, A., Yadav, R.K. 2022. Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Front. Plant Sci.*, 13: 1055278. DOI: 10.3389/fpls.2022.1055278
- Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D. 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Field Crops Research*, 101: 104–116.
- Birol, E., Meenakshi, J.V., Oparinde, A., Perez, S., Tomlins, K. 2015. Developing country consumers' acceptance of biofortified foods: a synthesis. *Food Security*, 7(3): 555–568.

- Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis Part 2. Amer. Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., pp. 1372–1376. ISBN: 1114685763
- Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, H.W. 2011. Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, Sage Journals, 32(1 Suppl): S31–S40. DOI: 10.1177/15648265110321S105
- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434–438.
- Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146(2): 185–205.
- Cakmak, I. 2008a. Zinc deficiency in wheat in Turkey. In: Alloway, B.J. (Ed.), Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. Springer, Dordrecht, pp. 181–200. DOI: 10.1007/978-1-4020-6860-7_7
- Cakmak, I. 2008b. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1-2): 1–17. DOI: 10.1007/s11104-007-9466-3
- Cakmak, I. and Kutman, U.B. 2017. Agronomic Biofortification of Cereals with Zinc: A Review. *European Journal of Soil Science*, 69, 172-180. DOI: 10.1111/ejss.12437
- Cardozo, A. and Tapia, M. 1979. Valor nutritivo. In: Tapia M., Gandarillos H., Alandia S., Cardozo A., Mujica A. (Eds.) Quinoa y kaniwa, cultivos Andinos. Bogota CIID, Oficina Regional para la America Latina, pp. 149-192, ISBN: O-88936-200-9
- Comai, S., Bertazzo, A., Bailoni, L., Zancato, M., Costa, C.V.L., Allegri, G. 2007. The content of proteic and nonproteic (free and protein bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chemistry*, 100: 1350–1355.
- Consentino, B.B., Ciriello, M., Sabatino, L., Vultaggio, L., Baldassano, S., Vasto, S., Rouphael, Y., La Bella, S., De Pascale, S. 2023. Current Acquaintance on Agronomic Biofortification to Modulate the Yield and Functional Value of Vegetable Crops: A Review. *Horticulturae* 9(2), 219. DOI: 10.3390/horticulturae9020219
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Sayı:10. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Ankara.
- De Bruin, A. 1964. Investigation of the food value of quinoa and canihua seed. *J. Food Sci.*, 29: 872–876.
- De Moura, F.F., Miloff, A., Boy, E. 2015. Retention of provitamin a carotenoids in staple crops targeted for biofortification in Africa: cassava, maize and sweet potato. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(9): 1246–69.

- Demir, M.K. ve Kılınç, M. 2016. Kinoa: Besinsel ve antibesinsel özellikleri. *Journal of Food and Health Science*, 2(3): 104–111.
- Dhaliwal, S.S., Sharma, V., Shukla, A.K., Verma, V., Kaur, M., Shivay, Y.S., Nisar, S., Gaber, A., Skalicky, M., Ondrisik, P., Hossain, A. 2022. Biofortification—A Frontier Novel Approach to Enrich Micronutrients in Field Crops to Encounter the Nutritional Security. *Molecules*, 27, 1340.
- Dipti, R., Chaudhary, C., Khatak, A., Banyal, S. 2024. A Sustainable Approach to Combat Micronutrient Deficiencies and Ensure Global Food Security through Biofortification. *European Journal of Nutrition Food Safety*, 16(4): 15–30.
- Evliya, H. 1964. K lt r bitkilerinin beslenmesi. Ankara.  niv. Ziraat Fak. Yayınları, Yayın no:36, 292- 294, Ankara.
- Ey poğlu, F. 1999. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. TC Başbakanlık K y Hizmetleri Genel M d rl ğ .
- FAO. 1982. *Soils Bulletin*, No:48. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 445 p., <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e5c7124b-cdc4-4bc1-b910-b14f5e6965e4/content>
- FAO. 2011. Quinoa: An Ancient Crop to Contribute to World Food Security. FAO Regional Office For Latin America and the Caribbean, http://www.fao.org/alclfile/media/pubs/2011/cultivo_quinoa_en.pdf (May 04, 2017).
- Finkelstein, J.L., Mehta, S., Udipi, S.A., Ghugre, P.S., Luna, S.V., Venger, M.J., Murray-Kolb, L., Przybyszewski, E.M., Haa, J.D. 2015. A Randomized Trial of Iron-Biofortified Pearl Millet in School Children in India. *Journal of Nutrition*, 145(7): 1576–81.
- Fodor, F. 2024. Iron Nutrition and Its Biochemical Interactions in Plants: Iron Uptake, Biofortification, Bacteria, and Fungi in Focus. *Plants*, 13: 561. DOI: 10.3390/plants13050561
- Fu Y., Gao T., Wu Q., Qi M., Wang Z., Liu C. 2024. Mechanism of zinc stress on magnesium deficiency in rice plants (*Oryza sativa* L.): Insights from magnesium isotopes. *Sci Total Environ*. 2024 May 1;923:171463. Epub 2024 Mar 4. PMID: 38447719, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171463
- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P, Kumar, A., Chunduri, V., Arora, P. 2018. Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and Transgenic Approaches Are Improving Lives of Millions of People around the World. *Frontiers in Nutrition*. Sec. Plant Nutrition, Volume 5 - 2018 5: 12. DOI: 10.3389/fnut.2018.00012
- Ghasemian, V., Ghalavand, A., Zadeh, A. S., Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology*, 2(11),

73-79.

- Górniak, W., Cholewińska, P. vd. 2018. Feed Additives Produced on the Basis of Organic Forms of Micronutrients as a Means of Biofortification of Food of Animal Origin. *J. Chem.*, 2018: 8084127.
- Gözel, H. 2016. *Akvaryum Bitkilerinin Gelişimini Önleyen Faktörler*. URL: <https://www.akvaryumda.com/akvaryum-bitkilerinin-gelisimini-onleyen-faktorler/> [Son erişim tarihi: 22.05.2025].
- Global Nutrition Report 2017. <https://www.unicef.org/rosa/media/1611/file/Child%20stunting%2C%20hidden%20hunger%20and%20human%20capital%20in%20South%20Asia.pdf>
- Global Nutrition Report 2020: Food systems and nutrition equity. https://globalnutritionreport.org/documents/566/2020_Global_Nutrition_Report_2hrssKo.pdf
- Guo, X., Ma, X., Zhang, J. *et al.* 2021. Meta-analysis of the role of zinc in coordinating absorption of mineral elements in wheat seedlings. *Plant Methods*, 17, 105. DOI: 10.1186/s13007-021-00805-7
- Haas, J.D., Beard, J.L., Murray-Kolb, L.E., del Mundo, A.M., Felix, A., Gregorio, G.B. 2005. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. *Journal of Nutrition*, 135: 2823–30. DOI: 10.1093/jn/135.12.2823
- Haas, J.D., Luna, S.V., Lung'aho, M.G., Wenger, M.J., Murray-Kolb, L.E., Beebe, S., Gahutu, J.B., Egli, I.M. 2016. Consuming Iron Biofortified Beans Increases Iron Status in Rwandan Women after 128 Days in a Randomized Controlled Feeding Trial. *Journal of Nutrition*, 146(8): 1586–92. DOI: 10.3945/jn.115.224741
- Han, Ş., Sönmez, İ., Qureshi, M., Güden, B., Gangurde, S.S. and Yol, E. 2024. The effects of foliar amino acid and Zn applications on agronomic traits and Zn biofortification in soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15:1-12. DOI: 10.3389/fpls.2024.1382397
- Hussain S., Khalili A., Qayyum A., Khan S.U., Mehmood A., Ahmad G., Ghazy A.H., Al-Doss A.A., Attia K.A., Zeng Y. 2025. Optimizing sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids growth, achene and oil yield through soil applied sulphur and zinc. *Sci Rep.* 2025 Apr 22;15(1):13829. PMID: 40263464, PMCID: PMC12015253, DOI: 10.1038/s41598-025-96800-2
- Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 498p.
- Jacobsen, S.E. 1993. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) – A Novel Crop for European Agriculture. Ph D Thesis, Department of Agricultural Science, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, 145 p.
- Jacobsen, S.E., 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

- Food Rev. Int.*, 19(1–2): 167–177. DOI: 10.1081/FRI-120018883
- Jacobsen, S.E., Jørnsgård, B., Christiansen, J. L., Stølen, O. 1999. Effect of harvest time, drying technique, temperature and light on the germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Seed Science and Technology*, 27(3): 937–944.
- Jones, J.B. Jr., Wolf, B., Milis, H.A. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Athens.
- Jorfi, A., Alavifazel, M., Gilani, A. *et al.* 2023. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Root System Development as Affected By Phosphorus and Zinc Sulfate Application in an Alkaline Soil. *Gesunde Pflanzen*, 75, 885–897. DOI: 10.1007/s10343-022-00740-0
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Kacar, B. ve Katkat, V. 2007. Bitki Besleme. Bitkilerde Kalsiyumun Metabolik İşlevleri. Nobel Yayınları, ss. 359–364.
- Kacar, B., Katkat, V. 2018. Bitkilerde Çinkonun Metabolik İşlevleri. Bitki Besleme: Nobel Akademik Yayıncılık, Vol. 7, 486–488, Ankara.
- Kahyaoğlu, F. ve Demirci, B.D. 2019. Zenginleştirilmiş ve Güçlendirilmiş Gıdaların Sağlık Üzerine Önemi ve Çeşitli Ülkelerde Uygulanması. *Bozok Tıp Dergisi*, 9(2): 164–169. DOI: 10.16919/bozoktip.451123
- Kara, H. ve Yılmaz, F. 2019. Çinko uygulamalarının tahıl bitkilerinde morfolojik özellikler üzerindeki etkileri. *Türk Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(1): 78–85.
- Kaya, Ç.İ. 2010. Akdeniz bölgesinde damla sistemiyle tatlı ve tuzlu su kullanılarak uygulanan farklı sulama stratejilerinin quinoa bitkisinin verimiyle toprakta tuz birikimine etkileri ve saltmed modelinin test edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 122 s.
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). CRC Press. DOI: 10.1201/b10158
- Kalpana S.M., Yogesh K., Bhonde S., Shravni M., Roma P. 2025. Effect of different zinc formulations on vegetative growth of Maize (*Zea mays* L.) *International Journal of Current Sciene (IJCSPUB)*, 15(1), ISSN: 2250-1770
- Keskin, Ş. ve Kaplan Evlice, A. 2015. Fırın ürünlerinde kinoa kullanımı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(2): 150–156. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarbitderg/issue/11533/137359>
- Keerio, R.A., N.S. Soomro, A.A. Soomro, M.A. Siddiqui, M.T. Khan, G.S. Nizamani, M.N. Kandhro, M. Siddiqui, H. Khan and F.D. Soomro. 2020. Effect of foliar spray of zinc on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan*

Journal of Agricultural Research, 33(2): 264-269.

- Klikocka, H. and Marks, M. 2018. Sulphur and Nitrogen Fertilization as a Potential Means of Agronomic Biofortification to Improve the Content and Uptake of Microelements in Spring Wheat Grain DM. *Journal of Chemistry*, 2018: Article ID 9326820. 12 p.
- Kocakaya, Z. and Erdal, İ. 2005. Çinko Uygulamasının Van Yöresinde Yetiştirilen Buğday Çeşit ve Hatlarının Çinko Beslenmesi ve Verim Üzerine Etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(04), 379-383.
- Kuhn, M., Wagner, S., Aufhammer, W., Lee, J.H., Kübler, E. and Schreiber, H. 1996. Einfluß von pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Mineralstoffgehalte von Amaranth, Buchweizen, Reismelde und Hafer. *Dt Lebensm Rundschau*, 92: 147–152.
- Küçükyumuk Z. ve Erdal İ. 2014. Negative effect of foliar zinc sulphate application on Granny Smith apple variety. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 24(2), 140-147.
- Khrbeet, H.K. 2018. Influence of Foliar Application of Zinc on Seed Yield and Its Components in Some Alfalfa Varieties. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 49(3), 345-352. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/influence-foliar-application-zinc-on-seed-yield/docview/2099416135/se-2>
- La Frano, M.R., de Moura, F.F., Boy, E., Lönnardal, B., Burri, B.J. 2014. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutr Rev*, 72(5): 289–307. DOI: 10.1111/nure.12108
- Lata-Tenesaca, L.F., Prado, R.M., Piccolo, M.C., Silva, D.L., Silva, J.L.F., Ajila-Celi, G.E. 2022. Forms of application of silicon in quinoa and benefits involved in the association between productivity with grain biofortification. *Scientific Reports*, 12, Article number: 12732. DOI: 10.1038/s41598-022-17181-4
- Lee, C. and Kim, H. 2016. The effects of zinc sulfate on nitrogen uptake in maize. *Journal of Crop Physiology*, 25(3): 210–225.
- Loneragan, J.F. and Webb, M.J. 1993. Interactions Between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants. In: Robson, A.D. (Eds.) *Zinc in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 55. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-011-0878-2_9
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421–428. DOI: 10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
- Liu D.Y., Zhang W., Liu Y.M., Chen X.P., Zou C.Q. 2020. Soil Application of Zinc Fertilizer Increases Maize Yield by Enhancing the Kernel Number and Kernel Weight of Inferior Grains. *Front. Plant Sci.* 11:188. DOI:

10.3389/fpls.2020.00188

- Li, M., Yang, X.W., Tian, X.H. et al. 2014. Effect of Nitrogen Fertilizer and Foliar Zinc Application at Different Growth Stages on Zinc Translocation and Utilization Efficiency in Winter Wheat. *Cereal Research Communications*, 42, 81–90. DOI: 10.1556/CRC.2013.0042
- Loue, A. 1968. Diagnostic petiolaire de prospection etudes sur la nutrition et al. fertilisation potassiques de la vigne. *Societe Commerciale des Potasses d'Alsace Services Agronomiques*, pp. 31–41.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 674 p. ISBN: 012473541X
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. ed. Academic Press, London. ISBN: 978-0-12-384905-2. DOI: 10.1016/C2009-0-63043-9
- McDowell, L.R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition. Academic Press, New York, 524 p. ISBN: 0124833691
- Miller, D. and Carter, S. 2018. Foliar versus soil application of zinc: Impacts on maize yield components. *Journal of Crop Improvement*, 32(1): 45–56.
- Nas, Y. and Duman, İ. 2024. The effect of zinc fertilization on yield and quality of commercial processing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 61(3), 285-296. DOI: 10.20289/zfdergi.1460963
- Nestel, P., Bouis, H.E., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, W. 2006. Biofortification of staple food crops. *The Journal of Nutrition*, 136(4): 1064–1067. DOI: 10.1093/jn/136.4.1064
- Necat T., Vahdettin C., Yesim T. 2004. The Effects of Zinc Fertilization on Yield and Some Yield Components of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 3: 701-704.
- Ohanenye, I.C., Emenike, C.U., Mensi, A., Medina-Godoy, S., Jin, J., Ahmed, T., Suni X., Udenigwe, C.C. 2021. Food fortification technologies: Influence on iron, zinc and vitamin A bioavailability and potential implications on micronutrient deficiency in sub-Saharan Africa. *Scientific African*, 11: e00667.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonate, Methods of Soil Analysis. In: Page, A.L., Miller, P.H. et al. (Ed.), Part 2, Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison. pp. 404–430.
- Orman, Ş. ve Ok, H. 2016. Kültür Bitkileri Yetiştiriciliğinde Biyofortifikasyon. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3): 221–227.
- Örnek, Z. 2019. Okul Çağındaki Çocuklarda Demir, Çinko ve A Vitamini Eksikliği Prevalansının Değerlendirilmesi. *Türkiye Çocuk Hast Derg.*, 13(3): 154–159.

URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tchd/issue/45426/546661>

- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H. 1999. Toprak Bilimi. 73:A-16. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayınları, Adana, ss. 77–113.
- Öztürk, M. 2009. Bazı kışlık yem bitkilerinde çinko gübrelemesi verim ve kalite üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Aydın.
- Qamari P., Shekari F., Afsahi K., et al. 2023. Response of wheat cultivars to zinc application for seed yield and quality improvement. *The Journal of Agricultural Science*, 161(4):549-562. DOI:10.1017/S0021859623000473
- Panda, R., Sahu, S.K. and Panda, R. 1999. Effects of zinc on the biochemical and production parameters of rice plant (*Oryza sativa* L.). *Cytobiology*, 98, 388, 105-112.
- Park, H. and Kim, J. 2019. The impact of zinc applications on maize nutrition and growth. *Journal of Agronomic Sciences*, 27(2): 85–98.
- Pizer, N.H. 1967. Some advisory aspect soil potassium and magnesium. *Tech. Bull.*, No: 14-184.
- Prasad, R. and Shiway, Y.S. 2020. Agronomic biofortification of plant foods with minerals, vitamins and metabolites with chemical fertilizers and liming. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10): 1534–1554.
- Prego, I., Maldonado, S., Otegui, M. 1998. Seed Structure and Localization of Reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4): 481–488. DOI: 10.1006/anbo.1998.0704
- Prentice, A.M., Gershwin, M.E., Schaible, U.E., Keusch, G.T., Victora, C.G., Gordon, J.I. 2008. New challenges in studying nutrition-disease interactions in the developing world. *J. Clin. Invest.*, 118(4): 1322–1329. DOI: 10.1172/JCI34034
- Rehman A., Farooq M, 2016. Zinc seed coating improves the growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiol. Plant.*, 38: 10.
- Reichert, R.D., Tatarynovichm, J.T., Tyler, T. 1986. Abrasive dehulling of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Effect on saponin content as determined by an adapted hemolytic assay. *Cereal Chemistry*, 63(6): 471–475.
- Recena, R., García-López, A.M., Delgado, A. 2021. Zinc Uptake by Plants as Affected by Fertilization with Zn Sulfate, Phosphorus Availability, and Soil Properties. *Agronomy*, 11(2), 390. DOI: 10.3390/agronomy11020390
- Risi, J. and Galwey, N.W. 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *The Journal of Agricultural Science*, 117(3): 325–332.

- Rodriguez, A. and Lopez, E. 2019. Zinc application and nitrogen metabolism in tomato plants. *Horticultural Science*, 28(1): 55–70.
- Ruales, J. and Nair, B.M. 1992. Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, Netherlands, 42: 1–11. DOI: 10.1007/BF02196067
- Ruel, M.T. and Alderman, H. 2013. Nutrition-sensitive interventions and programmes: How can they help to accelerate progress in improving maternal and child nutrition? *The Lancet*, 382(9891): 536–551. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60843-0
- Ruel-Bergeron, J.C., Stevens, G.A., Sugimoto, J.D., Roos, F.F., Ezzati, M., Black, R.E., Kraemer, K. 2015. Global Update and Trends of Hidden Hunger, 1995-2011: The Hidden Hunger Index. *PLOS One*, 10(12): e0143497. DOI: 10.1371/journal.pone.0143497
- Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H.E., Boy, E., De Moura, F.F., Islam, Y., Pfeiffer, W.H. 2013. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Glob Food Security*, 2(1): 9–17. DOI: 10.1016/j.gfs.2012.12.003
- Sattar, A., Wang, X., Ul-Allah, S., Sher, A., Ijaz, M., Irfan, M., Abbas, T., Hussain, S., Nawaz, F., Al-Hashimi, A., Al Munqedhi, B.M., Skalicky, M. 2021. Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3): 1699–1706. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.10.061
- Shaw, D.J. 2007. World Food Conference 1974. In: *World Food Security: A History since 1945*. Palgrave Macmillan UK, London, pp. 121-149. ISBN: 978-0-230-58978-0
- Sillanpää, M. 1990. Micronutrient Assessment at the Country Level: An International Study. *FAO Soils Bulletin*, No:63. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 208 p. ISBN: 9251029555
- Sillanpää, M. and Vlek, P.L.G. 1985. Micronutrients and Agroecology of Tropical and Mediterranean Regions. *Fert. Res.*, 7: 151–167.
- Smith, J. and Brown, K. 2017. Foliar application of zinc in crops: Effects on nitrogen metabolism. *Journal of Agricultural Research*, 18(2): 101–115.
- Smith, J. and Johnson, L. 2017. Combined soil and foliar zinc applications and their effect on crop morphology. *Agricultural Research*, 65(2): 101–110.
- Statista, RD. 2025. *Global Food Consumption from 2015 to 2027, by Food Product Group*. Published by Statista Research Department. Statista. URL: <https://www.statista.com/forecasts/1298375/volume-food-consumption-worldwide> [Son erişim tarihi: 22.05.2025].

- Hans de S., Joshua W., Dieter B., Dominique van der S., Xavier G. 2017. Special Issue: Staple Crops Biofortified with Vitamins and Minerals: Considerations for a Public Health Strategy. 1390(1), pp. 14-33. DOI: 10.1111/nyas.13199
- Storksdieck, S. and Hurrell, R.F. 2009. The Impacts of Trace Elements from Plants on Human Nutrition: A Case for Biofortification in Biofortified Agricultural Products. In: Buñuelos, G.S. and Lin, Z.Q. (Eds.), Biofortified Agricultural Products. CRC Press.
- Suresh, K., Santosh, K., Mohapatra, T. 2021. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Front. Plant Sci.*, 12: 665583. DOI: 10.3389/fpls.2021.665583
- Tan, M. ve Yöndem, Z. 2013. İnsan ve hayvan beslenmesinde yeni bir bitki: kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Alınır Dergisi*, 25(B): 62–66.
- Tara, S.C., Ambawat, S., Khandelwal, V., Srivastava, R.K. 2021. Pearl Millet: A Climate-Resilient Nutricereal for Mitigating Hidden Hunger and Provide Nutritional Security. *Front. Plant Sci.*, 12: 659938. DOI: 10.3389/fpls.2021.659938
- Thun, R., Hermann, R. and Knickman, E. 1955. Die untersuchung von boden neuman verlag, Radelbeul und Berlin, s: 48-48.
- Tuiwong, P., Cho, H.-K., Rouached, H., Prom-U-Thai, C. 2024. Synergistic effects of nitrogen and zinc foliar application on yield and nutrient accumulation in rice at various growth stages. *Plants*, 13(23): 3274. DOI: 10.3390/plants13233274
- Türkoğlu, A., Haliloğlu, K., Ekinci, M., Turan, M., Yildirim, E., Öztürk, H.İ., Stansluos, A.A.L., Nadaroğlu, H., Piekutowska, M., Niedbała, G. 2024. Zinc Oxide Nanoparticles: An Influential Element in Alleviating Salt Stress in Quinoa (*Chenopodium quinoa* L. Cv Atlas). *Agronomy*, 14(7): 1462. DOI: 10.3390/agronomy14071462
- UN DPI. 2013. General Assembly Launches International Year of Quinoa, with Secretary-General Saying Extraordinary Grain Could Have Significant Impact on Anti-hunger Fight. GA/11341, Sixty-seventh General Assembly, Plenary, 64th Meeting, Department of Public Information, New York. URL: <https://press.un.org/en/2013/ga11341.doc.htm> [Son erişim tarihi: 22.05.2025].
- Üke, Ö. 2016. Kinoa ve Teff Bitkilerinin Hasat Zamanının Ot Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes.
- Ward, S.M. 2000. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Field Crop. Res.*, 68: 157–163.
- Wahane, M., Bedse, T., Jondhale, D., Khobragade, N., Dodake, S. 2022. Effect of zinc application on yield, nutrients uptake and biochemical properties of rice under Inceptisols. *Oryza-An International Journal on Rice*. 59. 435-442. DOI: 10.35709/ory.2022.59.4.6

- White, P.J. and Broadley, M.R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets — iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1): 49–84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x
- WHO. 2012. The World Health Report. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- WHS. 2022. World health statistics: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. World Health Organization. Geneva, Switzerland, 125 p. ISBN: 9789240051157, URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051157>
- Wood, S.G., Lawson, L.D., Fairbanks, D.J., Robison, L.R., Andersen, W.R. 1993. Seed lipid content and fatty acid composition of three quinoa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6(1): 41–44.
- World Food Prize (2000 award) page: [World Food Prize – 2000: Vasal & Villegas] [https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=World+Food+Prize+\(2000+award\)+page%3A+%5BWorld+Food+Prize+%E2%80%93+2000%3A+Vasal+%26+Villegas%5D&ie=UTF-8&oe=UTF-8](https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=World+Food+Prize+(2000+award)+page%3A+%5BWorld+Food+Prize+%E2%80%93+2000%3A+Vasal+%26+Villegas%5D&ie=UTF-8&oe=UTF-8)
- Xin J., Ren N., Hu X., Yang J. 2024. Variations in grain yield and nutrient status of different maize cultivars by application of zinc sulfate. *PLoS One*. 19(3):e0295391. PMID: 38457380, PMCID: PMC10923429, DOI: 10.1371/journal.pone.0295391
- Xue Y., Yue S., Zhang W., Liu D., Cui Z., Chen X., Ye Y., Zou C. 2014 . Zinc, iron, manganese and copper uptake requirement in response to nitrogen supply and the increased grain yield of summer maize. *PLoS One*, 9(4):e93895. PMID: 24705926, PMCID: PMC3976344, DOI: 10.1371/journal.pone.0093895
- Zahmatkesh, Y., Alireza, S., Pessarakli, M. 2024. Physiological, biochemical, and functional changes in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under potassium and zinc applications in drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 47(19): 3622–3645. ISSN: 0190-4167. DOI: 10.1080/01904167.2024.2380783
- Zhang, W., Zhang, W., Wang, X., Liu, D., Zou C., Chen X. 2021. Quantitative evaluation of the grain zinc in cereal crops caused by phosphorus fertilization: A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.*, 41(6), 12 p. DOI: 10.1007/s13593-020-00661-0
- Zhang, X. and Wang, L. 2021. Influence of zinc sulfate on phosphorus dynamics in rice fields. *Journal of Agricultural Chemistry*, 45(3): 220–235.
- Zhao A.Q., Tian X.H., Cao Y.X., Lu X.C., Liu T. 2016. Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc-deficient calcareous soils. *J Sci Food Agric*, 94(10):2016-22. PMID: 24307341, DOI: 10.1002/jsfa.6518

ÖZGEÇMİŞ

Ali GULİYEV

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022 – 2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye
Lisans 2016 – 2020	Naxçıvan Dövlət Universiteti Təbiətşünaslıq və Kend Təsərrüfatı, Torpaqşünaslıq və Aqrokimya, Naxçıvan, Azərbaycan

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Ziraat Mühendisi 2021 – 2022	Naxçıvan Özerk Cumhuriyyəti Tarım Bakanlığı Naxçıvan, Azərbaycan
Araştırmacı (Bölüm Başkanı Yetki. Yürüten) 2023 – 2024	Akademisyen Hasan Aliyev adına Naxçıvan Bilimsel – Tarımsal Araştırma Enstitüsü Naxçıvan, Azərbaycan
Üretim Tesis Başkanı 2024 – 2025	El Holding, Hayvansal yem ve glütensiz gıda üretimi Bakü, Azərbaycan
Teknoloji Direktörü 2024 – Devam Ediyor	AgroChat – Startup School 2 (Enterprise Azerbaijan) Birincisi Girişim Bakü, Azərbaycan
In Vitro Mühendisi 2025 – Devam Ediyor	Goldfresh food (GFF) biyoteknoloji laboratuvarı Namangan, Özbekistan

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Guliyev, A. 2023. Macro Element Requirement and Fertilizer Recommendation on Soil Analysis Results For Wheat and Sunflower as Basis of Our Food. *Nature and Science*, ISSN: 2707-1146, Baku, Azerbaijan, 5(7): 44-60. DOI: 10.36719/2707-1146/34/44-60

Guliyev, A. 2023. Invisible Hunger. *Scientific Research*, ISSN: 2789-6919, Baku, Azerbaijan, 17(11): 17-23. DOI: 10.36719/2789-6919/27/17-23

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Guliyev, S. and Guliyev, A. 2024. Oil and Soil in AI. ISPEC 14. International Conference on Agriculture, Animal Science & Rural Development, Ege University, Izmir, Türkiye. ISBN:978-625-7720-99-1. DOI:10.5281/zenodo.10891840

Guliyev, S. and Guliyev, A. 2024. CV Detection of 7 Elements' Deficiency in Tomato by Leaf. International Congress on Sustainable Agriculture, Iğdir University, Iğdir, Türkiye, Volume: I. ISBN: 978-625-367-661-2, 978-625-367-660-5

Guliyev, A. 2024. Sustainability of the Food Chain through Enhanced Plant Nutrition and Biofortification. Distinguished Speaker at AgroChat B2B Meeting with Parties within Green Zone, Conference of Parties 29 – United Nations Framework Convention on Climate Change. Baku, Azerbaijan, 21 November.