ARTAN DOZLARDA UYGULANAN DEMİRİN SU KÜLTÜRÜNDE YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE KİMİ BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİNE ETKİSİ

Ayşegül HOŞGÖREN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTAN DOZLARDA UYGULANAN DEMİRİN SU KÜLTÜRÜNDE YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE KİMİ BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİNE ETKİSİ

Ayşegül HOŞGÖREN
0009-0002-7508-0562

Prof. Dr. Hakan ÇELİK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

BURSA– 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARTAN DOZLARDA UYGULANAN DEMİRİN SU KÜLTÜRÜNDE YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE KİMİ BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİNE ETKİSİ

Ayşegül HOŞGÖREN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan ÇELİK

Bu çalışmada, sera şartlarında hidroponik sisteme artan demir (40-80-120-160-200 µM) dozları uygulanmıştır. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.*)* bitkisinin gelişimi ve kimi besin elementi içeriğine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre artan dozlarda Fe uygulaması; fasulye bitkisi yapraklarının kuru madde, Fe ve Zn konsantrasyonlarında artış sağlayarak olumlu yönde etki ederken, N, P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Mn ve B konsantrasyonlarında azalma göstermiş ve olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir. Artan dozlarda Fe uygulamasının fasulye bitkisi köklerinin başta Fe olmak üzere P, K, Na, Mg ve Mn konsantrasyonlarında artış göstererek olumlu etkide bulunduğu ancak kökün N, Ca, Cu, Zn ve B konsantrasyonunda azalma göstererek olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. En yüksek ortalama kuru madde miktarı (62,67 g) Fe5 dozundan, en düşük ortalama kuru madde miktarı (36,27 g) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır. Demir ve kimi makro ve mikro elementler arasındaki antagonistik ilişkinin köklerde Fe birikimine neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucuna göre en yüksek Fe5 (200 µM) dozuna kadar bitki gelişimi ve kuru madde miktarında artış söz konusu olmasına rağmen diğer besin elementlerinin alımında azalma görülmesi nedeniyle demir uygulamasında bir limit doz bulunması gerekmektedir. Demir alımında artış Fe4 (160 µM) dozuna kadar sağlanmış olsa da diğer besin elementleri arasındaki etkileşim düşünüldüğünde Fe3 (120 µM) dozunun fasulye bitkisi için ideal demir dozu olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su kültürü, demir noksanlığı, bitki besin elementleri, interaksiyon

2025, vi+66 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF INCREASING DOSES OF IRON ON THE DEVELOPMENT AND SOME NUTRIENT CONTENT OF BEAN PLANT GROWN IN HYDROPONIC SYSTEM

Ayşegül HOŞGÖREN

Bursa Uludağ University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Hakan ÇELİK

In this study, increasing doses of iron (40-80-120-160-200 µM) were applied to the hydroponic system under greenhouse conditions. It was aimed to determine the development of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plant and its effect on some nutrient element content. According to the analysis results, increasing doses of Fe application positively affected the dry matter, Fe and Zn concentrations of bean plant leaves, while it decreased the N, P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Mn and B concentrations and had a negative effect. It was observed that increasing doses of Fe application had a positive effect by increasing the concentrations of Fe, P, K, Na, Mg and Mn in the roots of the bean plant, but it had a negative effect by decreasing the concentrations of N, Ca, Cu, Zn and B in the root. The highest average dry matter amount (62.67 g) was obtained from the Fe5 dose, and the lowest average dry matter amount (36.27 g) was obtained from the Fe1 dose. It has been determined that the antagonistic relationship between iron and some macro and micro elements causes Fe accumulation in the roots. According to the results of the study, although there is an increase in plant growth and dry matter amount up to the highest Fe5 (200 µM) dose, there is a decrease in the intake of other nutrients, so a limit dose should be found in iron application. Although an increase in iron uptake was achieved up to the dose of Fe4 (160 µM), considering the interaction between other nutritional elements, it was concluded that the dose of Fe3 (120 µM) may be the ideal iron dose for bean plants.

Key words: Hydroponic, iron, plant nutrient elements, interaction

2025, vi+66 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Dünya nüfusunun hızlı artışıyla beraber besin maddelerinin bir hayli fazla miktarda tüketiliyor olması, bunun aksine üretim hızının az ve kalitesiz olması bitkilerin olduğu kadar insanların da sağlıklı ve yeter düzeyde beslenmesiyle alakalı sorunlarını gündeme getirecektir. Yetersiz beslenmeye bağlı olarak ve özellikle demir ve diğer vitamin eksiklikleri nedeniyle yaklaşık 2 milyar insanda sağlık problemi olduğu vurgulanmaktadır.

En etkili ve hızlı çözümün birim alandan elde edilecek bitkisel üretimin ve kalitenin fazlalaştırılması olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada; tüketimi oldukça fazla ve yaygın olan fasulye bitkisinin yetiştirildiği hidroponik ortama artan miktarlarda uygulanan demirin fasulye bitkisinin gelişimi ve kimi besin elementi içeriklerine ve kaldırılan miktarlarına etkisi araştırılmıştır.

Başta “Benim manevi mirasım ilim ve akıldır.” sözüyle aklı ve bilimi çağdaş Türk gençliğine miras bırakan, ışığıyla bizi aydınlığa yürüten başöğretmen Mustafa Kemal Atatürk’e, yüksek lisans eğitimimde araştırma konusunun seçiminden tezin tamamlanmasına kadar geçen tüm aşamalarda bana özveri ve sabırla destek olan, kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan ÇELİK’e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışma aşamalarında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans arkadaşlarım; Eda PRAVADALIOĞLU, Ayşe Nur OKULU ve Ezgi AKTAŞ’a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda ve hayatımda her zaman bana yardımcı olarak desteklerini benden esirgemeyen vefalı arkadaşlarım; Yaren KAYABAŞI, Sena UÇAR, Sena ÇIRAK, Seda COŞKUN, Osman ANGUN’a ve ışığıyla bana çok değerli katkılarda bulunan Ceyda SÖZER BİRGEALP’e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi her zaman yanımda olan değerli kuzenlerim Tuğba Feyzan ŞİMŞEK, Gamze Nur ŞAHİN, Derman Miraç ŞİMŞEK’e ve biricik teyzem Yasemin ŞİMŞEK’e çok teşekkür ederim.

Hayatımda umutsuzluğa kapıldığım her an yanımda olan, desteğini, sevgisini ve bana olan güvenini her zaman sonuna kadar hissettiğim çok değerli Fatih AYYILDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm hayatım boyunca sevgi ve özveriyle hep yanımda olan, maddi ve manevi her koşulda desteklerini benden esirgemeyen, sabır ve ilgilerini her zaman üzerimde hissettiğim çok kıymetli ailem; babam Adnan HOŞGÖREN, annem Fatma HOŞGÖREN, ağabeyim Alper HOŞGÖREN’e sevgi ve saygılarımla teşekkürü borç bilirim.

Ayşegül HOŞGÖREN
14.02.2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Fasulye Bitkisi Hakkında Bilgiler 5
2.2. Demirin İnsan Vücudu ve Sağlığı Üzerine Etkileri 6
2.3. Demir Elementinin Bitki Bünyesindeki Fonksiyonları 8
2.4. Bitkilerde Demir Elementi ile İlgili Yapılan Çalışmalar 9
2.5. Fasulye Bitkisinin Besin Elementi İçeriklerine Yönelik Çalışmalar 17
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Deneme Kurulumu 18
3.2. Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler 20
3.2.1. Kuru yakma 20
3.2.2. Bitkide toplam azot 21
3.2.3. Bitkide toplam fosfor 21
3.2.4. Bitkide toplam potasyum, kalsiyum, sodyum ve magnezyum 21
3.2.5. Bitkide toplam demir, çinko, bakır ve mangan 21
3.2.6. Bitkide toplam bor 22
3.3. Bitki Kuru Maddesi ile Kaldırılan Miktarların Hesaplanması 22
3.4. İstatistiksel Analiz 22
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 23
4.1. Ortalama Kuru Madde Verimi 23
4.2. Azot içeriği ve kaldırılan azot miktarı 24
4.3. Fosfor içeriği ve kaldırılan fosfor miktarı 28
4.4. Potasyum içeriği ve kaldırılan potasyum miktarı 30
4.5. Sodyum içeriği ve kaldırılan sodyum miktarı 33
4.6. Kalsiyum içeriği ve kaldırılan kalsiyum miktarı 35
4.7. Magnezyum içeriği ve kaldırılan magnezyum miktarı 38
4.8. Demir içeriği ve kaldırılan demir miktarı 41
4.9. Bakır içeriği ve kaldırılan bakır miktarı 44
4.10. Çinko içeriği ve kaldırılan çinko miktarı 46
4.11. Mangan içeriği ve kaldırılan mangan miktarı 48
4.12. Bor içeriği ve kaldırılan bor miktarı 51
5. SONUÇ 54
KAYNAKÇA 56
ÖZGEÇMİŞ 66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
µS	Mikro Siemens
µg	Mikro Gram

Kısaltmalar	**Açıklama**
B	Bor
Ca	Kalsiyum
$Ca(NO_3)_2$	Kalsiyum Nitrat
Cl	Klor
Cu	Bakır
$CuSO_4$	Bakır (II) Sülfat
Fe	Demir
g	Gram
H_3BO_3	Borik Asit
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma
K.O.	Kareler Ortalaması
K.T.	Kareler Toplamı
K_2HPO_4	Di Potasyum Hidrojen Fosfat
kg	Kilogram
KNO_3	Potasyum Nitrat
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum Oksit
$MgSO_4$	Magnezyum Sülfat
mL	Mililitre
$MnSO_4$	Mangan Sülfat
Mo	Molibden
N	Azot
NaCl	Sodyum Klorür
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	Amonyum Heptamolibdat
NO_3^-	Nitrat
NH_4NO_3	Amonyum Nitrat
P	Fosfor
S	Kükürt
S.D.	Serbestlik Derecesi
V.K.	Varyasyon Kaynağı
$ZnSO_4$	Çinko Sülfat
FeO-NP	Demir Oksit Nanopartikül

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Fasulye yapraklarının içermiş olduğu kimi besin elementi sınırları. 17
Çizelge 3.1. Besin çözeltilerine ait kimi bilgiler..... 19
Çizelge 4.2 Ortalama kuru madde verimine etkisi..... 24
Çizelge 4.3. Azot içeriği ve kaldırılan azot miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 25
Çizelge 4.4. Azot içeriğine etkisi..... 26
Çizelge 4.5. Kaldırılan azot miktarına etkisi 27
Çizelge 4.6. Fosfor içeriği ve kaldırılan fosfor miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 28
Çizelge 4.7. Fosfor içeriğine etkisi 29
Çizelge 4.8. Kaldırılan fosfor miktarına etkisi..... 30
Çizelge 4.9. Potasyum içeriği ve kaldırılan potasyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları..... 31
Çizelge 4.10. Potasyum içeriğine etkisi..... 31
Çizelge 4.11. Kaldırılan potasyum miktarına etkisi..... 33
Çizelge 4.12. Sodyum içeriği ve kaldırılan sodyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları..... 33
Çizelge 4.13. Sodyum içeriğine etkisi 34
Çizelge 4.14. Kaldırılan sodyum miktarına etkisi 35
Çizelge 4.15. Kalsiyum içeriği ve kaldırılan kalsiyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 36
Çizelge 4.16. Kalsiyum içeriğine etkisi..... 36
Çizelge 4.17. Kaldırılan kalsiyum miktarına etkisi 38
Çizelge 4.18. Magnezyum içeriği ve kaldırılan magnezyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 38
Çizelge 4.19. Magnezyum içeriğine etkisi..... 39
Çizelge 4.20. Kaldırılan magnezyum miktarına etkisi..... 40
Çizelge 4.21. Demir içeriği ve kaldırılan demir miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 41
Çizelge 4.22. Demir içeriğine etkisi 42
Çizelge 4.23. Kaldırılan demir miktarına etkisi..... 43
Çizelge 4.24. Bakır içeriği ve kaldırılan bakır miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 44
Çizelge 4.25. Bakır içeriğine etkisi..... 44
Çizelge 4.26. Kaldırılan bakır miktarına etkisi..... 46
Çizelge 4.27. Çinko içeriği ve kaldırılan çinko miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 46
Çizelge 4.28. Çinko içeriğine etkisi..... 47
Çizelge 4.29. Kaldırılan çinko miktarına etkisi 48
Çizelge 4.30. Mangan içeriği ve kaldırılan mangan miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 49
Çizelge 4.31. Mangan içeriğine etkisi..... 49
Çizelge 4.32. Kaldırılan mangan miktarına etkisi 51
Çizelge 4.33. Bor içeriği ve kaldırılan bor miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları 51
Çizelge 4.34. Bor içeriğine etkisi..... 52

Çizelge 4.35. Kaldırılan bor miktarına etkisi..... 53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Tohumların perlit ortamında çimlendirilmesi 18
Şekil 3.2. Denemenin gerçekleştirildiği hidroponik sistem 19

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünler, insan sağlığı ve beslenmesi bakımından mühim olan antioksidan vitamin ve mineral maddeleri ihtiva etmektedir. Dünya nüfusunda her geçen gün yaşanan artış ve insan beslenmesindeki durumların değişimi nedeniyle gıdaya olan gereksinim fazlalaşmasına rağmen kullanılabilir tarım arazilerinde ise azalma görüldüğü bilinmektedir (Şimşek, 2019; Şenlikoğlu 2015). Bu durum çağımızda birim alandan çok daha yüksek verimin elde edilmesi gerektiğini, bu sebeple bitki beslemenin ve gübrelemenin gelecekte de tarımda devamlılığın sağlanabilmesi açısından ne kadar önemli olduğunu göstermiştir (Şimşek, 2019; Şenlikoğlu 2015).

Son yıllarda ticari gübrelerin bilinçsiz olarak yoğun ve dengesiz bir şekilde kullanımı sonucunda ülkemizde de tarım alanlarında; bazı besin elementlerinin eksiklikleri oldukça yaygın bir şekilde görülmeye başlamıştır. Bu elementlerin miktarları bazen toprakta yeteri kadar bulunsa bile toprak ve çevre koşullarına bağlı olarak bu elementlerin bitkiye alınamaması nedeniyle de bitkilerde noksanlık belirtileri görülebilmektedir ve bu elementlerden birisi de demirdir (Şimşek, 2019; Celik ve Katkat 2007; Lucena 2000; Pushnik ve Miller, 1989).

Kültür bitkilerinin mikro elemente duydukları gereksinimin genel olarak çok az düzeyde olduğu bilinmektedir (Schubert, 2006). Bu sebeple kültür bitkileri için bazı mikro elementlerin mutlak gerekli olarak nitelendirilen besin elementleri olduklarının belirlenmesi, 1860–1969 senelerinde yapılmış olan çalışmalarla tespit edilmiştir (Schubert, 2006). Günümüzde demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), mangan (Mn), molibden (Mo) ve bor (B) elementlerinin mutlak gerekli mikro besin elementleri oldukları kesin bir şekilde belirlenmiştir (Schubert, 2006).

Demir (Fe) elementinin neredeyse tüm canlılar için temel kabul edilen mikro besin elementlerinden biri olduğu bilinmektedir. Bitkilerde demirin, solunumda ve fotosentezde rol oynayan demir-sülfür (Fe-S) proteinleri gibi pek çok metalloproteinin aktif bölgelerinde kofaktör olarak bulunduğu bilinmektedir. Demirin ayrıca hormon biyosentezi ve DNA, azot fiksasyonu, klorofil biyosentezi ve sülfat asimilasyonu için

gerekli olduğu belirtilmiştir (Hell ve Stephan, 2003; Pushnik ve Miller 1989; Nelson vd., 1982).

Bitkilerin ihtiyaç duydukları zamanda ve ihtiyaç duydukları miktarda demir alamadıklarında bitkilerde klorofilin oluşumunu engellediği ve bu sebeple demir klorozunun meydana geldiği belirlenmiştir (Pushnik ve Miller, 1989). Demirin direkt olarak klorofilin yapısında yer almadığı; fakat bitkinin demir beslenmesi ile klorofil içeriği arasında oldukça yakın bir ilişki bulunduğu bildirilmiştir (Pushnik ve Miller, 1989). Ayrıca demirin, protein sentezinde de etkili olduğu görülmüştür. Yeterli düzeyde demir ihtiva etmeyen bitkilerde protein miktarlarında azalma ve amin bileşiklerinde de artışa neden olduğu görülmektedir (Çelim, 2018).

Mikro element noksanlıklarının, günümüzde hem insanlarda hem de bitkilerde büyük oranda yaygınlık gösterdiği ve çok taraflı sağlık sorunlarına sebebiyet verdiği görülmektedir (Şimşek, 2019; Singh vd., 2018; Dukpa vd., 2017; Rashid vd., 2015; Yurdakök ve İnce, 2009; Gautam vd., 2008; Uysal, 2004). Mikro element noksanlıklarının insanların sağlığı bakımından önemi ve sosyo–ekonomik kapsamdaki yansımaları, araştırma ve tartışmalara gün geçtikçe bir hayli fazla konu olmuştur. Dünya Bankası ve Dünya Sağlık Örgütü raporları; demir ve çinko noksanlığının dünya nüfusunun yaklaşık olarak yarısını etkilediğini bildirmiştir (Şimşek ve Çelik, 2018; Çakmak, 2008; Welch ve Graham, 2004). Bu nedenle, insanların besin değeri fazla olan yiyeceklerin farkında olmaları ve öğünlerinde buna dikkat etmeleri gerekmektedir (Rashid vd., 2015). Bitkilerin mineral konsantrasyonunun arttırılması diğer bir ifadeyle biyolojik takviye ile bitkilerin kullanılabilir element miktarının arttırılması sayesinde insanlarda görülebilecek noksanlıklarının giderilmesine yardımcı olunabileceği bildirilmiştir (Şimşek, 2019; Khush vd., 2012; Murgia vd., 2012).

İnsanların, gereksinim duydukları besin elementlerinin çoğunu tahıllar ve baklagillerden sağladığı belirtilmiştir (Welch ve Graham, 2004). Tarla bitkileri üretiminde ilk sırayı tahıllar alırken ikinci sıradaysa yemeklik baklagillerin yer aldığı bildirilmiştir (Gülümser,

2016). Yemeklik olarak kullanılan baklagillerin insan beslenmesinde hem dünyada hem de ülkemizde oldukça önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir (Gülümser, 2016).

Bakliyat grubu içerisinde yer alan ürünler insanlığın ilk çağlarından beri kültürü sağlanarak üretilmiş besin kaynağı olup insanların beslenmesi açısından oldukça büyük önem taşıdığı bilinmektedir (Kılıç, 1997). Ayrıca baklagil bitkilerinin Rhizobium türünde bakterilerle birlikte simbiyosis olarak yani ortak yaşam içerisinde bulunarak havadaki elementer azotu organik azot formuna dönüştürebildikleri ve bu sayede yüksek yapılı bitkilerin azotu kullanabilmesini sağladıkları bildirilmiştir (Stagnari vd., 2017; Gül ve Işık, 2002). Baklagiller diğer bitki türleri içerisinde azot bağlayabilme yetenekleri nedeniyle büyük bir öneme sahip olup, baklagil bitkilerinin toprağa bağladıkları azot miktarının yeterli düzeyde olduğu da belirtilmiştir (Stagnari vd., 2017; Gül ve Işık, 2002). Ayrıca baklagil bitkileri diğer bitkiler ile beraber tarlalarda rotasyon uygulanarak, ekilebilir alanlardaki enerji ve gübre kullanımını azaltmakta dolayısıyla da sera gazı salınımının azaltılmasında oldukça önemli bir rolü bulunduğu belirtilmiştir (Stagnari vd., 2017; Gül ve Işık, 2002). Baklagillerin toprağa çok yüksek nitelikli organik madde sağladığı, topraktaki su tutma kapasitesini (STK) ve besin maddelerinin dolaşımını kolaylaştırdığı da bildirilmiştir (Stagnari vd., 2017; Gül ve Işık, 2002). Baklagiller bunun gibi özellikleri nedeniyle, tarlaya kendilerinden sonra ekimi yapılacak olan buğdaygiller için oldukça iyi bir ön bitkidir. Sürdürülebilir tarımın popülaritesinin giderek arttığı günümüzde baklagil bitkilerinin önemini; belirtilmiş olan bu özelliklerin daha da arttırdığı görülmüştür (Stagnari vd., 2017; Gül ve Işık, 2002).

Yemeklik tane baklagiller grubunda yer alan fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisi tek yıllık yetişen, kendine döllenen, diploid ve aynı zamanda dünyada en çok ekim alanına ve üretime sahip olan bitki olduğu bildirilmiştir (Sağlam vd., 2005; Sözen vd., 2014a; Sözen vd., 2014b; Kan vd., 2019). Fasulye üreticiliğinde birim alandan daha yüksek verim elde edilmesinin gerek ülke ekonomisi gerekse üretici açısından çok büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir (Sağlam vd., 2005). Fasulye, mercimek, nohut, bakla börülce ve bezelyeyi içeren yemeklik dane baklagillerin çok uzun yıllardır insan beslenmesinde kullanıldığı, hayvansal proteinlerin çeşitli sebeplerle yeterli düzeyde sağlanamadığı

zamanlarda, dengeli beslenebilmek adına bitkisel protein kaynaklarına başvurulduğu bildirilmiştir (Adak, 2014). Bitkisel protein kaynakları içerisinde yemeklik tane baklagillerden üretilen proteinin birim alandan alınan en fazla protein miktarı olduğu bildirilmiştir (Şehirali, 1988).

Fasulye en başta protein olmak üzere, A, B, D vitaminleri, karbonhidrat ve demir, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi mineral gereksinimlerinin karşılanmasında oldukça önemli bir alternatif olması yanı sıra bilhassa geri kalmış veya gelişmekte olan ülkelerdeki insanların da protein ihtiyacını karşılamalarında mühim bir kaynak oluşturduğu belirtilmiştir (Evans ve Gridley, 1979; Adams vd., 1985; Şehirali, 1988).

Meyvesi kuru ve yaş olarak tüketilebilen fasulye bitkisinin demir noksanlığına oldukça duyarlı olduğu bildirilmiş, demir (Fe) noksanlığının fazla olduğu durumlarda bitkinin verim ve kalitesinin ayrıca protein içeriğinin de olumsuz etkilendiği ifade edilmiştir (Zuo ve Zhang, 2011).

Bu çalışmada su kültürü yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan demirin insan beslenmesinde oldukça önemli bir yere sahip olan fasulye bitkisinin demir ve kimi besin elementi içeriğine, gelişimine ve kaldırılan miktarlarına dair etkisi araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Fasulye Bitkisi Hakkında Bilgiler

Baklagiller (*Leguminosae*) familyasının; 40 takımın kapsadığı 640 farklı cins barındıran en geniş üçüncü familya grubu olduğu bildirilmiştir (Gebts vd., 2005). Baklagiller *(Leguminosae*) ailesinin *Phaseolus* türüne mensup fasulye bitkisinin ülkemizde tarımı yapılan baklagiller arasında büyük bir öneme sahip olduğu ifade edilmiştir (Akçın, 1973).

Fasulyenin zengin bir karoten ve C vitamini içermesinin yanında taze meyve ve danelerinin yaklaşık %90'ının sudan oluştuğu belirtilmiştir. Fasulye bitkisinin tüketimde tercih edilmesinin önemli sebepleri arasında; yüksek besin değerlerine sahip olması ve farklı tüketim biçimlerine uygun olması (taze ve kuru olarak, konserve, turşu vs.) gibi özellikler belirtilmiştir (Akçın, 1973). Ayrıca demir, mangan, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt ve fosfor bakımından zengin bir içeriğe sahip olması nedeniyle insanların vücutlarında mineral madde gereksinimini karşılayabilmekte büyük bir öneme sahip bir gıda maddesi olduğu ifade edilmiştir (Akçın, 1973). A, D, E ve K gibi değerli vitaminleri ihtiva etmesi açısından da bitkisel besin kaynakları arasında önemli bir yer sahibi olduğu bildirilmiştir (Akçın, 1973).

Fasulye bitkisi, dallanmış yapıda ve açık kahverengi, kazık kök yapısına sahip bir bitki türüdür. Köklerin hızlı biçimde çimlenmesinden sonra gelişmesinin başladığı, ana kökün bir engele rastlamadığı sürece toprağın derinliğine göre büyümeye devam ettiği ancak herhangi bir engelle karşılaşma durumunda büyümesinin durduğu, bu duruma karşılık yan köklerin gelişiminin teşvik edildiği ifade edilmiştir. Köklerin bir günde yaklaşık olarak 3 ila 3,5 cm uzayabildiği de bildirilmiştir (Şehirali, 1988).

Fasulye bitkisinin gövdeden, boğumlar ve boğum aralarından oluşmuş tek yıllık ve otsu gövde yapısında olduğu ve ayrıca kültürü yapılan çeşitlerinin boylanma biçimlerine göre sırık ve bodur olarak iki gruba ayrıldığı bildirilmiştir (Gülümser vd., 2013). Sırık fasulyelerin az yüksek, orta yüksek, yüksek ve çok yüksek olarak 4 alt gruba ayrıldığı,

bodur fasulyelerin ise yüksek bodur, yayvan bodur, uzun yaprak saplı bodur ve küre bodur olarak 4 alt gruba ayrıldığı ifade edilmiştir (Gülümser vd., 2013).

2.2. Demirin İnsan Vücudu ve Sağlığı Üzerine Etkileri

Demir elementinin yer kürede oldukça yüksek seviyede bulunmasına karşın insanlar arasında demir eksikliğinin en sık rastlanan beslenme sorunları arasında yer aldığı ifade edilmiştir (Andrews vd., 2009).

Ülkemizde beslenme bozukluğu sonucu ortaya çıkan en önemli sağlık sorunlarından birinin 'nutrisyonel anemiler' olduğu bildirilmiştir. Türk Hematoloji Derneği yapmış olduğu incelemeler sonucunda nutrisyonel anemilerin genellikle demir noksanlığı sebebiyle meydana geldiğini saptamıştır. Demir alımının yetersiz olması, besinlerdeki Fe emiliminin ve içeriğinin yeter düzeyde olmaması sebebiyle ortaya çıkabilen bir durum olduğu belirtilmiştir. Yeşil yapraklı sebzelerin demir elementini bünyelerinde non-hem Fe olarak bulundurduğu ve bu sebzeler tarafından sağlanan non-hem demirin %5 ila 10 aralığında emilme oranına sahip olduğu ifade edilmiştir (Rashid vd., 2015; Erduran ve Özbek, 2015).

Demirin insan vücudunda en çok bulunan element olması yanında eritropoezde görev alan esansiyel bir eser element olduğu belirtilmiştir. İnsan vücudundaki toplam Fe içeriğinin kg başına 50 miligram olduğu, demirin %15'inin kas liflerinde (miyoglobin), %70'inin hemoglobinde, geri kalanın ise enzimler, karaciğer (KC), sitokrom, retiküloendoteliyal sistem (RES) ve kemik iliğinde ve bulunduğu ifade edilmiştir (Muñoz vd., 2011).

Temel biyolojik süreçler için gerekli olan demir elementi, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarına katılarak, sağlıklı bir yetişkinin vücudunda 4-5 g arasında bulunduğu bildirilmiştir (Tunç, 2008). Demir eldesinin, memeli canlılar için günlük diyetlerinde dışardan alınarak bağırsaklardan emilme şeklinde olduğu ifade edilmiştir (Tunç, 2008; Wallace, 2016). İnsan vücudunda demir için aktif bir boşaltım sistemi olmaması sebebiyle bulunan demirin çoğu kemik iliğindeki yaşlanmış eritrositlerden ve dalaktan

vücutta geri dönüştürüldüğü ve geri kalanının hemosiderin veya ferritinde depolandığı belirtilmiştir (Tunç, 2008; Wallace, 2016).

İnsan vücudunda demir içeren proteinlerin; mitokondriyal solunum, oksijen taşınması, ksenobiyotik metabolizması, nükleik asit replikasyonu ve onarımı, hücresel sinyalizasyon ve immün sistem gibi hayati fonksiyonlar için gerekli olduğu bildirilmiştir (Tunç, 2008).

Demirin, hemoglobin bünyesinde bulunmasıyla iskelet sistemi, oksijenin alyuvarlarda taşınması ve kalp adalelerinin düzenli olarak çalışması gibi insan sağlığı açısından mikro elementler arasında mutlak gerekli olduğu ifade edilmiştir (Uysal, 2004). Ayrıca demirin protein metabolizmasında ve enerji üretiminde etki gösteren pek çok enzimin işlevini gerçekleştirmesinde ve vücuttaki savunma sisteminde bulunan lenfosit olarak adlandırılan kan hücrelerinin yapımı için kullanıldığı belirtilmiştir (Uysal, 2004). Aynı zamanda demirin, hücrenin gelişimi ve çeşitlenmesinin düzenlenmesinde bulunmasının zorunlu olduğu ifade edilmiştir (Özkan, 2009).

Demir noksanlığının insanlar için bir hastalık olmayıp, hastalığın bir göstergesi olduğu ifade edilmiştir (Albayrak, 2015; Özkan, 2009). Demirin alımının yetersiz olduğu durumlarda oksijenin hücrelere kısıtlı bir şekilde ulaştırıldığı, aynı zamanda düşüş gösteren hemoglobin düzeyinin de demir elementine bağlı olarak çalışan enzim fonksiyonlarını bozduğu belirtilmiştir (Albayrak, 2015; Özkan, 2009). Bunun sonucunda insanlarda çarpıntı, baş ağrısı, duyularda bozukluk, huzursuzluk, yorgunluk ve bu nedenlere bağlı olarak iş performansında düşüş gibi belirtilerin ortaya çıkmasına neden olabileceği belirtilmiştir (Albayrak, 2015; Özkan, 2009).

Günlük beslenmesinde sağlıklı olarak nitelendirilen bir insanın bünyesine 1 g demir almasının yeterli olduğu belirtilmiştir (Bülbül, 2004). Buna karşın yeni doğmuş bir bebek için 0,5 g, yetişkinler için ise 5 g kadar demir bulunduğu belirtilmiştir (Bülbül, 2004). Besin yoluyla vücuda sağlanan demirin % 10'unun emildiği, bu nedenle günlük beslenme için 8 ila 10 g demir olması gerektiği bildirilmiştir (Bülbül, 2004). Dünya Sağlık Örgütü 2 yaşının altında olan bireylerde günde 12,5 mg, 2-5 yaş arasında olan bireylerde ise

günde 20 ila 30 mg aralığında demir alınmasını önermiştir (Bülbül, 2004). İnsanların ihtiyaç duydukları demir miktarının sağlık durumlarına ve yaşlarına göre değişiklik gösterdiği, yapılmış olan araştırmalar neticesinde günlük olarak demir ihtiyacının altı yaşının altındaki çocuklar için 15 mg olduğu, 6 ila 12 yaşları arasındaki çocuklar için 10 mg, yetişkin kadınlar için 15 mg, gebe kadınlarda 27 mg ve yetişkin erkeklerde 10 mg olduğu ifade edilmiştir (Poirier ve Brode, 1983; Morrison, 1982; Gookin vd., 1986).

2.3. Demir Elementinin Bitki Bünyesindeki Fonksiyonları

Demirin bitki bünyesinde pek çok fizyolojik etkileri olması sebebiyle metabolik bir öneme sahip olduğu, demirin farklı enzimlerin aktif gruplarının bir parçası olduğu bildirilmiştir (Kacar vd., 2010). Demirin en yaygın bilinen görevleri arasında solunum (respirasyon) ve oksidasyon zinciri ile ilgili enerji bünyesinde yapım ve yıkımda elektron taşınmasında aldığı rol ve hemin enzimlerinin prostatik kümelerindeki fonksiyonu belirtilmiştir (Kacar vd., 2010). Demirin belirtilen enzimler arasından katalaz enziminin reaksiyonunu katalizleyerek, bitki metabolizması için zararlı olan peroksidin etkisini önlediği, reaksiyonda bakırın (Cu) da görev aldığı, diğer bir enzimin ise oksijeni peroksitten substrata okside eden peroksidaz olduğu ifade edilmiştir (Kacar vd., 2010).

Demir elementinin, magnezyum gibi direkt olarak klorofilin içeriğinde bulunmamasına rağmen, klorofil oluşumunda katalitik bir tesir gösterdiği belirtilmiştir (Mengel, 1988; Güneş vd., 2000). Demirin bitkilerde hemoglobinin (hem) prostetik küme olarak rol aldığı enzimlerin sistemine katılarak oldukça mühim olan biyokimyasal ve metabolik hadiselerde (solunum ve fotosentezde enerjinin tutulması ve taşınmasında) rol aldığı bildirilmiştir. Türlü enzimlerin bünyelerinde koenzim faktörü olarak bulunan demirin; sitokrom oksidaz, katalaz ve peroksidaz gibi oldukça önemli solunum enzimlerinin faaliyetleri için de gerekli olduğu ifade edilmiştir (Marschner, 1995; Güneş vd., 2000).

Bitkilerde Fe noksanlığının belirtisi olarak genç yapraklarda, özellikle son çıkan yapraklarda, damarlar arasında sararmalar gözlemlendiği, bu sararmaların da bazı bitki yapraklarında kahverengi nekrozlar oluşturabildiği ifade edilmiştir (Boşgelmez vd., 2001; Aktaş ve Ateş, 1998; Kacar ve Katkat, 2010). Fe noksanlığının çok şiddetli olduğu

durumlarda damarların da sarardığı bildirilmiştir. Bu Fe noksanlığı belirtilerinin demir elementinin etkilediği metabolik tepkimelerinin bozulmasından, klorofil ve büyüme sentezinde gerekli enerji aktarımının kısıtlanmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Fe noksanlığı görüldüğü bitki dokularında malat ve sitrat anyonlarıyla nitrat ve aminoasit birikimi oluştuğu belirtilmiştir (Boşgelmez vd., 2001; Aktaş ve Ateş, 1998; Kacar ve Katkat, 2010).

Demir (Fe) noksanlığının görüldüğü bitkilerde protein oranının azaldığı, çözünebilir olan organik azot içeren bileşiklerin miktarlarının arttığı, yeterli nicelikte demirin sağlanamadığı hususlarda fotosentez miktarının azaldığı ve asimilasyon seviyesinin arttığı tespit edilmiştir. Tüm bu olayların demir elementinin fotosentez hadisesini doğrudan etkilediği ifade edilmiştir (Kacar ve Katkat, 2010).

2.4. Bitkilerde Demir Elementi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Tarım arazisi topraklarında genellikle demir elementi çok fazla bulunuyor olmasına karşın bitkilerde demir eksikliğine oldukça sık rastlanıldığı ve bu durumun ürünlerde önemli derecede kayıplara sebep olduğu bildirilmiştir (Kacar ve Katkat, 2010).

Topraktaki demir içeriğinin yetersizliğinden çok; pH'sı yüksek, aktif veya serbest kireç düzeyi yüksek, kötü havalanan, çok fazla su içeren ve aşırı miktarda sulama yapılmış olan topraklar ile; aşırı HCO_3 bulunduran veya HCO_3 düzeyi yüksek olan sulama suları ile sulanmış olan topraklar, aşırı miktarda NO_3^-'lı gübre uygulanmış ve gübrelenmesi yanmamış ahır gübresi ile yapılmış topraklar, çok fazla miktarda ağır metal (Zn, Mn ve Cu) ve fosfor (P) içeren topraklar, kök nematotu ihtiva eden topraklar ve organik maddesi düşük toprakların Fe noksanlığı açısından risk faktörü oldukları bildirilmiştir (Lucas ve Knezek, 1972; Wallihan, 1966; Wallace ve Lunt, 1960).

Bitkiler için demir alınımını veya demirin etkili şekilde kullanılmasını olumsuz yönde etkileyen faktörlerin bitkide Fe eksikliğine bağlı olarak belirtilerin ortaya çıkmasına sebep olduğu bildirilmiştir. Demir eksikliği belirtilerinin genç yapraklarda bilhassa da en son çıkan yapraklarda görüldüğü, yaşlı olan yapraklardan genç olan yapraklara demirin

aktarılmadığı ve bu nedenle noksanlığın genç yapraklarda görüldüğü belirtilmiştir (Kacar ve Katkat, 2010).

Bitkilerde demir eksikliğinin damarların arasında sararmalar olarak ortaya çıktığı, demir eksikliğinin en karakteristik özelliğinin yapraklardaki en ince damarların dahi yeşil kalarak damarların arasında rengin tamamen sarıya dönmesi olduğu belirtilmiştir (Kacar vd., 2006).

Bitkilerde toksik olmayan demir miktarları üzerine yapılan çalışmalarda bitkilerde 10 ila 1500 mg kg^{-1} aralığında Fe saptandığını ve saptanan bu demirin kimi enzimlerin sistemlerinde ve klorofil sentezinde aktif rol oynadığı rapor edilmiştir (Kacar, 1977; Eriş, 1985).

Dünya'da ve ülkemizde oldukça yaygın beslenme problemleri olmasında topraklarda az miktarda bulunan mikro besin elementlerinin ilgisi olduğu belirtilmiş, ülkemiz tarım topraklarında % 27 demir noksanlığı olduğu belirlenmiştir (Eyüpoğlu vd., 1998).

Orta Anadolu'da tarım topraklarının yaklaşık olarak % 85'inde demir (Fe) eksikliğinin (Gezgin ve Er, 2001) bulunduğu, bu eksikliğin hem bitkilerde hem de besin zinciri aracılığıyla hayvanlarda ve insanlarda olumsuz yönde etkilerinin oldukça yaygın olarak görüldüğü bildirilmiştir. Dünyada protein ve enerji ihtiyacı açısından 800 milyon insanın yetersiz düzeyde beslenmesi yanı sıra, yaklaşık 2 milyar insanın gizli açlık olarak nitelendirilen yeter düzeyin altında mikro element (demir, çinko, selenyum ve bor vb.) ve vitamin eksikliği yaşadığı bildirilmiştir (Çakmak, 2002; Welch, 2002).

Çelik ve Katkat (2005) Bursa ili şeftali yetiştiriciliği yapılan tarım topraklarında potasyum içeriğinin yeter düzeyde ve yeter düzeyin üzerinde, topraklardaki DTPA ile ekstrakte edilebilen demir içeriklerinin ise belirtilmiş olan sınır değerlerin üzerinde bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Schenkeveld vd., 2010 yılında soya fasulyesinin demir alınımı üzerine EDDHA ürünlerinden 0-EDDHA, racemic 0,0 EDDHA, meso 0, rest-EDDHA ve O P-EDDHA uygulamalarının etkilerini belirlemeyi hedefledikleri çalışmalarında uygulanan Fe EDDHA'nın bitkinin Fe içeriğini %50 ve bitki verimini % 30 artırdığını bildirmişlerdir.

Asri ve Sönmez (2010), yürüttükleri çalışmada domates bitkisinin demir ve klorofil içeriği ile kuru madde verimi üzerine demir (1 ve 3 mg kg^{-1}) ve potasyum (150, 300 ve 450 mg kg^{-1}) uygulamalarının etkisini araştırmıştır. Demir ve potasyum uygulamalarının bitkinin kuru madde verimi üzerine; demir uygulamalarının yaprakların aktif demir, toplam demir, klorofil a, b ve a+b içerikleri arasındaki interaksiyonun istatistiki bakımdan önemli olduğu belirtilmiştir. Artan demir uygulamalarına bağlı olarak bitkilerin klorofil kapsamlarının, aktif demir ve toplam demir içeriklerinin arttığı bildirilmiştir.

Başar (2002), Soya fasulyesinde yapraktan $FeSO_4$ uygulaması ile demir klorozunun giderilmesinde başarılı sonuçlar sağlandığını belirterek, FeEDDHA'nın da yapraktan uygulandığı zaman yaprakların toplam demir ve aktif demir içeriklerinin artarak klorozun önlendiğini bildirmiştir.

Chakralhoseini vd., (2002), topraktan uyguladıkları 2,5 mg kg^{-1} demirin soya fasulyesinde bitkinin kuru ağırlığını arttırdığını ancak demirin daha yüksek dozlarının bitkinin büyümesini azalttığını bildirmiştir.

Beşiroğlu (1988), sera koşullarında artan miktarlarda uygulanan demir içeren gübrelerin tesiriyle, soya çeşidinden Fe hassasiyeti olmayanlardan sağlanan kuru madde niceliğinin azaldığını; en yüksek doz olan 10 mg kg^{-1} Fe uygulamasından en az miktarda kuru madde elde edildiğini bildirmiştir. En fazla kuru maddenin; en düşük doz olan 1 mg kg^{-1} uygulamasından, en düşük kuru maddenin ise en yüksek doz olan 10 mg kg^{-1} uygulamasından elde edildiği kaydedilmiştir.

Karaman vd., (1999), sera koşullarında Yalova tarla fasulyesi çeşidi ile yürüttükleri çalışmada; artan miktarlarda Fe ve Zn uygulamalarıyla kuru madde miktarının tüm

dozlarda kontrole göre arttığını belirtmiştir. En fazla kuru madde seviyesinin Fe-EDDHA biçiminde 20 mg kg^{-1} demir ve 20 mg kg^{-1} çinkonun birlikte uygulanması ile elde edildiğini bildirmişlerdir.

Çelik (2006), Bursa ilindeki toprakların alınabilir demir durumunu ve miktarını incelediği çalışmasında Fe sarılığına duyarlı mısır çeşidine artan miktarlarda FeEDDHA (0, 2.5, 5.0 ve 10 mg Fe kg^{-1}) uygulamıştır. Araştırma sonucunda bitkilerin aktif demir içeriği, kuru madde miktarı, topraktan kaldırdığı aktif demir miktarı, topraktan kaldırılan toplam demir miktarının ve toplam demir içeriğinin önemli derecede arttığını bildirmiştir.

Chopde vd., (2015), makul konsantrasyonlarda uygulanmış demirin, bitkide metabolizmanın enzimatik reaksiyonunda oldukça önemli bir katalizör görevi gördüğünü aynı zamanda bitkinin vejetatif büyümesini arttırdığını, bunun neticesinde bitkinin kuru ve yaş ağırlığının arttığını bildirmişlerdir.

Çelik ve Urhan (2020), kiraz yetiştiriciliği yapılan topraklarda yapmış oldukları çalışmada yaprakların 37,93 – 65,18 mg kg^{-1} aralığında Fe içerdiğini, bu değerlerin yeter düzeyin altında olduğunu bilmişlerdir. Bu durumun bilinçsiz şekilde bitki ve toprak analiz sonuçlarına dayanmayan bir gübreleme programının uygulanması sonucunda ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Uzun (2019), sera koşullarında siyez buğdayı danesindeki Fe ve Zn içeriğini arttırmayı hedeflediği çalışmasında istatistiksel olarak, uygulanmış olan demir, fosfor ve çinko dozları interaksiyonunun %1 seviyesinde önemli bulunduğunu rapor etmiştir.

Özdemirli (2023), yonca bitkisine yapraktan uyguladığı EDTA formundaki demirin uygulanmış olan dozların seviye durumuna göre bitkideki verimi önemli derecede arttırdığını bildirmiştir.

Jozdaemi ve Golchin (2017), fasulye bitkisi çeşitlerine etkisini araştırmak üzere bitkilere yapraktan ve topraktan farklı demirli gübre uygulamışlardır. Demirli gübre

uygulamalarının sonucunda fasulye bitkisi çeşitlerinin kök kuru ağırlıklarına bağlı olarak oldukça önemli farklılıklar olduğunu rapor etmişlerdir. Yaprak ve topraktan uygulaması yapılan demirin kök bölgesindeki potasyum (K), demir (Fe), fosfor (P) ve azot (N) içeriklerini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Çelik ve Katkat (2007) yürüttükleri çalışmada iyon dengesizliği, yüksek pH ve kireç, zayıf toprak havalanması, yüksek nem, yüksek ve düşük toprak sıcaklığı, toprak sıkışması gibi bazı durumların bitkilerde demir elementinden yeterli düzeyde yararlanılmasını engellediğini ve toprakta DTPA yoluyla ekstrakte edilebilen demir seviyesinin yüksek olmasına karşın bitki bünyesindeki demir konsantrasyonlarının daha az miktarda bulunduğunu ve yapraklarda demir eksikliği belirtilerinin ortaya çıktığını tespit etmişlerdir.

Demir (2017), farklı yetiştirme dönemlerinde patates bitkisine EDDHA formunda farklı dozlarda demirli gübre uygulamıştır. Araştırma sonucunda uygulanan demirli gübrenin bitkinin gelişimi, yumru verim ve kalitesi üzerine olumlu yönde etki gösterdiği verim ve kaliteyi arttırdığını rapor etmiştir.

Li vd. (2017), yonca bitkisinin verimini ve fotosentetik aktivitesini tespit etmek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında farklı dönemlerde ve farklı dozlarda demir sülfat uygulaması yapmışlardır. Araştırma sonucunda yapraktan uygulanan demirli gübrenin vejetatif döneme kadar olan süreçte yonca bitkisinin verim ve fotosentetik kapasitesini artırdığını belirlemişlerdir.

Sadıqpoor, (2021), soya bitkisine yapraktan uyguladığı demir şelatın (FeEDDHA) yapraklardaki demir düzeyini oldukça önemli seviyede arttırdığını rapor etmiştir.

Rahman vd. (2021), yonca bitkisine laboratuvar ortamında hidroponik sistemde demirin yeter düzeyde ve yeter düzeyin altında olduğu şartlarda (25 µM ve 1.0 µM) iki farklı dozda Fe-EDTA uygulamışlardır. Araştırma sonucunda demirin yeter düzeyin altında olduğu ortamda yetiştirilen bitkilerin kök ve yeşil aksamlarında Fe'nin yanı sıra çinko,

kükürt ve kalsiyum içeriklerinde oldukça önemli derecede azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Krouma ve Abdelly (2003), Fe eksikliğine toleransı yüksek fasulye çeşitlerinin simbiyotik azot fiksasyonuna göre demir elementinin yeter düzeyde kullanımını ile ilgili çalışmışlardır. Sonuç olarak, ARA-14 çeşidinden kısmen daha fazla nodül ağırlığı ve çok fazla kuru madde elde edilmiş; buna karşılık bir Coco Blanc çeşidi olan ARA-14'ün azot fiksasyon kabiliyetinin daha fazla olduğu, nodüllerin gelişimi ve fonksiyonu için yeter düzeyde Fe kullanımının çok daha iyi sonuç gösterdiği tespit edilmiştir.

Ohwaki vd., (1997), tarafından Tayland'da tarla koşullarında kireçli topraklarda yapılmış olan çalışmada 10 börülce çeşidinin Fe eksikliğine karşı tepkilerinde; tohum kalitesi, kloroz belirtilerinin görünümü ve bitki gelişiminin etkisini araştırmışlardır. Demir sülfatın sıvı olarak 5 g L^{-1} yapraktan uygulanmasının Fe eksikliğinin sebep olduğu, klorozu iyi yönde etkileyerek hassas çeşitler için mahsul ve gelişmeyi arttırdığı bildirilmiştir.

Aly ve Soliman (1998), iki farklı soya fasulyesi çeşidinde sera koşullarında yapmış oldukları çalışmada Fe klorozunun giderilmesi ve Fe statüsü üzerine kimi organik asitlerin bitkilerin gelişiminde düzeltici etki göstermesini araştırmış; etkinin uygulama düzeyine, organik asitlerin türüne, demir seviyesine ve soya fasulyesinin çeşidine göre değiştiğini bildirmişlerdir.

Raju vd., (2016), tarla koşullarında maş fasulyesine (*Vigna radiate L.)* FeO-NP (Demir Oksit Nanopartikül) gübre uygulaması yaptıkları çalışmada; deneme sonucunda bitkilerde kontrole oranla yaş ağırlık ve kök büyümesinde artış görüldüğü ve ayrıca 5-50 mg kg^{-1} aralığındaki FeO-NP konsantrasyonunun ürün verim ve kalitesi için faydalı olduğu bildirilmiştir.

Zohlen (2002), ürünlerin kireçli topraklarda yetiştirilmesiyle ortaya çıkan klorozun esas sebeplerinin Fe eksikliği olduğunu, bu durumun asitlerle sulandırma yöntemiyle ya da yapraktan çözünebilir Fe^{+2}'nin uygulanmasıyla azaltılabileceğini ifade etmiştir.

Abadia vd. (2002), organik asit konsantrasyonlarının bitkilerde Fe noksanlığı durumunda arttığını bildirmişlerdir. Fasulye tohumunda Fe konsantrasyonunun toprağa etkilerinin ve genotipinin incelendiği denemede ise; topraktaki demir içeriği ve çeşit farklılığının fasulye danesindeki Fe birikiminden etkilendiği bildirilmiştir (Moraghan vd., 2002).

Başar ve Taban (2001) soya fasulyesi bitkisinin demir içeriğini arttırmaya yönelik olarak sera ortamında yürüttükleri çalışmada soya fasulyesi bitkisinin Fe içeriğini en fazla arttıranın yapraktan uyguladıkları $FeSO_4$ olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra FeEDDHA'nın soya fasulyesi yapraklarının Fe içeriğini bariz şekilde yükselttiğini aynı zamanda incelenmiş olan özellikler için en etkili bileşik olduğunu ifade etmişlerdir.

O'hara vd., (1988), yerfıstığı üzerine yürüttükleri çalışmada baklagil bitkilerinin yeter seviyede yumru oluşturamamasını Fe noksanlığına bağlamışlardır.

Çelik vd., (2010), hidroponik ortamda mısır bitkisine artan dozlarda Fe ve K uyguladıkları denemelerinde mısır kökleri ve sürgünlerinin kuru madde miktarında olumlu etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Artan miktarda uygulanan Fe ve K seviyeleriyle aktif ve toplam Fe alınımları ve konsantrasyonlarının en yüksek K dozuna kadar artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca artan K ve Fe dozlarının mısır bitkisinin kök ve sürgünlerindeki Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarını azalttığını, en düşük Fe ve K dozları olumlu yönde etki göstermesine rağmen, yüksek Fe ve K dozları hem sürgün hem de köklerdeki Mn, Zn, Cu ve Na alımını azalttığını bildirmişlerdir.

Jeyasubramanian vd., (2016), yürüttükleri çalışmada Hoagland besin çözeltisi ile hidroponik ortamda yetiştirilmiş ıspanak bitkisine kontrollü koşullarda sırası ile 100, 150 ve 200 mg kg^{-1} FeO-NP'ler uyguladıkları bitkide büyüme hızını araştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda; 100, 150 ve 200 mg kg^{-1} FeO-NP uyguladıkları ıspanakların

köklerinin uzunlukları, kontrol grubundan yaklaşık olarak 1,25, 1,375 ve 1,75 kat daha yüksek bulunmuştur. Biyokütlede de kontrol grubuna göre yaklaşık olarak 1,36, 3,08 ve 4,17 kat daha fazla artış ölçüldüğü bildirilmiştir.

Hu vd., (2017), yapmış oldukları çalışmada topraksız ortamda pomelo (*Citrus maxima)* bitkisine kontrollü koşullarda sırası ile 0, 20, 50 ve 100 mg kg^{-1} FeO-NP uygulamış ve 20 mg kg^{-1} FeO-NP uygulaması haricinde diğer bütün dozlarda taze biyokütlenin azalmış olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra 20 mg kg^{-1} FeO-NP uygulanmış olan bitkilerde klorofil içeriğinde belirgin bir farklılık görülmemesine karşın, 50 mg kg^{-1} FeO-NP dozunda klorofil içeriğinin %23,2 oranda arttığı rapor edilmiştir. Yeşil aksam ve kökte en yüksek demir (Fe) konsantrasyonunun 50 mg kg^{-1} FeO-NP uygulamasından elde edildiği bildirilmiştir.

Bayrak ve Dağhan (2023), yürüttüğü çalışmasında topraksız kültürde yetiştirdiği fasulye bitkisine artan düzeylerde FeO-NP (demir oksit nanopartikül) (0, 2, 4, 6, 8 ve 10 mg kg^{-1}) uygulamıştır. Uygulama sonucuna göre fasulye bitkisi yeşil aksamında N, Mg, Cu ve Mn içeriklerinde kontrole oranla azalma görülürken, P, K, Ca ve Zn içeriklerinde ise doza bağlı olarak değişiklik görüldüğünü bildirmiştir. Bitki kök kısmında FeO-NP uygulamasının kontrol grubuna muhakemeyle K ve Cu içeriklerinde azalış görülürken P, Mg, Zn ve Mn uygulamalarında ise doza bağlı olarak değişiklik görüldüğünü rapor etmiştir.

Şimşek (2019), hidroponik ortamda yetiştirdiği ıspanak bitkisine artan dozlarda demir (30µM, 60µM, 90µM, 120µM, 150µM) uygulaması yapmış olduğu çalışmasında yaprakların ve köklerin kuru madde, mikro ve makro besin içerikleri, kuru maddeleri, kaldırılan miktarları ve SPAD değerlerinin olumlu yönde etkilendiğini bildirmiştir. Ancak demir ile aralarında antagonistik bir ilişki bulunan mikro besin elementleri nedeniyle uygulanmış olan en yüksek doz demirin (150 µM) bitkinin Fe içeriğinde ve kuru madde veriminde azalma göstermesinin yanı sıra yaprak ve köklerdeki besin elementi alımlarını da azalttığını bildirmiştir.

2.5. Fasulye Bitkisinin Besin Elementi İçeriklerine Yönelik Çalışmalar

Fasulye yapraklarında 59 mg kg^{-1}'dan düşük demir noksan olarak; 60 - 200 mg kg^{-1} yeter ve >200 mg kg^{-1} ise fazla olarak değerlendirilmektedir (Jones vd., 1991). Jones vd., (1991) tarafından bildirilen fasulye yapraklarının içermiş olduğu kimi besin elementlerinin az, yeter ve fazla olduğu aralıklar Çizelge 2.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Fasulye yapraklarının içermiş olduğu kimi besin elementi sınırları

Element	Az	Yeter	Fazla
N, %	< 4,99	5.00 – 6.00	> 6.00
P, %	< 0,34	0,35 – 0,75	> 0,75
K, %	< 2,24	% 2,25 – 4,00	> 4,00
Ca, %	< 1,49	1,50 – 2,50	> 2,50
Mg, %	< 0,29	0,30 – 1,00	> 1,00
Fe, mg kg^{-1}	< 59	60-200	> 200
Cu, mg kg^{-1}	< 6,99	7-30	> 30
Zn, mg kg^{-1}	< 19	20-200	> 200
Mn, mg kg^{-1}	< 49	50-300	> 300
B, mg kg^{-1}	< 4,99	5-6	> 6,0

(Jones vd., 1991)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneme Kurulumu

Denemenin yürütüldüğü yer Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünün araştırma serasıdır. *'Gina Type'* fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumları perlit konulan viollere her gözde bir tohum bulunacak şekilde yerleştirilmiş ve üzerleri perlitle kapatıldıktan sonra sulanarak çimlendirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tohumların perlit ortamında çimlendirilmesi

Perlit ortamına çimlenme sonrasında yarım doz olmak üzere bitki besin çözeltisi uygulanmıştır. Ön kültürü yaklaşık 10 gün süren fasulye bitkileri daha sonrasında hacimleri 50'şer L olan bir çözelti tankı, 12 bitki kapasiteli üçer kanal ve bir pompadan oluşmuş hidroponik sisteme alınmıştır. Denemede, 5 adet hidroponik sistemde yetiştirilen Fasulye bitkilerine vejetasyon dönemi boyunca 5 farklı (40, 80, 120, 160 ve 200 µM) demir dozunun yer aldığı besin çözeltileri uygulanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Denemenin gerçekleştirildiği hidroponik sistem

Besin çözeltilerinin 3-4 gün arayla yenilenmesi sağlanmıştır. Deneme konusuna bağlı olarak oluşturulan besin çözeltilerinin kimi bilgileri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Besin çözeltilerine ait kimi bilgiler

Besin elementleri	**Çözeltideki konsantrasyonları**	**Yararlanılan kaynaklar**
	(mM)	
Azot	6	KNO_3, $Ca(NO_3)_2$, NH_4NO_3
Fosfor	2	K_2HPO_4, H_3PO_4
Potasyum	4	K_2HPO_4, KNO_3
Kalsiyum	3	$Ca(NO_3)_2$, CaO, $CaSO_4$
Magnezyum	2	$MgSO_47H_2O$, MgO
Kükürt	2	$MgSO_4\,7H_2O$
	(µM)	
Demir	40, 80, 120, 160, 200	FeEDTA % 6 Fe
Bor	10	H_3BO_3
Çinko	4	$ZnSO_4\,7H_2O$
Mangan	5	$MnSO_44H_2O$
Bakır	1	$CuSO_4\,5H_2O$
Sodyum	0.1	NaCl
Klor	0.1	NaCl
Molibden	0,035	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$

Uygulanan dozlara göre kaynakları ve miktarları değişerek hazırlanan çözeltilerin reaksiyonları (pH) 7,01 – 8,01 arasında belirlenmiş, elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin ise 1050 – 1409 µS cm^{-1} arasında olduğu tespit edilmiştir. Deneme süresince çözeltilerin pH ve EC değerlerine besin kompozisyonlarında farklılık oluşturmaması için herhangi bir müdahale yapılmamıştır.

Bitkiler 40 günlük gelişim sonunda kök üstü kısımlarından kesilmek suretiyle hasat edilmiştir. Fasulye bitkisinin gövde ve kökleri ayrı ayrı polietilen torbalar içerisinde laboratuvara götürülerek musluk suyu ve saf suda yıkanmaları sağlanmıştır. Daha sonrasında bitki örneklerinin hava sirkülasyonuna sahip kurutma fırınında (Nuve KD 400, Türkiye) 70°C'de yaklaşık 72 saat kadar nem içermeyecek duruma gelinceye kadar kurutulmaları sağlanmıştır. Bitkilerin kuru madde ile kaldırılan besin elementi miktarlarının belirlenebilmesi amacıyla bitki örneklerinin kuru ağırlıkları tartılarak ortalamaları alınmıştır. Tartımı tamamlanan örneklerin 0,5 mm'lik elek çapından geçebilecek boyuta gelmeleri için değirmende (Foss CT 193 Cyclotec, Danimarka) homojen olarak öğütülmeleri yapılmış ve analiz aşamasına kadar polietilen torbalarda muhafaza edilmiştir.

3.2. Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

Kök ve yaprak şeklinde ayrı ayrı öğütülen ve analize hazırlanan bitki örneklerinde yapılmış olan analizler ve analizlerin yöntemleri açıklamalı bir şekilde alt bölümde anlatılmıştır. Tüm analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen ortalama değerler çizelgelerde sunulmuştur.

3.2.1. Kuru yakma

Kurutulup öğütülmüş bitki örneklerinden 0,5'er g porselen krozelere tartılarak konulmuştur. Krozelerdeki örneklerin üzerine %5'lik etil alkol-sülfürik asit karışımından 1 mL ilave edilmiştir. Alkole batırılan cam baget, çakmak yardımıyla alev aldırılarak örneklerin ön yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön yakma işlemi gerçekleştirilen örnekler kül fırınına alınarak sıcaklık yavaş yavaş arttırılarak örneklerin tüm gün

550°C'de yanmaları sağlanmıştır. Homojen olarak beyaz-gri rengini alan örneklerin üzerine 3N HCl'den 4mL ilave edilerek hot plate üzerine yerleştirilmiştir. Örnekler bir miktar ısıtıldıktan sonra 50 mL balon jojelere yıkanarak saf su ile çizgisine kadar tamamlanmıştır. Örneklerin falkon tüplere mavi bant filtre kağıdı yardımıyla süzülmeleri sağlanarak, okumaya hazır hale getirilmiştir. Okuma yapılıncaya kadar örnekler serin ve gölge bir ortamda muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Bitkide toplam azot

Modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır. Yakma tuzu ve konsantre sülfürik asit yardımıyla Buchi K-437 yakma cihazında 380°C'de yakılmış olan örneklerin buharlı damıtma cihazı kullanılarak (Buchi K-350) damıtılması sonrasında oluşan destilat 0,1 N sülfürik asitle geri titre edilerek oluşan sarfiyat formülde hesaplanarak bitkideki toplam azotun belirlenmesi sağlanmıştır (Bremner, 1965).

3.2.3. Bitkide toplam fosfor

Kuru yakma sonrası süzüklerin ICP–OES cihazında (Perkin Elmer Optima 2100 model) okunması yapıldıktan sonra bitkilerin toplam fosfor içerikleri hesaplanmıştır (Hanlon, 1998).

3.2.4. Bitkide toplam potasyum, kalsiyum, sodyum ve magnezyum

Kuru yakma sonrası süzükler Flame fotometre cihazında "Ependorf Elex 6361" okunarak bitkide sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) ve magnezyum (Mg) belirlenmesi yapılmıştır (Horneck ve Hanson, 1998).

3.2.5. Bitkide toplam demir, çinko, bakır ve mangan

Kuru yakması yapılan örneklerden elde edilen süzükler ICP–OES cihazında (Perkin Elmer Optima 2100 model) okunmuş ve bitkideki konsantrasyonları hesaplanmıştır (Hanlon, 1998).

3.2.6. Bitkide toplam bor

Toplam bor miktarı, kuru yakma sonrası süzükler ICP–OES cihazında (Perkin Elmer Optima 2100 model) okunmuştur (Çelik vd., 2017).

3.3. Bitki Kuru Maddesi ile Kaldırılan Miktarların Hesaplanması

Bitki analizleri sonucunda ortaya çıkan element konsantrasyonları ile denemeden sağlanan ortalama kuru ağırlık değerleri oranlanarak her deneme konusu için bitkilerin kuru madde ile kaldırmış olduğu bitki besin elementi miktarları ayrı ayrı bulunmuştur.

3.4. İstatistiksel Analiz

Üç tekerrürlü olarak yürütülmüş olan denemeden sağlanan verilerin istatistiksel analizleri tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Denemeden elde edilen kuru madde verimi, element konsantrasyonu ve kaldırılan element miktarlarına ait verilerin varyans analizleri ve Asgari Önemli Fark (AÖF) değerlendirmesinde Minitab istatistik programının 17.1.0.1 sürümü kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Hidroponik ortama artan dozlarda demir uygulanması ile yürütülen denemeden elde edilen; gövde ve kök kuru madde verimi, bitki besin elementi içerikleri ve fasulye bitkilerinin kaldırdığı besin elementi miktarlarına ait tüm bulgular ve değerlendirmeleri başlıklar halinde aşağıda gösterilmiştir.

4.1. Ortalama Kuru Madde Verimi

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin kuru madde verimine etkisi Çizelge 4.1'de sunulan varyans analiz tablosunda, uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ortalama kuru madde verimi

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
Kuru madde	Faktör-A	1	7643,244	7643,244	146,535**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	966,720	241,680	4,633**	2,870	4,430
	A*B	4	347,730	86,933	1,667öd	2,870	4,430
	Hata	20	1043,197	52,160			
	Genel	29	10000,890	344,858			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Fasulye bitkisi kuru madde verimine dair; bitki kısımları ve demir dozlarının tesiri %1 seviyesinde önemli bulunmasına rağmen, bitki kısımları ve demir dozları interaksiyonunun önemli olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Fasulye bitkisi yapraklarının ortalama kuru maddesinin (49,49 g), köklere oranla (17,57 g) daha yüksek olduğu görülmüştür. Artan demir uygulamaları ile bitkilerin ortalama kuru madde ağırlıklarında artış gözlenmiş en düşük kuru madde (26,68 g) Fe1 dozundan en yüksek ise Fe 5 (43,31 g) sağlanmıştır. Yapraklarda belirlenen en yüksek ortalama kuru madde miktarı (62,67 g) Fe5 dozundan, en düşük ortalama kuru madde miktarı (36,27 g) ise Fe1 uygulamasından elde edilmiştir. Köklerde belirlenen en yüksek ortalama kuru madde miktarı (23,96 g) Fe5 dozundan, en düşük ortalama kuru madde miktarı (13,54 g) ise Fe3 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Ortalama kuru madde verimine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Kuru Madde (g)	Yaprak	36,27	52,59	45,13	50,80	62,67	49,49 a
	Kök	17,10	16,27	13,54	16,98	23,96	17,57 b
	Ortalama	**26,68 B**	**34,43 AB**	**29,34 B**	**33,89 AB**	**43,31 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	7,504	B $_{AÖF<0.01}$	11,865	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Ghasemi-Fasaei ve Ronaghi (2008), buğday bitkisine yapraktan ve topraktan farklı demir içerikli gübreleri (FeEDDHA ve $FeSO4.7H_2O$) uyguladıkları çalışmalarında demir uygulamalarına bağlı olarak bitkide kuru madde miktarının artmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu demir ile toprak çözeltisindeki diğer katyonlar arasındaki dengenin bozulması ve toprak çözeltisindeki miktarlarının azalmasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Şimşek (2019), su kültüründe artan miktarlarda uygulanmış olan demir dozlarının, ıspanak bitkisinin yapraklarındaki kuru madde randımanında yükseliş sağladığını ve en yüksek belirlenen yaprak ve kök kuru madde veriminin Fe4 (120µM) uygulamasından elde edildiğini bildirmiştir.

Çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar; demirin verim ve bitki kalitesi üzerinde ve özellikle biyokütle üretimi açısından kısıtlayıcı bir faktör olduğunu gösteren çok sayıda araştırma (Briat vd., 2015; Pingoliya vd., 2014; Jin vd., 2013; Yılmaz vd., 2012; Açıksöz vd., 2011) sonucu ile uyumlu bulunmuştur.

4.2. Azot içeriği ve kaldırılan azot miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin azot içeriğine ve kaldırdığı azot miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3'te yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF)

testi gruplandırmaları Çizelge 4.4'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin azot içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan miktarları üzerine bitki kısımlarının %1 düzeyinde önemli bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Azot içeriği ve kaldırılan azot miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	1,137	1,137	37,364**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	4,956	1,239	40,717**	2,870	4,430
	A*B	4	0,741	0,185	6,092**	2,870	4,430
	Hata	20	0,609	0,030			
	Genel	29	7,442	0,257			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	3984276,747	3984276,747	157,849**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	67109,102	16777,275	0,665öd	2,870	4,430
	A*B	4	168056,425	42014,106	1,665öd	2,870	4,430
	Hata	20	504820,840	25241,042			
	Genel	29	4724263,114	162905,625			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin azot içeriğinde kontrole oranla azalmaya neden olduğu görülmüş, en yüksek azot içeriği (%3,26) Fe1 dozundan, en düşük belirlenen azot içeriği (%2,10) ise Fe5 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.4).

Fasulye bitkisi yapraklarındaki azot içeriğinin (%2,52), köklere oranla (%2,91) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

Artan demir dozlarına bağlı olarak yaprakların azot içeriğinde azalma meydana gelmiş, en yüksek azot içeriği (% 2,91) Fe1 dozundan, en düşük azot içeriği (% 2,08) Fe5 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Azot içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Azot (%)	Yaprak	2,91 b A	2,57 b AB	2,60 b AB	2,45 a BC	2,08 a C	2,52 b
	Kök	3,62 a A	3,09 a B	3,29 a AB	2,44 a C	2,11 a C	2,91 a
	Ortalama	**3,26 A**	**2,83 B**	**2,95 B**	**2,44 C**	**2,10 D**	
	A $_{AÖF<0.01}$	0,181	B $_{AÖF<0.01}$	0,287	AxB $_{AÖF<0.01}$	0,405	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Artan demir dozlarına bağlı olarak köklerin azot içeriğinde de azalma meydana gelmiş, en yüksek azot içeriği (% 3,62) Fe1 dozundan, en düşük azot içeriği (% 2,11) Fe5 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisi genç yapraklarında % N düzeyinin 5.00 - 6.00 değerleri arasında bitkiler için yeterli düzey olarak bildirmişlerdir. Denemede bitkilerin N konsantrasyonları %2,10 - %3,26 arasında değişmekle birlikte bu değerler literatürde belirtilen verilere göre daha düşük bulunmuş bu durumun örnekleme zamanı ve örnek alınan organ farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şimşek (2019), demir dozlarının su kültüründe artan miktarlarda uygulanmasıyla ıspanak bitkisi yapraklarındaki azot içeriğinde yükseliş sağladığını ve en yüksek olarak belirlenen yaprak azot içeriğinin (% 6,09) Fe4 (120µM) dozundan sağlandığını bildirmiştir. Kuru madde esasına göre bitkilerdeki azot içeriğinin % 0,1 ila 10,00 arasında olabileceği bildirilmiştir (Kacar ve Katkat 1998). Denememizden elde edilen sonuçlar literatürlerle uyumlu bulunmuştur.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan azot miktarını kontrole oranla ikinci dozda arttırdığı tespit edilmiş ancak bu durum istatistiksel bakımdan önemli çıkmamıştır (Çizelge 4.5).

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı azot miktarlarının (1222,41 mg), köklere oranla (493,55 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır (Çizelge 4.5).

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı azot miktarında Fe2 dozuna (1350,43 mg) kadar artış olduğu, daha sonrasında azalma meydana geldiği görülmüştür. Yapraklarda kaldırılan en düşük azot miktarı (1049,60 mg) Fe1 uygulamasından, kaldırılan en yüksek azot miktarı (1350,43 mg) Fe2 dozundan sağlanmıştır.

Artan demir dozlarına bağlı olarak köklerin kaldırdığı azot miktarında da azalma meydana gelmiş, köklerin kaldırdığı en yüksek azot miktarı (609,43 mg) Fe1 dozundan, kaldırılan en düşük azot miktarı (413,13 mg) Fe4 dozundan sağlanmıştır.

Çizelge 4.5. Kaldırılan azot miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Azot (mg)	Yaprak	1049,60	1350,43	1170,40	1241,27	1300,33	1222,41 a
	Kök	609,43	502,47	439,40	413,13	503,30	493,55 b
	Ortalama	**829,52**	**926,45**	**804,90**	**827,20**	**901,82**	
	$A_{AÖF<0.01}$	165,081	B	öd	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Heitholt vd. (2003), soya fasulyesi bitkisinde farklı demirli gübre uygulamaları sonucunda çiçeklenme döneminden önce demir uygulanmasının bitkide N konsantrasyonu üzerinde önemli bir etki oluşturmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, Yetim (2008), soya fasulyesi bitkisinde demir uygulamalarına bağlı olarak N konsantrasyonlarında önemli bir değişimin olmadığını bildirmiştir.

Brear vd. (2013) yürüttükleri çalışmada baklagil bitkilerinin simbiyotik N fiksasyonunda Fe gereksiniminin yüksek olduğunu, nodüldeki Fe konsantrasyonunda oluşan artışla N fiksasyonu arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

4.3. Fosfor içeriği ve kaldırılan fosfor miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin fosfor içeriğine ve kaldırdığı fosfor miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6'da yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.7'de, kaldırılan fosfor miktarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin fosfor içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde, kaldırılan fosfor miktarları üzerine ise demir dozlarından elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Fosfor içeriği ve kaldırılan fosfor miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	4,633	4,633	591,759**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	0,293	0,073	9,368**	2,870	4,430
	A*B	4	0,409	0,102	13,072**	2,870	4,430
	Hata	20	0,157	0,008			
	Genel	29	5,493	0,189			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	917,648	917,648	0,284öd	4,350	8,100
	Faktör-B	4	20817,381	20817,381	6,432**	2,870	4,430
	A*B	4	9136,596	9136,596	2,823öd	2,870	4,430
	Hata	20	3236,770	3236,770			
	Genel	29	6395,481	6395,481			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Fasulye bitkisi yapraklarındaki fosfor içeriğinin (%0,49), köklere oranla (%1,28) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7).

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin fosfor içeriğinde kontrole oranla artışa neden olduğu görülmüş, en yüksek fosfor içeriği (%1,02) Fe5 dozundan, en düşük belirlenen fosfor içeriği (%0,80) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.7).

Demir dozlarına bağlı olarak yaprakların fosfor içeriğinde Fe2 dozuna kadar artış (% 0,51) sağlandığı, ancak artan demir dozuna bağlı olarak fosfor içeriğinde azalma meydana geldiği görülmüş, en düşük belirlenen fosfor içeriği (% 0,45) Fe5 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Artan demir dozlarına bağlı olarak köklerde en fazla belirlenen fosfor içeriği (% 1,60) Fe5 dozundan, en düşük fosfor içeriği (% 1,10) Fe2 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Fosfor içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Fosfor (%)	Yaprak	0,49 b A	0,51 b A	0,51 b A	0,50 b A	0,45 b A	0,49 b
	Kök	1,11 a B	1,10 a B	1,11 a B	1,48 a A	1,60 a A	1,28 a
	Ortalama	**0,80 B**	**0,80 B**	**0,81 B**	**0,99 A**	**1,02 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	0,092	B $_{AÖF<0.01}$	0,145	AxB $_{AÖF<0.01}$	0,206	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında % 0,35-0,75 P konsantrasyonunun bitkiler için yeterli düzeyde olduğunu bildirilmişlerdir. Bu değerler dikkate alındığında bitki yapraklarındaki P konsantrasyonlarının yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır.

Şimşek (2019), su kültüründe ıspanak bitkisine artan miktarlarda demir dozlarının uygulanmasıyla, yapraklardaki fosfor içeriğinde artış meydana geldiği ve en yüksek belirlenen fosfor içeriğinin (% 0,85) Fe4 (120µM) dozundan sağlandığını bildirmiştir. Denememizde demir uygulamaları ile elde edilen fosfor içeriklerinin daha önce yapılan su kültürü çalışmasından bulunmuş olan sonuçlarla uyum sergilediği görülmektedir.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan fosfor miktarını kontrole oranla arttırdığı, en yüksek kaldırılan fosfor miktarının (331,37 mg) Fe5 uygulamasından, en

düşük kaldırılan fosfor miktarının (188,12 mg) ise Fe1 uygulamasından elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.8).

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı fosfor miktarlarının (242,85 mg), köklere oranla (231,79 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır (Çizelge 4.8).

Artan demir dozlarına bağlı olarak yaprakların kaldırdığı fosfor miktarı yükselme göstermiş, kaldırılan en yüksek fosfor miktarı (280,87 mg) Fe5 dozundan, kaldırılan en düşük fosfor miktarı (176,86 mg) Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.8).

Artan demir dozlarına bağlı olarak köklerin kaldırdığı fosfor miktarında Fe3 dozuna kadar azalma (150,08 mg) görülürken, daha sonrasında artış olduğu görülmüş, kaldırılan en düşük fosfor miktarı (150,08 mg) Fe3 dozundan, kaldırılan en yüksek fosfor miktarı (381,87 mg) Fe5 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Kaldırılan fosfor miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Fosfor (mg)	Yaprak	176,86	266,08	232,33	256,10	280,87	242,85
	Kök	197,39	178,67	150,08	250,92	381,87	231,79
	Ortalama	**188,12 B**	**222,38 B**	**191,21 B**	**253,51 AB**	**331,37 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$ 9,485	B $_{AÖF<0.01}$ 14,997	AxB	öd			

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

4.4. Potasyum içeriği ve kaldırılan potasyum miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin potasyum içeriğine ve kaldırdığı potasyum miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.10'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin potasyum içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde, kaldırılan potasyum miktarları üzerine bitki kısımlarından elde edilen değerlerin %1 seviyesinde önemli bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Potasyum içeriği ve kaldırılan potasyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri %5	Tablo değeri %1
İçerik	Faktör-A	1	9,758	9,758	88,453**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	2,525	0,631	5,721**	2,870	4,430
	A*B	4	9,602	2,400	21,758**	2,870	4,430
	Hata	20	2,206	0,110			
	Genel	29	24,091	0,831			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	8285747,726	8285747,726	114,196**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	520587,136	130146,784	1,79öd	2,870	4,430
	A*B	4	138314,656	34578,664	0,477öd	2,870	4,430
	Hata	20	1451150,420	72557,521			
	Genel	29	10395799,938	358475,860			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin potasyum içeriğinde kontrole oranla azalmaya neden olduğu görülmüş, en fazla belirlenen potasyum içeriği (%5,02) Fe1 dozundan, en az belirlenen potasyum içeriği (%4,20) ise Fe5 uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Potasyum içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Potasyum (%)	Yaprak	5,53 a A	3,99 b B	4,05 b B	3,68 b B	3,37 b B	4,13 b
	Kök	4,51 b B	5,86 a A	5,15 a AB	5,80 a A	5,02 a B	5,27 a
	Ortalama	**5,02 A**	**4,92 A**	**4,60 AB**	**4,74 AB**	**4,20 C**	
	A $_{AÖF<0.01}$ 0,345		B $_{AÖF<0.01}$ 0,546		AxB $_{AÖF<0.01}$ 0,772		

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi yapraklarındaki potasyum içeriğinin (%4,13), köklere oranla (%5,27) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.10).

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisi yapraklarının potasyum içeriğinde azalma meydana gelmiş, en yüksek potasyum içeriği (% 5,53) Fe1 dozundan, en düşük potasyum içeriği (%3,37) Fe5 dozundan sağlanmıştır. Köklerde ise en yüksek potasyum içeriği (%5,86) Fe2 dozundan, en düşük potasyum içeriği (% 4,51) Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.10).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisi genç yapraklarında %2.25 - 4.00 aralığındaki K değerlerinin yeterli düzeyde olduğunu belirtmiş ve bu değerlere göre denemede bitkilerin K konsantrasyonlarının yeter düzeyin üzerinde olduğu saptanmıştır. Çeşitli bitkiler üzerinde yapılmış olan çalışmalarda Fe-K arasındaki ilişkinin farklılık gösterdiği rapor edilmiştir.

Hewitt ve Bolle-Jones (1953) demirin potasyum translokasyonunu engellediği ve potasyumun ise demirin kullanımını artırdığını bildirmişlerdir.

Çelik ve Katkat (2005), şeftali yapraklarında demir klorozunun şiddeti arttıkça, yapraklardaki potasyum konsantrasyonunun da arttığını bildirmişlerdir. Ancak aşırı yüksek konsnatrasyonlarda bulunan potasyumun demirin alımını azalttığı da ifade edilmiştir.

Çelik vd., (2010), mısır bitkisine uygulanan en yüksek K dozunun mısırın yapraklarındaki ve köklerindeki toplam demir içeriğini azalttığını, çok yüksek K konsantrasyonlarının demir ve diğer katyonlarla rekabete neden olduğunu bildirmişlerdir.

Fasulye bitkisi köklerinin kaldırdığı potasyum miktarının (924,60 mg), yapraklara oranla (1975,68 mg) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11). Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Çizelge 4.11. Kaldırılan potasyum miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Potasyum (mg)	Yaprak	1987,26	2098,77	1823,60	1869,83	2098,94	1975,68 a
	Kök	774,07	953,64	704,76	984,078	1206,47	924,60 b
	Ortalama	**1380,66**	**1526,21**	**1264,18**	**1426,95**	**1652,71**	
	$A_{AÖF<0.01}$	279,888	B	öd	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

4.5. Sodyum içeriği ve kaldırılan sodyum miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin sodyum içeriğine ve kaldırdığı sodyum miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.12'de yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.13'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Sodyum içeriği ve kaldırılan sodyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F değeri**	**Tablo değeri**	
						%5	**%1**
İçerik	Faktör-A	1	0,229	0,229	1125,311**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	0,005	0,001	6,352**	2,870	4,430
	A*B	4	0,047	0,012	57,238**	2,870	4,430
	Hata	20	0,004	0,000			
	Genel	29	0,285	0,010			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	6449,227	6449,227	25,859**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	5636,084	1409,021	5,650**	2,870	4,430
	A*B	4	2074,477	518,619	2,079öd	2,870	4,430
	Hata	20	4988,070	249,403			
	Genel	29	19147,858	660,271			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01					

Fasulye bitkisinin sodyum içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde, kaldırılan potasyum miktarları üzerine bitki kısımları ve demir dozlarından elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12).

Demir uygulamalarının, fasulye bitkisinin sodyum içeriğinde kontrole oranla artışa neden olduğu görülmüş, en yüksek sodyum içeriği (%0,31) Fe5 uygulamasından, en düşük sodyum içeriği (%0,28) ise Fe1 uygulamasında belirlenirken, Fe2 ve Fe3 uygulamaları da benzer sonuç vermiştir (Çizelge 4.13).

Fasulye bitkisi köklerinin sodyum içeriğinin (%0,38), yapraklara oranla (%0,20) daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Sodyum içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Sodyum (%)	Yaprak	0,26 b A	0,20 b B	0,20 b B	0,19 b B	0,17 b B	0,20 b
	Kök	0,30 a D	0,36 a C	0,37 a C	0,41 a B	0,45 a A	0,38 a
	Ortalama	**0,28 B**	**0,28 B**	**0,28 B**	**0,30 AB**	**0,31 A**	
	A $_{AÖF}$	0,015	B $_{AÖF<0.01}$	0,023	AxB $_{AÖF<0.01}$	0,033	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisi yapraklarının sodyum içeriğinde azalma meydana geldiği görülmüş, en yüksek sodyum içeriği (% 0,26) Fe1 dozundan, en düşük sodyum içeriği (% 0,17) Fe5 dozundan sağlanmıştır. Köklerde ise yaprakların aksine en yüksek sodyum içeriği (% 0,45) Fe5 dozundan, en düşük sodyum içeriği (% 0,30) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.13).

Yüksek K ve Fe dozları, hem köklerde hem de sürgünlerde Mn, Zn, Cu ve Na alımını azaltmıştır.

Şimşek (2019), demir dozlarının su kültüründe ıspanak bitkisine artan miktarlarda uygulanmasıyla yaprakların sodyum içeriğinde yükselme sağladığını ve en yüksek belirlenen yaprak sodyum içeriğinin (0,41 %) Fe4 (120µM) dozundan elde edildiğini ve çeşitler arasında farklılıklar olduğunu bildirmiştir.

Çelik vd., (2010), su kültüründe mısır bitkisine artan dozlarda K ve Fe uygulamalarıyla köklerde ve sürgünlerde Na içeriğinde azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

Denememizden elde edilen sodyum değerlerinin literatürle uyumlu bulunmasına rağmen demir uygulamalarına bağlı olarak farklılıklar olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.14. Kaldırılan sodyum miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Sodyum (mg)	Yaprak	91,63	101,60	89,89	92,97	107,35	96,69 a
	Kök	50,40	59,07	49,57	69,57	108,21	67,36 b
	Ortalama	**71,01 B**	**80,33 B**	**69,73 B**	**81,27 B**	**107,78 A**	
	$A_{AÖF<0.01}$	16,409	$B_{AÖF<0.01}$	25,946	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan sodyum miktarını kontrole oranla arttırdığı, en yüksek kaldırılan sodyum miktarının (107,78 mg) Fe5 uygulamasından, en düşük kaldırılan sodyum miktarının (69,73 mg) ise Fe3 uygulamasından elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.14).

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı sodyum miktarlarının (96,69 mg), köklere oranla (67,36 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

4.6. Kalsiyum içeriği ve kaldırılan kalsiyum miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin kalsiyum içeriğine ve kaldırdığı kalsiyum miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.15'te yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.16'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Kalsiyum içeriği ve kaldırılan kalsiyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	1,801	1,801	233,359**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	0,195	0,049	6,332**	2,870	4,430
	A*B	4	0,143	0,036	4,645**	2,870	4,430
	Hata	20	0,154	0,008			
	Genel	29	2,294	0,079			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	2367352,171	2367352,171	339,647**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	136399,347	34099,837	4,892**	2,870	4,430
	A*B	4	122311,433	30577,858	4,387*	2,870	4,430
	Hata	20	139400,923	6970,046			
	Genel	29	2765463,874	95360,823			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Fasulye bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde, kaldırılan kalsiyum miktarları üzerine ise bitki kısımları ve demir dozlarından elde edilen değerlerin %1 düzeyinde, bunların interaksiyonlarından elde edilen değerlerin ise %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.16. Kalsiyum içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Kalsiyum (%)	Yaprak	1,61 a A	1,39 a B	1,48 a AB	1,52 a AB	1,56 a AB	1,51 a
	Kök	1,24 b A	1,07 b AB	1,02 b BC	0,94 b BC	0,85 b C	1,02 b
	Ortalama	**1,43 A**	**1,23 B**	**1,25 B**	**1,23 B**	**1,20 B**	
	A $_{AÖF<0.01}$	0,091	B $_{AÖF<0.01}$	0,144	AxB $_{AÖF<0.01}$	0,204	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Demir uygulamalarının fasulye bitkisi yapraklarının kalsiyum içeriğinde dalgalı bir seyir izlediği görülmüştür. Belirlenen en yüksek kalsiyum içeriği (%1,61) Fe1 dozundan, en düşük kalsiyum ise (%1,39) Fe2 dozundan sağlanmıştır. Köklerde ise demir uygulamaları ile kök kalsiyum içeriğinde azalma görülmüş, en yüksek kalsiyum içeriği (%1,24) Fe1 dozundan, en düşük kalsiyum ise (%0,85) Fe5 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.16).

Fasulye bitkisi yapraklarının kalsiyum içeriğinin (%1,51), köklere oranla (%1,02) daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.16).

Jones vd. (1991), Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında Ca konsantrasyonunun %1,50 – 2,50 değerleri arasında yeterli düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Bu değerler dikkate alındığında denemede Ca konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından da benzer sonuçlar bildirilmiştir.

Şimşek (2019), demir dozlarının su kültüründe artan miktarlarda uygulanmasıyla, ıspanak bitkisi yapraklarındaki kalsiyum içeriğinde azalma olduğunu ve en yüksek belirlenen kalsiyum içeriğinin (% 0,61) Fe1 (30µM) dozundan tespit edildiğini bildirmiştir.

De Souza vd. (2019), fasulye bitkisine FeO-NP gübresinin uygulanması sonucunda yeşil aksam Ca konsantrasyonunun % 25 - 26 arttığını rapor etmişlerdir. Başka bir araştırmada ise, Jalali vd. (2017), FeO-NP uygulaması yapılan mısır bitkisi dokularında Ca konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan kalsiyum miktarında kontrole oranla artış sağladığı, en yüksek kaldırılan kalsiyum miktarının (582,49 mg) Fe5 uygulamasından, en düşük kaldırılan kalsiyum miktarının (396,43 mg) ise Fe3 uygulamasından elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.17).

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisi yapraklarından kaldırılan kalsiyum miktarında artma görülmüş, kaldırılmış olan en düşük kalsiyum miktarı (584,13 mg) Fe1 dozundan, kaldırılan en yüksek kalsiyum miktarı (963,65 mg) Fe5 uygulamasından sağlanmıştır. Köklerde ise kaldırılan en düşük kalsiyum miktarı (137,24 mg) Fe3 dozundan, kaldırılan en yüksek kalsiyum miktarı (215,98 mg) Fe1 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Kaldırılan kalsiyum miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Kalsiyum (mg)	Yaprak	584,13 a C	727,61 a B	655,62 a BC	765,83 a B	963,65 a A	739,37 a
	Kök	215,98 b A	172,74 b A	137,24 b A	160,43 b A	201,33 b A	177,54 b
	Ortalama	**400,06 B**	**450,17 AB**	**396,43 B**	**463,13 AB**	**582,49 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	86,748	B $_{AÖF<0.05}$	137,161	AxB $_{AÖF<0.01}$	142,289	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı kalsiyum miktarlarının (739,37 mg), köklere oranla (177,54 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır (Çizelge 4.17).

4.7. Magnezyum içeriği ve kaldırılan magnezyum miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin magnezyum içeriğine ve kaldırdığı magnezyum miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.18'de sunulan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.19'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Magnezyum içeriği ve kaldırılan magnezyum miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F değeri**	**Tablo değeri**	
						%5	**%1**
İçerik	Faktör-A	1	6,646	6,646	485,332**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	1,202	0,300	21,945**	2,870	4,430
	A*B	4	1,656	0,414	30,235**	2,870	4,430
	Hata	20	0,274	0,014			
	Genel	29	9,778	0,337			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	2168,180	2168,180	0,289öd	4,350	8,100
	Faktör-B	4	233337,995	58334,499	7,780**	2,870	4,430
	A*B	4	85272,316	21318,079	2,843öd	2,870	4,430
	Hata	20	149968,903	7498,445			
	Genel	29	470747,394	16232,669			

Faktör-A: Bitki kısmı öd: önemli değil
Faktör-B: Demir Dozları *: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01

Çizelge 4.19. Magnezyum içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Magnezyum (%)	Yaprak	0,79 b A	0,58 b A	0,59 b A	0,61 b A	0,60 b A	0,64 b
	Kök	1,11 a D	1,26 a CD	1,39 a C	1,83 a B	2,29 a A	1,58 a
	Ortalama	**0,95 C**	**0,92 C**	**0,99 C**	**1,22 B**	**1,45 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	0,122	B $_{AÖF<0.01}$	0,192	AxB $_{AÖF<0.01}$	0,272	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisinin magnezyum içeriği üzerine; bitki kısmı, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan magnezyum miktarları üzerine demir dozlarının %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.18).

Fasulye bitkisi köklerinin magnezyum içeriğinin (%1,58), yapraklara oranla (%0,64) daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.19). Bu durum magnezyumun yapraklara taşınamayıp köklerde birikim yaptığını göstermiştir.

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin magnezyum içeriğinde kontrole oranla artış sağladığı görülmüş, en yüksek magnezyum içeriği (%1,45) Fe5 uygulamasından, en düşük magnezyum içeriği (%0,95) ise Fe1 uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.19).

Artan dozlarda demir uygulamalarına bağlı olarak fasulye bitkisi yapraklarının magnezyum içeriğinde azalma meydana gelmiş, en yüksek magnezyum içeriği (% 0,79) Fe1 dozundan, en düşük magnezyum içeriği (% 0,58) ise Fe2 dozundan sağlanmıştır. Köklerde ise en yüksek magnezyum içeriği (% 2,25) Fe5 dozundan, en düşük magnezyum içeriği (% 1,11) Fe1 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.19).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında Mg konsantrasyonunun %0.30 - 1.00 değerleri arasında olduğunda bu değerin bitkiler için

yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Bu bildiriye göre deneme bitkilerinde Mg konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır.

Başka bir çalışmada Feng vd. (2022), Buğday bitkilerine FeO-NP uygulamış ve Mg konsantrasyonunun önemli ölçüde değişmediğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, Güneş vd. (1998) hidroponik ortamda yetiştirilen domates bitkisine artan dozlarda Fe konsantrasyonlarına karşılık Mg konsantrasyonlarında düşüş olduğunu bildirmiş ve bu durum Fe ve Mg arasındaki antagonistik ilişkiyle açıklanmıştır.

Şimşek (2019), demir dozlarının su kültüründe artan miktarlarda uygulanması ile ıspanak bitkisi yapraklarındaki magnezyum içeriğinde azalışa sebep olduğunu ve en fazla belirlenen magnezyum içeriğinin (% 0,98) Fe1 (30µM) dozundan edinildiğini bildirmiştir. Denememizden elde edilen sonuçlar literatürlerle uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 4.20. Kaldırılan magnezyum miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Magnezyum (%)	Yaprak	287,87	305,52	261,98	311,14	374,63	308,23
	Kök	189,00	205,72	192,19	311,02	558,18	291,22
	Ortalama	**238,44 B**	**255,62 B**	**227,09 B**	**311,08 B**	**466,41 A**	
	A	öd	B $_{AÖF<0.05}$	142,265	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı magnezyum miktarlarının (308,23 mg), köklere oranla (291,22 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır (Çizelge 4.20).

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisinin kaldırdığı magnezyum miktarında artış görülmüş, en yüksek kaldırılan magnezyum miktarı (466,41 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan magnezyum miktarı (227,09 mg) Fe3 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.20).

Yapraklarda belirlenen en yüksek kaldırılan magnezyum miktarı (374,63 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan magnezyum miktarı (261,98 mg) ise Fe3 dozundan elde edilmiştir. Köklerde belirlenen en yüksek kaldırılan magnezyum miktarı (558,18 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan magnezyum miktarı (227,09 mg) ise Fe3 dozundan sağlanmış fakat istatistiki bakımından önemli çıkmamıştır (Çizelge 4.20).

4.8. Demir içeriği ve kaldırılan demir miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin demir içeriğine ve kaldırdığı demir miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.21'de yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.22'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin demir içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan demir miktarları üzerine bitki kısımları ve demir dozlarının %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Demir içeriği ve kaldırılan demir miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	4379408,603	4379408,603	152,067**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	648820,842	162205,210	5,632**	2,870	4,430
	A*B	4	588963,321	147240,830	5,1133**	2,870	4,430
	Hata	20	575983,292	28799,165			
	Genel	29	6193176,057	213557,795			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	1062029066,497	1062029066,49	25,552**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	629264055,325	157316013,831	3,785**	2,870	4,430
	A*B	4	447803002,737	111950750,684	2,694öd	2,870	4,430
	Hata	20	831264062,164	41563203,108			
	Genel	29	2970360186,723	102426213,335			
Faktör-A: Bitki kısmı		öd: önemli değil					
Faktör-B: Demir Dozları		*: önemli p<0,05		**: önemli p<0,01			

Fasulye bitkisi köklerinin demir içeriğinin (840,17 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (76,02 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu görülmüştür.

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin demir içeriğinde kontrole oranla artışa neden olduğu görülmüş, en fazla belirlenen demir içeriği (676,72 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan, en az belirlenen demir içeriği (270,25 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.22).

Yapraklarda en fazla belirlenen demir içeriği (88,94 mg kg^{-1}) Fe4 dozundan, en az belirlenen demir içeriği (55,32 mg kg^{-1}) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır. Köklerde belirlenen en yüksek demir içeriği (1272,76 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan, en düşük belirlenen demir içeriği (485,17 mg kg^{-1}) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Demir içeriğine etkisi

	Bitki kısmı	Demir Dozları (µM)					
		Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Demir (mg kg^{-1})	Yaprak	55,32 b A	74,78 b A	80,37 b A	88,94 b A	80,69 b A	76,02 b
	Kök	485,17 a C	603,82 a C	1042,71 a AB	796,37 a BC	1272,76 a A	840,17 a
	Ortalama	**270,25 C**	**339,30 BC**	**561,54 AB**	**442,66 ABC**	**676,72 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$ 176,333	B $_{AÖF<0.01}$ 278,807	AxB $_{AÖF<0.01}$ 394,293				

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), demirin optimum içeriğinin fasulye ve bezelye bitkilerinde 50-300 mg kg^{-1} iken, börülce bitkisinde 50 ila100 mg kg^{-1} aralığında değişim sergilediğini bildirmişlerdir. Benzer başka bir çalışma yürüten Grusak ve Vasconcelos'ın 2006 yılında yayınladıkları çalışmalarında bitkilerdeki demir içeriklerinin 50 ila 100 mg kg^{-1} aralığında değişim sergilediğini rapor etmişlerdir. Raporlanan bu değerlere göre çalışmamızdaki bitkilerin Fe konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğu görülmüştür.

Şimşek (2019), su kültüründe demirin artan miktarlarda uygulanması ile ıspanak çeşitlerinin yeşil aksamının demir içeriğinde farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Matador çeşidinden elde edilen en yüksek yaprak demir içeriğinin 116,27 mg kg^{-1} olduğunu bildirmiştir. Reis çeşidinin yapraklarında belirlenen demir içeriğinin 101,32 mg kg^{-1} olduğunu ve Greenstar çeşidi yapraklarından sağlanan demir içeriğinin ise 81,10 mg kg^{-1} belirlenen en düşük miktar olduğunu bildirmiştir.

Günlük beslenmede sağlıklı bir insanın 1 mg demiri bünyesine almasının kararında olduğu fakat besin aracılığıyla vücuda sağlanan demirin emilebilir seviyesinin yalnızca %10 olması sebebiyle günlük beslenme sonucu demirin 8 ila 10 mg aralığında dışarıdan alınması gerektiği rapor edilmiştir (Morrison 1982, Poirier ve Brode 1983, Gookin vd., 1986, Bülbül 2004). Çalışmamızda belirlenen en fazla demir içeriği (88,94 mg kg^{-1}) Fe4 dozundan (160µM) sağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında 100-150 g kadar fasulye yaprakları ile yapılan sarmanın tüketilmesi halinde günlük olarak sağlıklı bir insanın vücudundaki demir gereksiniminin karşılanabileceği öngörülmüştür.

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı demir miktarlarının (3816,03 mg), köklere oranla (15715,77 mg) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Kaldırılan demir miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Demir (mg)	Yaprak	2009,84	3933,26	3623,67	4492,17	5021,19	3816,03 b
	Kök	8873,30	9806,87	14180,63	13703,27	32014,80	15715,77 a
	Ortalama	**5441,57 B**	**6870,06 B**	**8902,17 B**	**9097,72 B**	**18517,99 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	6698,819	B $_{AÖF<0.01}$	7769,507	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Artan demir dozlarına bağlı olarak fasulye bitkisinin kaldırılan demir miktarında artma görülmüş, kaldırılan en yüksek demir miktarı (18517,99 mg) Fe5 dozundan, kaldırılan en düşük demir miktarı (5441,57 mg) Fe1 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.23).

Yapraklarda en fazla belirlenen kaldırılan demir miktarı (5021,19 mg) Fe5 dozundan, en az belirlenen kaldırılan demir miktarı (2009,84 mg kg^{-1}) ise Fe1 dozundan sağlanırken, köklerde belirlenen en fazla kaldırılan demir miktarı (32014,80 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından, en düşük kaldırılan demir miktarı (8873,30 mg kg^{-1}) ise Fe1 uygulamasından sağlanmış fakat istatistiksel bakımdan önemli çıkmamıştır (Çizelge 4.23).

4.9. Bakır içeriği ve kaldırılan bakır miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin bakır içeriğine ve kaldırdığı bakır miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.24'te yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.25'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin bakır içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan bakır miktarları üzerine bitki kısımlarının %1, demir dozlarının %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Bakır içeriği ve kaldırılan bakır miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	10534,129	10534,129	526,918**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	1110,296	277,574	13,884**	2,870	4,430
	A*B	4	758,042	189,511	9,479**	2,870	4,430
	Hata	20	399,839	19,992			
	Genel	29	12802,307	441,459			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	1480056,639	1480056,639	127,639**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	175564,414	43891,103	3,785*	2,870	4,430
	A*B	4	77580,847	19395,212	1,673öd	2,870	4,430
	Hata	20	231912,933	11595,647			
	Genel	29	1965114,834	67762,580			

Faktör-A: Bitki kısmı öd: önemli değil
Faktör-B: Demir Dozları *: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01

Çizelge 4.25. Bakır içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Bakır (mg kg^{-1})	Yaprak	8,06 b A	7,12 b A	5,29 b A	4,66 b A	4,32 b A	5,89 b
	Kök	53,27 a A	48,62 a A	54,78 a A	31,37 a B	28,79 a B	43,37 a
	Ortalama	**30,67 A**	**27,87 A**	**30,03 A**	**18,02 B**	**16,56 B**	
	A $_{AÖF<0.01}$	8,424	B	öd	AxB $_{AÖF<0.05}$	13,817	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi köklerindeki bakır içeriğinin (43,37 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (5,89 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.25).

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin bakır içeriğinde kontrole oranla azalmaya neden olduğu görülmüş, en yüksek belirlenen bakır içeriği (30,67 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan, en düşük belirlenen demir (16,56 mg kg^{-1}) ise Fe5 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.25).

Yapraklarda en yüksek belirlenen bakır içeriği (8,06 mg kg^{-1}) Fe1 uygulamasından elde edilirken en düşük belirlenen bakır ise (4,32 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından sağlanmıştır. Köklerde en yüksek belirlenen bakır içeriği (54,78 mg kg^{-1}) Fe3 dozundan, en düşük belirlenen bakır ise (28,79 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.25).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında 7-30 mg kg^{-1} değerleri arasında Cu konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerler dikkate alındığında denememizdeki Cu konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır. Bulgularımıza benzer olarak, Karaman vd. (1999) tarafından yürütülen bir çalışmada fasulye bitkisine artan konsantrasyonlarda Fe uygulamalarının yeşil aksamın Cu konsantrasyonunu azalttığı ve bu durumunun Fe ve Cu arasındaki antagonistik ilişkiden kaynaklandığı rapor edilmiştir.

Çelik vd., (2010), su kültüründe mısır bitkisine artan dozlarda K ve Fe uygulamalarıyla köklerde ve sürgünlerde Cu içeriğinde azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan bakır miktarını kontrole oranla azalttığını, en yüksek kaldırılan bakır miktarının (590,01 mg) Fe1 uygulamasından, en düşük kaldırılan bakır miktarının (383,73 mg) ise Fe4 uygulamasından elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Kaldırılan bakır miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Bakır (mg)	Yaprak	288,73	374,07	231,92	234,623	270,43	279,95 b
	Kök	891,29	788,75	731,19	532,843	676,85	724,19 a
	Ortalama	**590,01 A**	**581,41 A**	**481,56 AB**	**383,73 B**	**473,64 AB**	
	A $_{AÖF<0.01}$	0,019	B $_{AÖF<0.05}$	0,022	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi köklerinin kaldırdığı bakır miktarlarının (724,19 mg), yapraklara oranla (279,95 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.26).

4.10. Çinko içeriği ve kaldırılan çinko miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin çinko içeriğine ve kaldırdığı çinko miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.27'de yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.28'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.29'da gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin çinko içeriği üzerine; bitki kısımlarının %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan çinko miktarları üzerine ise demir dozlarının %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Çinko içeriği ve kaldırılan çinko miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F değeri**	**Tablo değeri**	
						%5	**%1**
İçerik	Faktör-A	1	14290,792	14290,792	139,178**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	851,468	212,867	2,073öd	2,870	4,430
	A*B	4	855,340	213,835	2,083öd	2,870	4,430
	Hata	20	2053,606	102,680			
	Genel	29	18051,207	622,455			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	28163,675	28163,675	0,320öd	4,350	8,100
	Faktör-B	4	1361405,408	340351,352	3,864*	2,870	4,430
	A*B	4	471893,834	117973,458	1,339öd	2,870	4,430
	Hata	20	1761695,375	88084,769			
	Genel	29	3623158,292	124936,493			

Faktör-A: Bitki kısmı öd: önemli değil
Faktör-B: Demir Dozları *: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01

Fasulye bitkisi köklerindeki çinko içeriğinin (64,85 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (21,20 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin çinko içeriğinde kontrole oranla artış görülmüş, en yüksek belirlenen çinko içeriği (50,63 mg kg^{-1}) Fe2 dozundan, en düşük belirlenen çinko içeriği (34,27 mg kg^{-1}) Fe3 dozundan elde edilmesine karşın istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Çinko içeriğine etkisi

	Bitki kısmı	Demir Dozları (µM)					
		Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Çinko (mg kg^{-1})	Yaprak	19,48	22,79	19,50	20,86	23,37	21,20 b
	Kök	69,71	78,47	69,24	47,67	59,16	64,85 a
	Ortalama	**44,59**	**50,63**	**44,37**	**34,27**	**41,26**	
$A_{AÖF<0.01}$	10,529	B		öd	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Yapraklarda en yüksek belirlenen çinko içeriği (23,37 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan, en düşük belirlenen çinko ise (19,48 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan sağlanmıştır. Köklerde en yüksek belirlenen çinko içeriği (78,47 mg kg^{-1}) Fe2 dozundan, en düşük belirlenen çinko ise (47,67 mg kg^{-1}) Fe4 dozundan sağlanmasına karşın etki istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır (Çizelge 4.28).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında 20 - 200 mg kg^{-1} aralığında Zn konsantrasyonunun bitki için yeter düzey olduğunu bildirilmiştir. Bu değerlere göre denemede bitkilerinin Zn konsantrasyonunun yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Sorgum ve soya fasulyesi bitkilerinde FeO-NP gübre uygulamasının Zn konsantrasyonunu artırdığı belirlenmiş bazı çalışmalar (Yang vd. 2020; Golshahi, 2018) sonuçlarımızı desteklemektedir. Bazı çalışmalarda Fe ile Zn arasında antagonistik ilişki olduğu rapor edilmiştir. Kobraee (2016) soya fasulyesinde, Jozedaemi vd. (2014)

fasulyede ve Güneş vd. (1998) domateste çeşitli Fe'li gübreler kullanıldığında gübrelemenin bitkinin Zn konsantrasyonunu düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan çinko miktarında kontrole oranla artış sağladığı, en yüksek kaldırılan çinko miktarının (1444,32 mg) Fe5 uygulamasından, en düşük kaldırılan çinko miktarının (891,13 mg) ise Fe3 uygulamasından elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Kaldırılan çinko miktarına etkisi

	Bitki kısmı	Demir Dozları (µM)					
		Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Çinko (mg)	Yaprak	706,79	1197,31	872,02	1060,73	1474,05	1062,18
	Kök	1215,10	1270,81	910,24	806,58	1414,58	1123,46
	Ortalama	**960,95 B**	**1234,06 AB**	**891,13 B**	**933,65 B**	**1444,32 A**	
	A	öd	B $_{AÖF<0.05}$	357,676	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Fasulye bitkisi köklerinin kaldırdığı çinko miktarlarının (1123,46 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (1062,18 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapraklarda kaldırılan en yüksek çinko miktarı (1474,05 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından, kaldırılan en düşük çinko miktarı (706,79 mg kg^{-1}) ise Fe1 uygulamasından sağlanmıştır. Köklerde kaldırılan en yüksek çinko miktarı (1414,58 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından, en düşük kaldırılan çinko miktarı (806,58 mg kg^{-1}) ise Fe4 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.29).

4.11. Mangan içeriği ve kaldırılan mangan miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin mangan içeriğine ve kaldırdığı mangan miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.30'da yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.31'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.32'de gösterilmiştir.

Fasulye bitkisinin mangan içeriği üzerine; bitki kısımlarından elde edilen değerlerin %1, demir dozlarından elde edilen değerlerin %5 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan mangan miktarları üzerine bitki kısımları ve demir dozlarından elde edilen değerlerin %1, bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin ise %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.30).

Fasulye bitkisi köklerindeki mangan içeriğinin (126,89 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (70,85 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.30. Mangan içeriği ve kaldırılan mangan miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	S.D.	K.T.	K.O.	F değeri	Tablo değeri	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	23553,052	23553,052	38,787**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	7491,080	1872,770	3,084*	2,870	4,430
	A*B	4	6826,919	1706,730	2,811öd	2,870	4,430
	Hata	20	12144,888	607,244			
	Genel	29	50015,939	1724,688			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	11321979,034	11321979,034	33,884**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	10546315,909	2636578,977	7,891**	2,870	4,430
	A*B	4	4675716,830	1168929,208	3,498*	2,870	4,430
	Hata	20	6682734,141	334136,707			
	Genel	29	33226745,915	1145749,859			

Faktör-A: Bitki kısmı öd: önemli değil
Faktör-B: Demir Dozları *: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01

Çizelge 4.31. Mangan içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Mangan (mg kg^{-1})	Yaprak	62,45	76,37	83,02	70,17	62,24	70,85 b
	Kök	88,59	95,78	138,80	166,10	145,18	126,89 a
	Ortalama	**75,52 C**	**86,08 BC**	**110,91 AB**	**118,14 A**	**103,71 ABC**	
A $_{AÖF<0.01}$		25,605	B $_{AÖF<0.05}$	29,698	AxB	öd	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin mangan içeriğinde kontrole oranla önce artışa sonrasında azalmaya neden olduğu görülmüş, en yüksek mangan içeriği (118,14 mg kg^{-1}) Fe4 dozundan elde edilirken en düşük mangan içeriği (75,52 mg kg^{-1}) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.31).

Yapraklarda en yüksek mangan içeriği (83,02 mg kg^{-1}) Fe3 uygulamasından elde edilirken en düşük mangan ise (62,24 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından sağlanmıştır. Köklerde en yüksek mangan içeriği (166,10 mg kg^{-1}) Fe4 dozundan, en düşük mangan ise (88,59 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan elde edilmiştir (Çizelge 4.31).

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisinin genç yapraklarında 50-300 mg kg^{-1} aralığında Mn konsantrasyonunun yeterli düzey olduğunu bildirmişlerdir. Bu düzeye göre bitki dokularındaki Mn konsantrasyonunun yeterli miktarda olduğu saptanmıştır.

Feng vd. (2022) tarafından yürütülen çalışmada buğday bitkisine FeO-NP gübre uygulaması yapılmış ve bitkideki Mn konsantrasyonunun azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca Mortvedt (1991), Mn ve Fe arasında antagonistik ilişki olduğunu bildirmiştir. Bu ilişkinin Fe konsantrasyonunun toksik seviyede olması veya seyrelme etkisi nedeniyle olabileceği de rapor edilmiştir. Güneş vd. (1998) domates bitkisine ve Ghasemi-Fasaei vd. (2005), nohut bitkisine çeşitli Fe içerikli gübrelerin uygulanmasının bitkinin Mn içeriğini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Araştırmacılar değerlerdeki bu düşüşün sebebinin Mn ve Fe arasındaki rekabet olduğunu bildirmişlerdir.

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı mangan miktarlarının (3466,44 mg), köklere oranla (2237,78 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Uygulanan demir dozlarının fasulye bitkisinin kaldırılan mangan miktarını kontrole oranla arttırdığı görülmüştür. En yüksek kaldırılan mangan miktarı (3664,17 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan mangan miktarı (1863,68 mg) Fe1 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Kaldırılan mangan miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Mangan (mg)	Yaprak	2253,14 a B	4020,33 a A	3669,31 a A	3565,04 a A	3824,37 a A	3466,44 a
	Kök	1474,22 a C	1552,31 b C	1858,40 b BC	2800,00 a AB	3503,96 a A	2237,78 b
	Ortalama	**1863,68 B**	**2786,32 AB**	**2763,85 AB**	**3182,52 A**	**3664,17 A**	
	A $_{AÖF<0.01}$	600,628	B $_{AÖF<0.01}$	949,677	AxB $_{AÖF<0.05}$	985,181	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Yapraklarda belirlenen en yüksek kaldırılan mangan miktarı (3824,37 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan mangan miktarı (2253,14 mg) ise Fe1 dozundan, köklerde belirlenen en yüksek kaldırılan mangan miktarı (3503,96 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan mangan miktarı (1474,22 mg) ise Fe1 dozundan sağlanmıştır.

4.12. Bor içeriği ve kaldırılan bor miktarı

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin bor içeriğine ve kaldırdığı bor miktarına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.33'te yer alan varyans analiz tablosunda sunulmuştur. Uygulamalardan elde edilen veri ortalamaları ve Asgari Önemli Fark (AÖF) testi gruplandırmaları Çizelge 4.34'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve AÖF testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.35'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Bor içeriği ve kaldırılan bor miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları

	V.K.	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F değeri**	**Tablo değeri**	
						%5	%1
İçerik	Faktör-A	1	265,697	265,697	80,370**	4,350	8,100
	Faktör-B	4	455,104	113,776	34,416**	2,870	4,430
	A*B	4	166,998	41,749	12,629**	2,870	4,430
	Hata	20	66,118	3,306			
	Genel	29	953,917	32,894			
Kaldırılan miktar	Faktör-A	1	2256095,695	2256095,695	113,585**	4,380	8,180
	Faktör-B	4	188186,642	47046,660	2,369öd	2,900	4,500
	A*B	4	274011,677	68502,919	3,449*	2,900	4,500
	Hata	19	397252,634	19862,632			
	Genel	28	3115546,647	107432,643			

Faktör-A: Bitki kısmı öd: önemli değil
Faktör-B: Demir Dozları *: önemli p<0,05 **: önemli p<0,01

Fasulye bitkisinin bor içeriği üzerine; bitki kısımları, demir dozları ve bunların interaksiyonundan elde edilen değerlerin %1 düzeyinde önemli bulunduğu, kaldırılan bor miktarları üzerine bitki kısımlarının %1, interaksiyonundan elde edilen değerlerin %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.33).

Fasulye bitkisi köklerindeki bor içeriğinin (27,75 mg kg^{-1}), yapraklara oranla (21,79 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.34).

Demir uygulamalarının fasulye bitkisinin bor içeriğinde kontrole oranla azalmaya neden olduğu görülmüş, en yüksek bor içeriği (30,45 mg kg^{-1}) Fe1 uygulamasından, en düşük bor içeriği (19,27 mg kg^{-1}) Fe5 uygulamasından sağlanmıştır (Çizelge 4.34).

Yapraklarda belirlenen en yüksek bor içeriği (30,35 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan, en düşük bor içeriği (14,91 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan sağlanmıştır. Köklerde ise en yüksek bor içeriği (30,56 mg kg^{-1}) Fe1 dozundan, en düşük bor içeriği (23,63 mg kg^{-1}) Fe5 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Bor içeriğine etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Bor (mg kg^{-1})	Yaprak	30,35 a A	23,78 b B	24,69 a B	15,25 b C	14,91 b C	21,79 b
	Kök	30,56 a A	29,82 a AB	26,31 a BC	28,41 a AB	23,63 a C	27,75 a
	Ortalama	**30,45 A**	**26,80 B**	**25,50 B**	**21,83 C**	**19,27 C**	
	A $_{AÖF<0.01}$	1,889	B $_{AÖF<0.01}$	2,987	AxB $_{AÖF<0.01}$	4,224	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Jones vd. (1991) ve Karaman (2012), fasulye bitkisi genç yapraklarında bor düzeyinin 5.00 - 6.00 mg kg^{-1} değerleri arasında bitkiler için yeterli düzey olarak bildirmişlerdir. Denemede bitkilerin bor konsantrasyonları 14,91 – 30,35 mg kg^{-1} arasında değişmekle birlikte bu değerler literatürde belirtilen verilere göre daha yüksek bulunmuş bu durumun örnekleme zamanı ve örnek alınan organ farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şimşek (2019), su kültüründe artan miktarlarda uygulanan demir dozlarının, ıspanak bitkisinin yapraklarındaki bor kapsamında artış sağladığını ve yapraklardaki en yüksek bor kapsamının uygulanan (44,58 mg kg^{-1}) Fe4 (120µM) dozundan elde edildiğini bildirmiştir. Denememizden elde edilen sonuçlar literatürlerle uyumlu bulunmuştur.

Fasulye bitkisi yapraklarının kaldırdığı bor miktarlarının (1030,14 mg), köklere oranla (481,67 mg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yaprak kuru maddesinin köke oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır. En yüksek kaldırılan bor miktarı (866,51 mg) Fe2 dozundan, kaldırılan en düşük bor miktarı (628,02 mg) Fe4 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.35. Kaldırılan bor miktarına etkisi

		Demir Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	**Ortalama**
Bor (mg)	Yaprak	1083,06 a AB	1248,19 a A	1106,13 a AB	775,16 a C	938,15 a BC	1030,14 a
	Kök	521,22 b A	484,83 b A	355,80 b A	480,88 b A	565,63 b A	481,67 b
	Ortalama	**802,14**	**866,51**	**730,97**	**628,02**	**751,90**	
	A $_{AÖF<0.01}$	146,441	B	öd	AxB $_{AÖF<0.05}$	240,200	

A: Bitki kısmı; B: Demir Dozları; AxB: Bitki kısmı x Demir dozları interaksiyonu
Yatay karşılaştırma büyük harflerle, düşey karşılaştırma küçük harflerle yapılmıştır

Yapraklarda en yüksek kaldırılan bor miktarı (1248,19 mg) Fe2 dozundan, kaldırılan en düşük bor miktarı (775,16 mg) ise Fe4 dozundan, köklerde en yüksek kaldırılan bor miktarı (565,63 mg) Fe5 dozundan, en düşük kaldırılan bor miktarı (355,80 mg) ise Fe3 dozundan sağlanmıştır (Çizelge 4.35).

5. SONUÇ

Hidroponik ortama artan miktarlarda Fe dozlarının uygulanması ile gerçekleştirilen bu çalışmada; fasulye bitkisinin ihtiyacı olan Fe besin elementi miktarının belirlenmesi ve bu uygulamanın fasulye bitkisinin gelişimine, verimine, mikro ve makro besin elementi içeriğine ve kaldırılmış olan miktarları üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Deneme konusu fasulye bitkisinin yeşil aksam ve kök kuru madde verimi üzerine artan miktarlarda uygulanan demir dozlarının olumlu yönde etkisi görülmüş en yüksek kuru madde değeri demirin en yüksek dozundan Fe5 (200 µM) sağlanmıştır. Yaprak kuru maddesinin kök kuru maddesine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Artan dozlarda çözeltiye demir uygulamasıyla yeşil aksamdaki Fe ve Zn'nun konsantrasyonu artarken, N, P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Mn ve B'un konsantrasyonunda azalma görülmüştür. Artan konsantrasyonlarda demir uygulamaları ile birlikte kökün başta Fe olmak üzere, P, K, Na, Mg ve Mn içeriği de artmış, ancak kökün N, Ca, Cu, Zn ve B içeriklerinde azalma görülmüştür. Kalsiyum haricinde diğer elementlerin konsantrasyonları yeşil aksama oranla kökte daha fazla bulunmuştur.

Demir uygulamalarına bağlı olarak bitkideki olumlu gelişmeyle Cu ve B haricinde diğer besin elementlerinin yeşil aksam tarafından kaldırılan miktarları artış göstermiştir. Azot, Ca ve Cu elementleri haricinde diğer elementlerin köklerle kaldırılan miktarlarında da artış gözlenmiştir.

Elementlerin kuru madde ile kaldırılan miktarları değerlendirildiğinde N, P, K, Na, Ca, Mn, Mg ve B'un yapraktaki miktarları daha fazla bulunmuş, ancak Fe, Cu ve Zn köklerden daha fazla kaldırılmıştır.

Demir ve kimi makro ve mikro elementler arasındaki antagonistik ilişkiler nedeniyle, demirin köklerde yüksek miktarda bulunması; bu elementlerin yapraklara taşınamamasına ve köklerde birikmesine neden olmaktadır.

Yapılan denemede fasulyenin içermiş olduğu demir miktarı insan sağlığı için gerekli demiri karşılayabilecek potansiyelde görülmektedir. Demirin dördüncü uygulama dozunda Fe4 (160 µM) elde edilen demir içeriği 88,94 mg kg^{-1} bulunmuş, bu konsantrasyonda yetiştirilen fasulye bitkisinin 100-150 g kadarıyla sarma yapılarak tüketimi insanların ihtiyacı olan bir günlük demir potansiyelini karşılayabilecek durumda olduğu görülmüştür. Denemede Fe5 (200 µM) dozuna kadar bitki gelişiminin olumlu olması ve Fe4 (160 µM) dozuna kadar demir elementinde artış olmasına rağmen, diğer besin elementleri alımını olumsuz etkilemesi nedeniyle demir uygulamasında limit doz bulunması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre fasulye bitkisi için Fe3 (120 µM) demir dozunun ideal olabileceği sonucu ortaya konulmuştur.

KAYNAKÇA

Açıksöz, S., Yazici, A., Ozturk, L., Cakmak, I. (2011). Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. Plant and Soil, 349 (1–2): 215-225.

Adak, M.S., (2014). Türkiye'de yemeklik baklagillerin önemi, üretimi ve izlenen politikalar. Tarım ve Mühendislik, 103, 24-30

Adams, M.V., Coyne, D.P., Davis, J.H.C., Grahaw, P.H., Francia, C.A., 1985. Grain Legumes Crops.Collins, London. 478.

Akçın, A. (1973). Erzurum Şartlarında Yetiştirilen Kuru Fasulye Çeşitlerinde Gübreleme, Ekim Zamanı ve Sıra Aralığının Tane Verimine Etkisi . Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(2), 65-76.

Albayrak, M., (2015). Çoçuklarda Demir ve Vitamin B12 Eksikliği. Türk Pediatrik Hematoloji Derneği Dergisi, Kasım 2015 S.5-13.

Aly, S.M. ve Soliman, M., (1998). Impact of Some Organic Acids On Correcting Iron Chlorosis in Two Soybean Genotypes Grown in Calcareous Soil.Nutrient Cycling in Agroecosystems 51: 185 191.

Andrews, N., Ullrich, C.K., Fleming, M.D. (2009). Disorders of iron metabolism and sideroblastic anemia. In: Nathan DG, Orkin SH, Ginsburg D, Look AT (eds). Hematology of Infancy and Childhood (7th ed) Philadelphia: Saunders, 2009: 521-70.

Başar, H. (2002). Yapraktan Uygulanan Değişik Bileşiklerin Soya Fasulyesinin Demirle Beslenmesine Etkisi. Uludağ. Üniv. Zir. Fak. Derg. 16-15-27.

Başar, H. ve Taban, E., (2001). Değişik Demir Bileşikleri'nin ve Uygulama Yöntemlerinin Soya Fasulyesinin Demir İçeriği ve Gelişimi Üzerine Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi 7(4) 57- 61.

Bayrak, M. B., ve Dağhan, H. (2023). Demir Oksit Nanopartikül (FeO-NP) Uygulamasının Topraksız Kültürde Yetiştirilen Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Bitkisinin Büyümesi Üzerine Etkileri. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, *7*(4), 759-777.

Beşiroğlu, A. (1988). Bitkilerde ortaya çıkan demir noksanlığı ile bitkilerin aktif demir ve toplam demir kapsamları arasındaki ilişkiler (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Brear, EM., David, AD. and Smith, PMC. (2013). Iron: an essential micronutrient for the legume-rhizobium symbiosis. Frontiers in Plant Science, doi: 10.3389/fpls.2013.00359

Bremner, J.M., (1965). Total Nitrogen. Methods of Soil Analysis, Part 2. ed. C.A. Black, American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 1149-1178.

Briat, J. F., Dubos, C., Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends in Plant Science, 20 (1): 33-40.

Bülbül, S.H, (2004). İnsan Beslenmesinde Demir'in Yeri ve Önemi. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi. Cilt 13, Sayı 12,s.447.

Chakralhoseini, M.R., A. Ronaghi, M. Mafton, N.A., Kariman, (2002). Soybean response to application of iron and phosphorus in a calcereous soil. Science and Technology Journal of Agriculture and Natural Resources 6 (4): 91-101.

Chopde N, Nehare N, Maske S.R, Lokhande, S. Bhute, P.N, (2015). Effect of foliar application of zinc and iron on growth, yield and quality of gladiolus, Plant Archives 15: 417-419.

Çakmak, I., (2008). Enrichment of Cereal Grains With Zinc. Agronomic or Genetic Biofortification. Plant and Soil., 302:1–17.

Çakmak, İ., (2002). Plant nutrition Research: Priorities to Meet Human Needs for Food in Sustainable Ways. Plant and Soil 247: 3-24.

Çelik, H. ve Şimşek, O. (2018). Bursa İlinde Ispanak (*Spinacia Oleracea* L.) Yetiştiriciliği Yapılan Toprakların Verimlilik Durumlarının Bitki ve Toprak Analizleri ile Değerlendirilmesi. International Agricultural Congress 3-6 Mayıs 2018, Komrat/ Gagauzya/ Moldova. Abstarct Book. S.240.

Çelik, H., and Katkat, A.V. (2007). Some physical soil properties and potassium as an intensified factor on iron chlorosis. Int. Soil Sci., 2(4): 294-300.

Çelik, H., Katkat, A.V., (2005). Bursa ili şeftali yetiştiriciliği yapılan tarım topraklarının potasyum durumu ve demir klorozu ile ilişkisi. Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi Çalıştayı, 3-4 Ekim, Eskişehir, s.74-84.

Çelik, H., (2006). Bursa İli Topraklarının Alınabilir Demir Durumu ve Bu Topraklarda Alınabilir Demir Miktarının Belirlenmesinde Kullanılabilecek Yöntemler. Doktora Tezi. Bursa. 2006.

Çelik, H., B.B. Aşik, S. Gürel and A.V. Katkat, (2010). Potassium as an intensifying factor for iron chlorosis. Int. J. Agric. Biol., 12: 359– 364

Çelik, H. ve Urhan, G. (2020). Keles yöresi kiraz bahçelerinin beslenme durumlarının toprak, yaprak ve meyve analizleri ile değerlendirilmesi. Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg., 34(1), s. 185-200.

Çelik, H., Turan, M. A., Aşık, B. B. ve Katkat, A. V. (2017). Evaluation of analytical methods for boron determination in maize shoots. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48(21), 2573-2581.

Çelim, S., (2018). Farklı Demir Formlarının Kadmiyum Bulaştırılmış Yetiştirme Ortamında Fasulye (*Phaseoulus Vulgaris* L. Var. Nana) Bitkisinin Gelişimine, Besin Elementi ve Kadmiyum Alımına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi

Demir, M., ‘’Patateste (*Solanum tuberosum* L.) Demir Gübrelemesinin Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Üzerine Etkileri’’. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Niğde. 2017.

De Souza, A., Govea-Alcaide, E., Masunaga, S.H., Fajardo-Rosabal, L., Effenberger, F., Rossi, L.M., Jardim, R.D.F., (2019). Impact of Fe3O4 nanoparticle on nutrient accumulation in common bean plants grown in soil. SN Applied Sciences, 1(4): 1-8.

Dukpa P., Chatterjee R., Subba S. K. (2017). Soil and foliar iron fertilization on terrestrial Water spinach (Ipomoea reptans) for biofortification. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6 (6): 1327-1330.

Erduran, E., Özbek, N., (2015). Çoçuklarda Demir ve Vitamin B12 Eksikliği. Türk Pediatrik Hematoloji Derneği Dergisi, Kasım 2015 S.1-27.

Eriş, A., (1985). Bahçe Bitkileri Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu No:11.S:118.

Evans, A., Gridley, H.E., (1979). Propect for the Improvement of Protein and Yieldin Food Legumes, Curr. Advances in plant sciences, 32, 1-47.

Eyüpoğlu, F., Kurucu, N., Talaz, S., (1998). Türkiye Topraklarının Bitkiye Yarayışlı Mikroelementler Bakımından Genel Durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Ens. Müd. Genel Yayın: 217, Seri No: R-133, Ankara.

Feng, Y., Kreslavski, V.D., Shmarev, A.N., Ivanov, A.A., Zharmukhamedov, S.K., Kosobryukhov, A., Yu, M., Allakhverdiev, S.I., Shabala, S., (2022). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe3O4) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (Triticum aestivum) plants. Plants, 11(14): 1894 (1-15).

Gautam, C.S., Saha, L., Sekhri, K., and Saha, P.K., (2008). Iron deficiency in pregnancy and the rationality of iron supplements prescribed during pregnancy. Medspace J. Medicine, 10(12): 283.

Gebts, P., Beavis, W., Brummer, E. (2005). Legumes as a model plant family. Genomics for food and feed report of the Cross-Legume Advances Through Genomics Conference. Plant Physiol, 137(4):1228-35.

Ghasemi-Fasaei, R. ve Ronaghi, A. (2008). Kireçli Bir Topraktaki Demir ve Manganez Tarafından Etkilenen Buğdaydaki Demirin Bakır, Çinko ve Manganez ile Etkileşimi. *Bitki Beslenmesi Dergisi , 31* (5), 839–848. https://doi.org/10.1080/01904160802043148

Ghasemi-Fasaei, R., Ronaghi, A., Maftoun, M., Karimian, N.A., Soltanpour, P.N., (2005). Iron-manganese interaction in chickpea as affected by foliar and soil application of iron in a calcareous soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(13-14): 1717-1725.

Golshahi, S., Ahangar, A.G., Mir, N., Ghorbani, M., (2018). A comparison of the use of different sources of nanoscale iron particles on the concentration of micronutrients and plasma membrane stability in sorghum. Journal of soil science and plant nutrition, 18(1): 236 252.

Gookin, K., Morrison, J.C., (1986). Anemia associated with prengnancy in: Sciarra Gynecology and Obstetrics (Rev. Ed). Sciarra J.J. (Ed). Vol:3 Phildelphia Harper – Row Publishers 1986 Chap 16.

Gül, M., H. Işık. (2002). Dünyada ve Türkiye'de Baklagil Üretim ve Dış Ticaretindeki Gelişmeler. MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7 (1-2): 59-72.

Gülümser, A. (2016). Dünyada ve Türkiye'de yemeklik dane baklagillerin durumu. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25(ÖZEL SAYI-1), 292-298.

Gülümser, A., Bozoğlu, H., Peksen, E. (2013). FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L.). Samsun: Omu.edu.

Güneş, A., Alpaslan, M., Inal, A., (1998). Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown plants. Journal young of nutrition, 21(10): 2035-2047.

Güneş, A., M. Alparslan ve A. İnal. (2000). Bitki Beslenme ve Gübreleme. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayın No: 1514, Ders kitabı: 467, Ankara.

Hanlon, E.A., (1998). Elemental Determination by Atomic Absorption Spectrophotometry, ed. Karla, Y.P., Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, CRC Pres, Washington, D.C., p.157.

Heitholt, J.J., Sloan, J.J., MacKown, C.T., Cabrera, R.I., (2003). Soybean growth on calcareous soil as affected by three iron sources. Journal of Plant Nutrition, 26(4): 935-948.

Hell R, Stephan UW. (2003). Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. Planta 216: 541-551

Hewitt, E.J., Bolle-Jones, E.W., (1953). Studies in iron deficiency of Crops: II. The Interrelationships of Iron and Potassium in the Potato Plant. Journal of Horticultural Science, 28(3): 185-195.

Horneck, D.A., Hanson, D., (1998). Determination of Potassium and Sodium by Flame Emission Spectrophotometry, ed. Karla, Y.P., Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, CRC Pres, Washington, D.C., p. 157-164.

Hu, J., Guo, H., Li, J., Gan, Q., Wang, Y., and Xing, B. (2017). Comparative impacts of iron oxide nanoparticles and ferric ions on the growth of Citrus maxima. Environmental pollution, 221, 199-208.

Jalali, M., Ghanati, F., Modarres-Sanavi, A.M., Khoshgoftarmanesh, A. H., (2017). Physiological effects of repeated foliar application of magnetite nanoparticles on maize plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 203(6): 593-602.

Jeyasubramanian, K., Thoppey, U. U. G., Hikku, G. S., Selvakumar, N., Subramania, A., and Krishnamoorthy, K. (2016). Enhancement in growth rate and productivity of spinach grown in hydroponics with iron oxide nanoparticles. Rsc Advances, 6(19), 15451 15459.

Jin C. W., Liu Y., Mao Q. Q., Wang Q., Du S. T. (2013). Mild Fe-deficiency improves biomass production and quality of hydroponic-cultivated spinach plants (Spinacia oleracea L.). Food chemistry, 138 (4): 2188-2194.

Jones, Jr, J.B., Wolf, B., Mills, H.A., (1991). Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc.

Jozedaemi, E., Golchin, A., Bibalani, G.H., (2014). The effect of soil and foliar fertilization with iron on yield and leaf chemical composition of four spotted bean cultivars in a calcareous soil. Greener Journal of Biological Sciences, 4(4): 116-127.

Kacar, B., Katkat, A. V., Öztürk, Ş., (2006). Bitki Fizyolojisi, (2. baskı). Nobel Yayınları, Ankara.

Kacar, B., Katkat, V. (1998). Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 127. Vipaş Yayınları No: 3, Bursa.

Kacar, B., Katkat, V., Öztürk, Ş., (2010). Bitki Fizyolojisi. Nobel Yayınları, 848: 225-285, Ankara.

Kacar, B., (1977): Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 637. Ders Kitabı: 200, Ankara Üniversitesi Basımevi-Ankara 1977, X-317 s.

Kan, M., Kan, A., Sözen, Ö., Karadavut, U., ve Yağmur, M. (2019a). Evaluation of The Farms Producing Dry Bean Landraces By Capital Approach in The Middle Kızılırmak Valley of Turkey–CORRIGENDUM. Plant Genetic Resources, 17(5), 469-469.)

Karaman, M.R., Brohi, A.R., Inal, A., Taban, S., (1999). Effect of iron and zinc applications on growth and on concentration of mineral nutrients of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in artificial siltation soils. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23(2): 341 348.

Karaman, Mehmet Rüştü. Bitki Besleme. Pelin Ofset Matbaacılık, (2012).

Khush, G.S., Lee, S.C., Cho Jung, I., and Jeon, J.S. (2012). Biofortification of crops for reducing malnutrition. Plant Biotech. Rep., 6(3): 195 – 202.

Kılıç, T. (1997). Türkiye'de Yemeklik Baklagil Üretim Tüketim Ticaret ve Dışsatım Pazarlama Yapısı. Çukurova Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, s: 82.

Kobraee, S., (2016). Effect of zinc, iron and manganese fertilization on concentrations of these metals in the stem and leaves of soybean and on the chlorophyll content in leaves during the reproductive development stages. Journal of Elementology, 21(2): 395 412.

Krouma, A. and Abdelly, C., (2003). Importance of Iron Use-Efficiency of Nodules in Common Bean (*Phaseolus vulgaris L*.) for Iron Deficiency Chlo rosis Resistance. J. Plant Nutr. Soil. Sci. 166. 525- 528.

Li Chun-xia, Cai Tie, Guo Hai-yan, Han Qing-fang, Zong Yu-zheng, Ding Rui-xia, Jia Zhi kuan, Kamran Muhammad and Melville J.L. (2017) ‘’Effect of Foliar Ferrous Sulphate Application on Alfalfa (Medicago sativa L.) Leaf Fe Content, Photosynthetic Capacity and Yield’’. Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal, Vol. 16 No. 3, pp. 765-773, (2017).

Lucas, R.L. and Knezek, B.D., (1972). Climatic and Soil Conditions Promoting Micronutrient Deficiencies in Plants. In “Micronutrients in Agriculture”. Soil Sci. Soc. of america, Madison, USA 12, 265-288.

Lucena, J.J., (2000). Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. J. Plant Nut., 23(11-12): 1591 – 1606.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants 2nd Academic pres Ltd. 24-28 oval rood, London NW 1710 X.

Mengel, K. (1988). Ernaehrung und stoffwechsel der pflanze. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

Moraghan. J.T.. Padilla. J.. Etchevers. J.D.. Grafton. K and Acosta-Gallegos. J.A.. (2002). Iron Accumu lation in Seed of Common Bean. Plant and Soil 246 (2): 175-183.

Morrison J.C. (1982). Anemians in Pregnancy in manuel of clinical problemes in Obstetrics an Gynecology (3 rd. ed) Rivilin M.E., Morrison J.C., Bates W.G., (Ed). Boston Little Brown and Company 1982 p:103.

Mortvedt, J.J., (1991). Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: Present technologies and future prospects. Plant and Soil, 130(1-2): 273 279.

Muñoz M, García-Erce JA, Remacha ÁF. Disorders of iron metabolism. Part 2: Iron deficiency and iron overload. J Clin Pathol (2011); 64: 287-296.

Murgia, I., Arosio, P., Tarantino, D., Soave C., (2012). Biofortification for combating 'hidden hunger' for iron. Trends-in-Plant-Sci., 17(1):47-55.

Nelson, S.D.A. Wallace and J.C. Brown (1982). Iron nutrition and interactions in plants. J. Plant Nutrition 5 (4-7): 229-301.

O'hara, G.W., Dilworth, M.J., Boonkerd , N. and Parkpion, P., (1988) . Iron Deficiency Specifically Limits Nodule Devolopment In Peanut Inoculated With Bradyrhizobium sp.New Phytol. 108: 51-57.

Ohwaki, Y., Kraokaw, S., Chotechuen, S., Egawa Yand Sugahara, K., (1997). Difference in Res ponses to Iron Deficiency Among Various Culti vars of Mungbean (Vigna radiata L.) Wilczek. Plant and Soil 192: 107-114.

Özdemirli M.N., (2023), Yoncada (Medicago Sativa L.) Demir Gübrelemesinin Verim ve Bazı Tarımsal Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, NÖHÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2023.

Özkan G., (2009), Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Madddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsüsü, Gebze, 9,12-22.

Pingoliya, K. K., Dotaniya, M. L., Lata, M. (2014). Effect of iron on yield, quality and nutrient uptake of chickpea (Cicer arietinum L.). African Journal of Agricultural Research, 9 (37): 2841-2845.

Poirier, K.Y., Brode K.Y., (1983). Hematologic Complicatinos in Pregnancy in manuel of obstetrics (2nd.. ed) Niswander K.R. (Ed). Boston Little Brown and Company 1983 p:57.

Pushnick, J.C. and Miller, G. W., (1989). Iron Regula tion of Chloroplast Photosynthetic Function: Mediation of PSI development. J. Plant Nutr. 12: 407-421.

Rahman, M.A., Ahmed, M.B., Alotaibi, F. et.al '' Growth and physiological impairments in Fe-starved alfalfa are associated with the downregulation of Fe and S transporters along with redox imbalance''. Chem. Biol. Technol. Agric. 8, 36, (2021)

Raju, D., Mehta, U. J., and Beedu, S. R. (2016). Biogenic green synthesis of monodispersed gum kondagogu (Cochlospermum gossypium) iron nanocomposite material and its application in germination and growth of mung bean (Vigna radiata) as a plant model. IET nanobiotechnology, 10(3), 141-146.

Rashid, M.H., Fardous Z., Chowdhury M.A.Z., Alam M.K., Rahman M.A. and Jahan M.A.U.I. (2015). Micronutrients analysis in eggplant, spinach and water of Tangail district in Bangladesh. Adv. Biochem. Biotech., 1(1): 1 – 13.

Sadıqpoor, M. A. (2021). Soyada (Glycine max.(L.) merr.) demir şelat (FeEDDHA) uygulama yöntemlerinin verim ve bazı tarımsal özellikler üzerine etkisi (Master's thesis, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).

Sağlam, S., Çiftçi. C.Y., Khawar, K.M., Atak, M., Özcan, S., (2005). In Vitro Koşullarda Fasulye Bitkisine Dört Yapraklı Aşamada Transformasyon Çalışmaları. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(2), 291-294.

Schenkeveld, W.D., Reichwein, A.M., Bugter, M.H., Temminghoff, E.J. and van Riemsdijk, W.H., "Performance of soil-applied FeEDDHA isomers in delivering Fe to soybean plants in relation to the moment of application", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(24), 12833-12839, (2010).

Schubert, S., (2006). Pflanzenernahrung Grundwissen Bachelor, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Singh, S.P., Singh S., Kumar V., Kumar R.R. and Singh M. (2018). Effect of Integrated Nutrients Management and Iodine Fertilization on Sulphur Content in Spinach (Spinacia oleracea L.) Int. J. Current Microbiol. App. Sci., 7(2): 2355 – 2361.

Sözen, Ö., Özcelik, H., ve Bozoglu, H. (2014a). A Research on Some Agronomic Properties of Colored Bean. Journal of Selcuk University Natural and Applied Science, 3(4), 61-74.

Sözen, Ö., Özçelik, H., ve Bozoğlu, H. (2014b). Domestic Bean *Phaseolus vulgaris* L. Populations Collected From Middle BlackSea Region Are A Research On Biodiversity. ADYUTAYAM Dergisi, 2(1), 1-14.

Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., Pisante , M. (2017). Multiple Benefits of Legumes for Agriculture Sustainability. An Overview. Chem. Biol. Technol. Agric, 4: 2.

Şehirali, S., (1988). Yemeklik Tane Baklagiller. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1089 Ankara. 435.

Şenlikoğlu, G., (2015). Organik Materyal İlavesi ve Azotlu Gübre Uygulamalarının Ispanak Bitkisinin (Spinacia oleracea L.) Gelişimi ve Nitrat Akümülasyonuna Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Ordu.

Tunç, B. (2008). Çocuklarda demir eksikliği anemisi. Türkiye Çocuk Hast. Derg., 2(2), 43-57.

Uysal, Z., (2004). Demir Emilimi. Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Pediatri Günleri II-Demir ve Çocuk Sempozyumu, 11 Mayıs 2004,Kırıkkale Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1995 11: 143-153.

Uzun, F. (2019). Kireçli toprakta yetiştirilen siyez (T. monococcum) buğdayının çinkolu ve demirli gübre ihtiyacının belirlenmesi

Vasconcelos, M. And Grusak, M.A., (2006). Status and future developments involving plant iron in animal and human nutrition. In: Iron Nutrition In Plants and Rhizospheric Microorganisms. Eds. L. L. Barton and J.Abadia. Ppringer. pp.1-22.

Wallace, A., and Lunt, O. R. (1960). Iron chlorosis in horticultural plants, a review.

Wallace, D. F. (2016). The regulation of iron absorption and homeostasis. Clin Biochem Rev, 37(2), 51-62.

Wallihan, E.F., (1966). Iron, In "Diagnostic Criteria for Plants and Soils". Univ. Of California 15, 203-212.

Welch, R.M., (2002), The impact of mineral nutrients in food crops on global human health, Plant and Soil, 247:83–90 pp.

Welch, R.M., Graham, R.D., (2004). Breeding For Micronutrients in Staple Food Crops From a Human Nutrition Perspective. J. Exp. Bot. 55: 353–364.

Yang, X., Alidoust, D., Wang, C., (2020). Effects of iron oxide nanoparticles on the mineral composition and growth of soybean (Glycine max L.) plants. Acta Physiologiae Plantarum, 42(8): 1-11.

Yetim, S., (2008). GAP Bölgesi Harran Ovası koşullarında azot gübrelemesinin ikinci ve ürün demir soya verimine ve bazı kalite kriterlerine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yılmaz, F., Harmankaya, M., Gezgin, S. (2012). The effects of different iron compounds and TKİ-Hümas treatments on iron uptake and growth of spinach. Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi, 2012 (1): 217-231.

Yurdakök, K. And İnce, O.T. (2009). Approaches to prevent iron deficiency anemia in children. Çocuk Sağlığı Hastalıkları Dergisi, 52(4): 224 – 231.

Zohlen, A., (2002). Chlorosis in Wild Plants: Is It a Sign of Iron Deficiency? Journal of Nutrition Vol: 25 Issue:10 p: 2205-2228.

Zuo, Y., Zhang, F., (2011). Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops.Plant and Soil,339(1):83-95.