

Investigation of the Enrichment Coefficient for Cu, Fe, Mn and Ni Elements in *Prunus armeniaca* L. Plant, Hekimhan – Hasançelebi (Malatya)

Güllü Kırat ^{a,1}, Esra Ünal Çakır ^b

^a Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering, Yozgat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1167-0574

^b Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering, Yozgat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4196-4303

Abstract

Hasançelebi iron (Fe) deposit is located in Hekimhan district of Malatya province. Plants can take up the elements found in the soil they grow on and accumulate them in different organs. Such plants are effectively used in the exploration of mineral deposits and environmental pollution research. For this reason, *Prunus armeniaca* L. (apricot) plant (branch, leaf, fruit) and the soil samples on which this plant grew were taken from the study area and the enrichment coefficient (EC) of Cu, Fe, Mn and Ni elements were examined. The enrichment coefficient is <1 in all locations of Cu, Fe, Mn and Ni elements examined. However, Cu element was calculated as 4.66 ppm in location 1 in branch / soil (D/T); 7.38 ppm, 5.40 ppm, 1.92 ppm and 5.05 ppm in locations 1, 2, 3 and 5 in leaf / soil (Y/T), respectively. When the relationship of sample locations with the elements is examined, Ni; It was observed that branch < fruit < leaf < soil, Mn and Fe; fruit < branch < leaf < soil, Cu; fruit = Branch < soil < leaf.

Keywords: “Fe deposit, enrichment coefficient, soil, Hasançelebi.”

1. Giriş

Çalışma alanı, Malatya'nın yaklaşık 95 km kuzeybatısında, Hekimhan İlçesine yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan Hasançelebi demir (Fe) yatağı Malatya – Sivas demir ve karayolları üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). Türkiye'nin bugün için bilinen en büyük Fe yatağı olan Hasançelebi'de ilk maden yatakları çalışmalarına MTA Enstitüsü 1969 yılında başlamıştır [1, 2]. Bu tarihten sonra her gün biraz daha yoğunluk kazanan jeolojik ve teknolojik çalışmalar bugüne dek sürmektedir.

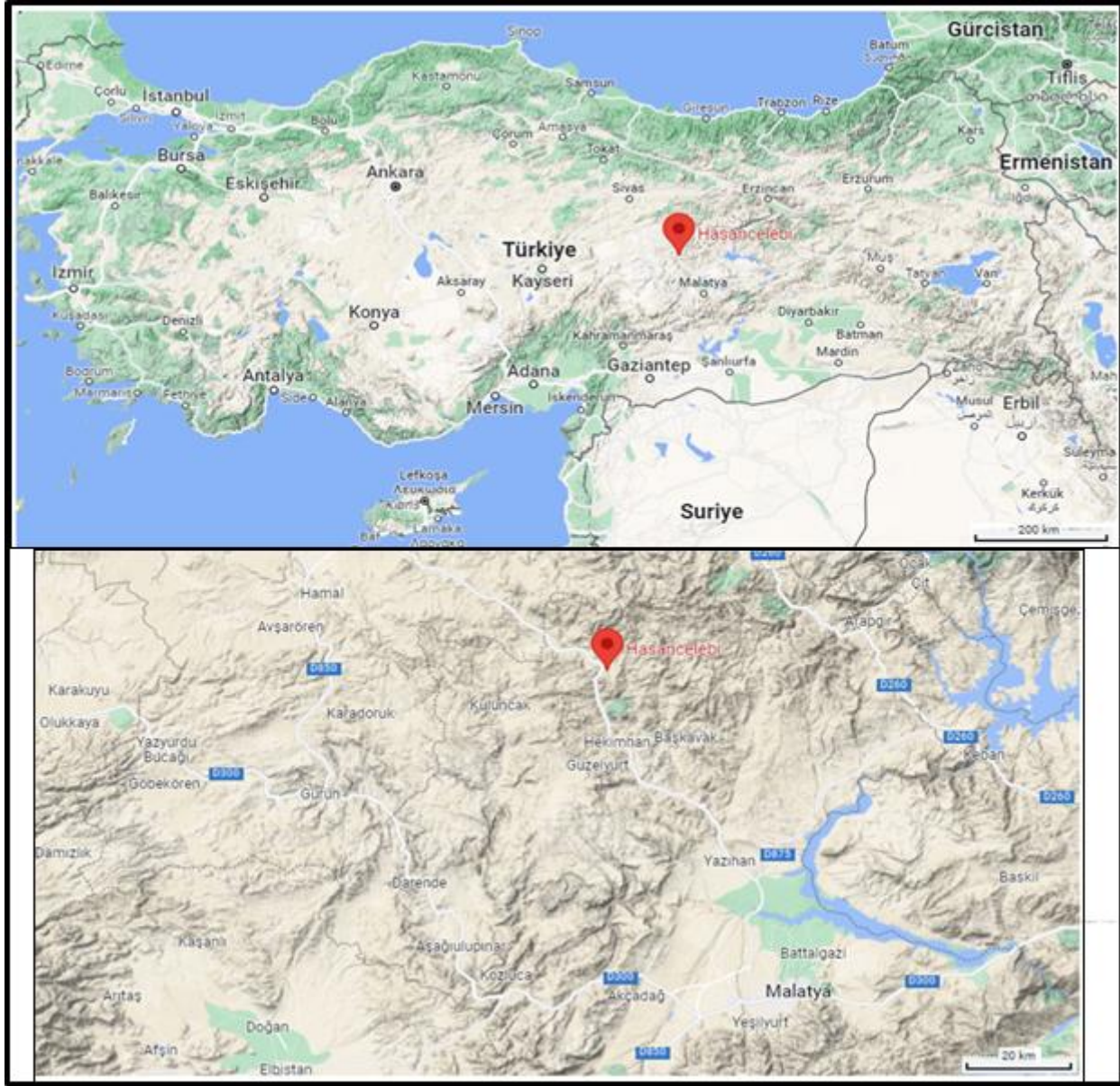
Demir (Fe) bitkiler için temel bir mikro besin maddesidir [3]. Bu element, çoklu hem sitokromlarında ve demir-kükürt (Fe-S) kümelerinde kofaktörler şeklinde bulunur [4]. Fe, bitkilerde fotosentez, mitokondriyal solunum, azot fiksasyonu ve metabolizması, kükürt asimilasyonu ve hormon ve DNA sentezi gibi birçok önemli biyolojik işlev için gereklidir [5, 6]. Bununla birlikte, Fe yerkabuğunda oldukça bol olmasına rağmen, alkali ve oksidatif koşullar altında bitkiler için zayıf bir şekilde kullanılabilir [7].

Jeokimyasal alanlar, mineralizasyon alanlarına karşılık gelen daha küçük bölgeler olup, kaya, toprak ve bitkilerdeki bazı elementlerin içeriği bu alanlarda genellikle daha yüksektir. Her alanda element içerikleri düzensiz dağılır. Bitkilerdeki element anormallikleri topraktaki benzer prensiplere dayanır ancak tam örtüşme beklenmez. Aynı bölgede litojeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler oluşabilir ve bu anomaliler arasında farklılıklar gözlemlenebilir. Önemli maden yataklarındaki bitkilerde Mo, Cu, Zn, Sr, Co ve W gibi elementlerin yüksek konsantrasyonları tespit edilebilir. Bu elementler, çözeltilerle taşınabilme özellikleri nedeniyle biyojenik birikim açısından önemli rol oynar ve uzak yataklardan taşınarak elde edilebilir. Maden yatakları, bitkiler için önemli jeolojik ve jeokimyasal stres kaynaklarıdır. Bitkilerin biyojeokimyasal tepkileri, jeolojik ve madencilik sahalarından elde edilen verilere dayanarak incelenmiştir. Örtü kalınlığı 3 metreyi geçmeyen cevher sahalarında, bitkilerin bu stres faktörlerine tepkisi belirgin hale gelir. Stresli koşullarda bitki türleri, gösterge elementlerin içeriğinden etkilenir [8] [9].

Bitkilerdeki Fe toksisitesinin, Fe alımı ve taşınmasının düzenlenmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bitkilerde Fe alımı, topraktaki Fe konsantrasyonu tarafından düzenlenen spesifik taşıyıcılar tarafından kolaylaştırılır [10]. Büyüme ve gelişmelerinin çeşitli yönlerini olumsuz etkileyebileceğinden bitkiler için ciddi bir sorundur. Bodur büyümeye ve kök gelişiminin azalmasına

¹ Corresponding Author
E-mail Address: gullu.kirat@yobu.edu.tr

neden olabilir, bu da su ve besin alımının azalmasına ve fotosentetik aktivitenin azalmasına yol açar [11]. Ayrıca Fe toksisitesi, bitkinin fotosentez yapma kabiliyetini etkileyen klorofil içeriğinin azalmasına neden olarak büyüme ve üretkenliğin azalmasına yol açabilir [12]. Şiddetli vakalarda, yaprak nekrozu meydana gelebilir ve bitkinin ölümüne yol açabilir [13]. Yaprak sararması, kloroz ile ilişkili olan Fe toksisitesinin bir başka yaygın belirtisidir [14]. Ayrıca, Fe toksisitesi tohum üretiminin azalmasına neden olarak bitkinin üremesini ve hayatta kalmasını etkileyebilir [15, 16].



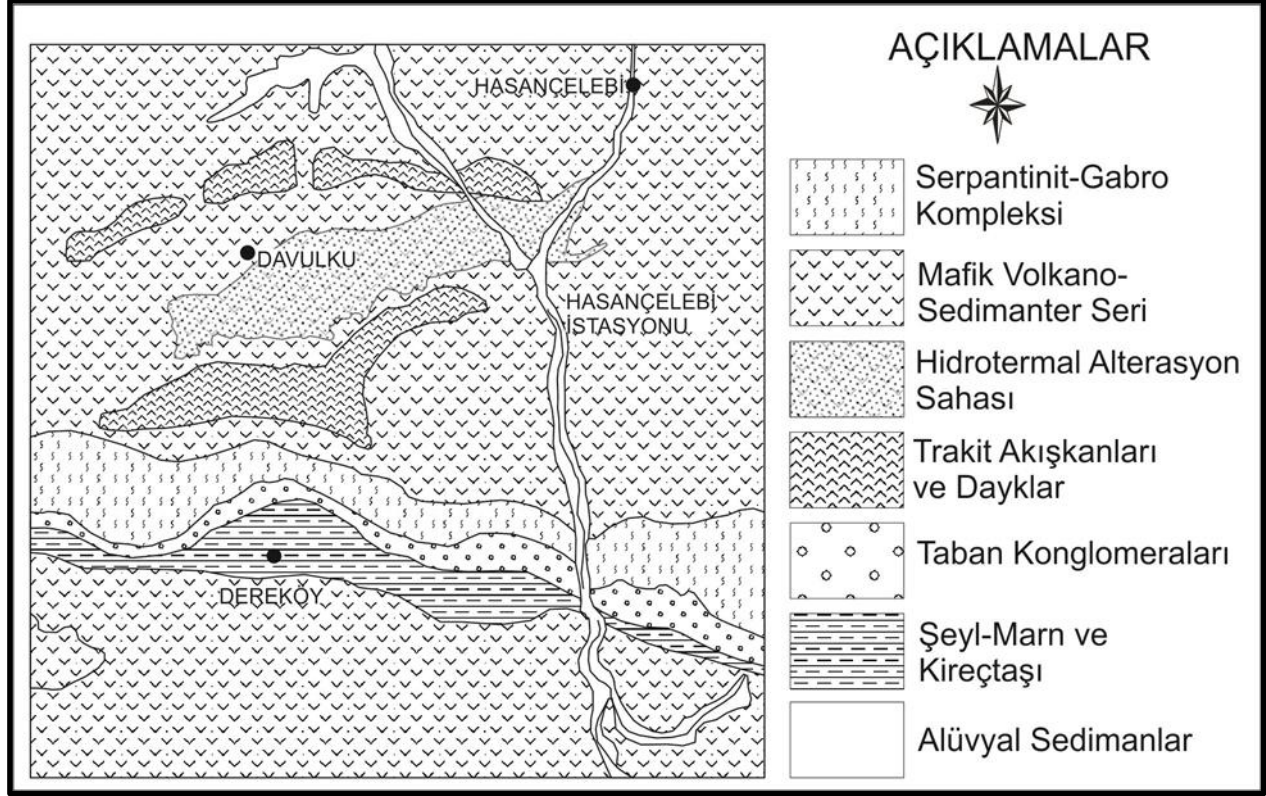
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. Bölgesel Jeoloji

Hekimhan-Deveci, Hekimhan -Hasańcelebi ve Hekimhan-Karakuz bölgelerinde önemli demir (Fe) rezervleri bulunmaktadır [17, 18]. Hekimhan'da bulunan Hasańcelebi demir (Fe) yatağı bölgedeki en önemli cevherleşmelerden biridir. Hasańcelebi bölgesi cevherleşmelerinin demiroksit - bakır - altın tipi bir cevherleşme olduğu belirtilmektedir [19, 20, 21, 22, 23]. Ancak cevherleşmeleri ve yan kayaç alterasyonunu oluşturan çözeltiler veya cevherleşme ve alterasyonların oluşum koşulları henüz ortaya konmamıştır. Bu açıdan Hasańcelebi demir yataklarında, cevherleşmeyi barındıran metazomatik zonlar içindeki skapolit, flogopit, fluorit, kalsit ve barit gibi mineraller üzerinde mikrotermometrik analizler yapılarak alterasyon ve cevherleşmenin oluşum koşulları belirlenmiştir [24].

Çalışma alanı, Doğu Toros Tektonik birliği içinde tanımlanmış olan Hekimhan Havzası olarak da bilinen bir havza içinde yer almaktadır (Şekil 2). Geç Kretase - Eosen zaman aralığında açılmış olan bu havza, platform tipi karbonatlar ve ofiyolitik kayalarla temsil edilen bir temel üzerinde yer almaktadır. Yüksekova- Baskil yayının kuzeyinde yer alan Hekimhan havzasının

temelini Geç Kampaniyen'de kuzeyden güneye aktarılan Mesozoyik yaşlı Hocalıkova Ofiyoliti oluşturmaktadır [25]. Hekimhan ile Hasançelebi arasındaki serpantinitle, doğu-batı uzanımlı bir ters fay boyunca kuzeye doğru siyenit, volkanik ve metazomatik kayalar üzerine itilmişlerdir. Hem siyenitler hem de Hasançelebi volkanitleri içinde gözlenen skapolitli metazomatik kayalar Gökçe [26] ve Kuşçu vd., [21] tarafından metazomatik zonlar olarak tanımlanmıştır. Bu zonlar içinde yaklaşık D-B uzanımlı uyumsuz, dike yakın siyenit porfirsiyenit apolit, diyabaz ve lamporfir daykları yer almaktadır. Metazomatik zonların ana minerali skapolittir. Skapolitin yanı sıra granat, piroksen, aktinolit, filogopit, albit, diyopsit, alkali feldspat, klorit, kalsit, tremolit, spekülarit ve epidot bulunmaktadır. Bu mineral toplulukları hem siyenit hem de trakitler üzerinde oluşmuş olup, aktinolit, hematitserizit- kuvars-kalkopiritli zonlar daha çok trakitik kayalarda gözlenen topluluklarıdır [21].



Şekil 2. Hekimhan Sahası'nın Jeoloji Haritası [27, 28, 29'den değiştirilerek alınmıştır].

3. Yöntem

Çalışma kapsamında örneklerin toplandığı her bir lokasyonun konumu GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi) cihazı ile belirlenmiştir. Bölgede daha önceki jeolojik çalışmalardan yararlanılarak, sahanın jeolojik ve jeokimyasına (biyojeokimya) yönelik çalışmalar yapmak için *Prunus armeniaca* L. (kayısı) bitkisi (dal, yaprak ve meyve) ve bu bitki ile ilişkili toprak örnekleri alınmıştır.

Zenginleşme katsayısı (ZK) (biyoakümülyasyon katsayısı) yer kabuğunda bulunan bitki ve hayvan organlardaki ve kayaç, sediment, toprak ve sudaki ağır metal birikmesinin sayısal bir veri olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır [30, 31, 32]. Bu katsayı, bitki organlarındaki (dal, yaprak ve meyve) metal konsantrasyonunun, topraktaki metal konsantrasyonuna oranı ile elde edilir [33; 34, 35, 36; 37; 38]:

$$ZK = \frac{C_{(Bitki\ Organi)}}{C_{(Toprak)}} \quad (1)$$

(1) nolu Zenginleşme Katsayısı (ZK) dört ayrı sınıfta incelenmiştir. Bunlar [30]:

- ZK < 0.01 akümülatör olmayan bitkiler,
- ZK = 0.01 - 0.1 düşük miktarda akümülatör bitkiler,
- ZK = 0.1 - 1.0 orta miktarda akümülatör bitkiler,

- ZK = 1 - 10 yüksek miktarda akümülatör bitkiler şeklindedir.

Bu orandan elde edilen verilere dayanılarak, toprakta bulunan metallerin bitki organları (dal, yaprak, meyve) tarafından alındığı ortaya konulur.

Metal içeriği bitkilerin organlarına göre değiştiğinden, yerden 1-1.5 m yüksekliğinde aynı yaşta ve Fe işletmesine bakacak şekilde genç yaprak, dal ve meyvelerden örnekler alınmıştır. Toplanan kayısı (*Prunus armeniaca* L.) bitki örnekleri organlarına ayrılarak önce musluk suyunda yıkanmış ardından saf su ile yıkanmıştır. Laboratuvar ortamında oda sıcaklığında kurutulan bu bitki organları ve 2 mm açıklığa sahip elekten geçirilen toprak örnekleri numaralandırılarak analiz için laboratuvara gönderilmiştir. Çalışma alanından 5 ayrı lokasyondan alınan *Prunus armeniaca* L. bitkisi dal, yaprak ve meyve şeklinde organlarına ayrılarak toplam 15 adet bitki örneği elde edilmiştir. Ayrıca her bir *Prunus armeniaca* L. bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan da 5 adet örnek alınarak toplam 20 adet örneğin Cu, Fe, Mn ve Ni elementlerinin analizi yaptırılmıştır. Analizler Yozgat Bozok Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkez (BILTEM)'inde ICP-MS cihazı kullanılarak alınan örneklerin jeokimyasal analizleri yaptırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak Tablo 1'de sunulmuştur.

4. Sonuçlar ve Tartışma

4.1. Bakır (Cu)

Bitkiler, ihtiyaç duydukları belirli metalleri bünyelerine alırken, bazı türler birçok metali biriktirir [39]. Sürekli element biriktirme sonucu bitkiler ya ölür ya da fizyolojik ve morfolojik değişiklikler geçirir [40]. Bitkilerde önemli bir metal olan bakır (Cu), fotosentez ve solunum, nitrat metabolizması, su geçirgenliği ve üreme gibi fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde kritik rol oynar. Yerkabuğunda rapor edilen bakır miktarı 25-75 ppm arasında değişmektedir [41]. Hasançelebi Demir madeni alanında, toprak numunelerindeki bakır miktarları T3 (37.08 ppm) ve T4 (28.28 ppm) lokasyonlarında rapor edilen aralık içinde yer almaktadır (Tablo 1).

Bakır (Cu) bitkiler için klorofil üretimi ve protein sentezi açısından önemli bir besin maddesidir [42, 43, 44] Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için bakır gereklidir [45]. Organik maddenin Cu'ı çok güçlü bir şekilde bağlaması sonucunda organik madde bakımından zengin ve pit (%50-80 aralığında organik madde içerenler) topraklarda Cu eksikliği görülebilmektedir. Kumlu toprakların yıkanması sonucunda da Cu eksikliği ortaya çıkar. Bitkilerde Cu eksikliğinde genç yapraklarda sarılık (kloroz), geç olgunlaşma, bodur gelişme ve bazı dokularda kahverengi lekeler görülebilmektedir [42, 44, 45, 46, 47, 48]

Toprakda Cu miktarı fazla olduğunda, birçok toksik durum gözlenir. Cu'in alımı zorlaştığında Fe eksikliğine benzeyen klorozlar görülür ve sürgün ve kök gelişimi zayıflar [42, 47, 48, 49]. Çalışma alanındaki topraklarda yetişen *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Cu (20.89-121.91 ppm) miktarının daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Tipik olarak, bitki dokularındaki Cu konsantrasyonu 5 ile 30 ppm arasında değişmektedir [50] ve toprakta yüksek Cu konsantrasyonunun varlığında bile bitkilerde 100 ppm'den fazla konsantrasyon nadirdir [51]. Mevcut çalışmadaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin organlarındaki (dal, yaprak ve meyve) Cu değeri (M2, M5 ve D4 dışında) 6.83 - 121.91 ppm arasında değişmektedir (Tablo 1).

4.2. Demir (Fe)

Demir (Fe), fotosentez, solunum ve azot metabolizması gibi çeşitli fizyolojik süreçlerde kritik rol oynayan ve bitki büyümesi ile gelişimi için gerekli bir mikro besin maddesidir [14, 16]. Fe, birçok ekili toprakta nispeten bol miktarda bulunur ve ortalama olarak 20-40 ppm toplam konsantrasyona sahiptir [52]. Bitkiler, insanlar ve hayvanlar için mutlak gerekli olan Fe, tüm canlılar tarafından az miktarda ihtiyaç duyulan bir elementtir [53].

Topraktaki Fe, çoğunlukla minerallerin kristal kafeslerinde yapı elementi olarak bulunur. Örneğin, ojit, olivin, biotit ve hornblend gibi Fe-silikat mineralleri, Fe içeren primer minerallerdir. Ayrıca, kil minerallerinde bulunan Fe, toprakta karbonat, hidroksit, fosfat ve oksit formunda bulunur [42, 47, 49, 54].

Fe miktarı 3.5 ppm'in altında olan topraklar, Fe açısından fakir olarak kabul edilir. Kireçli topraklar için Fe sınırı 6.7 ppm, kireçsiz topraklar için ise 3.7 ppm'dir [55]. Çalışma alanındaki topraklarda Fe miktarının 709.08-1096.6 ppm arasında değişmesi, bu topraklarda çok yüksek miktarda Fe bulunduğunu gösterir. Bu topraklarda yetişen *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Fe miktarının daha fazla olması, bu elementin yaprakta biriktiğini göstermektedir (Tablo 1).

4.3. Manganez (Mn)

Manganez (Mn) yerkabuğunu oluşturan on birinci ve bol bulunan bir elementtir. Bolluk açısından, Mn içeren bileşikler yerkabuğunda demirden (Fe) sonra gelir. Topraktaki toplam manganez miktarı 20 - 3000 ppm arasında olup ortalama 600 ppm'dir. İki değerlikli mangan (Mn^{2+}) kil mineralleri ve organik materyal tarafından absorbe edilir ve bitki beslenmesi açısından iki değerlikli manganez iyonları (Mn^{2+}) en önemlisidir [56]. Kullanılabilir mangan miktarı toprak pH'sı, organik madde, nem ve toprak havalandırmasından etkilenir [57, 58]. Hasaңcelebi Fe yatağından alınan toprak numunelerindeki Mn miktarının 34.94 – 42.28 ppm aralığında değiştii gözlenmiştir. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Mn (2.99-6.44 ppm) miktarının bu organlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

4.4. Nikel (Ni)

Yerkabuğunda Ni fazla miktarda bulunan bir elementtir. Tarım topraklarında Ni, içeriği 3 ile 1.000 ppm arasında değişmektedir. Bazik magmatik kayalardan oluşan topraklar 2.000 ile 6.000 ppm Ni içerebilir. Bitki kökleri ile Ni^{+2} alımı Cu^{2+} 'ye benzemektedir [59]. Nikel (Ni) elementinin bitki kökleri tarafından topraktan emildiğini ve bitkinin toprak üstü organlarına taşındığını ifade etmektedir. Nikelin bu hareketi, organik bileşenlerle yakından ilişkilidir. Yani, nikelin bitki içinde taşınması ve dağılımı, bitkinin içindeki organik maddelerle doğrudan bağlantılıdır. Özetle, bitkilerin nikelini nasıl emdiğini taşıdığını, bitki içindeki organik bileşiklerin varlığına ve bunlarla olan etkileşime bağlıdır [60, 61, 62].

Ni eksikliği olan bitkilerin yaprak uçlarında çok yüksek miktarda üre birikir. Ni eksikliğinde bitkilerin toprak altı ve toprak üstü organlarının gelişimi azalırken, bitkilerde yeşil renk giderek azalmakta, nekroz ve klorozlar oluşmaktadır. Ancak genel olarak bitkilerde Ni eksikliği görülmez [47, 49]. Yüksek miktarda Ni içeren topraklar üzerinde yetiştirilen bitkilerde toksiklik (zehirlenmeler) meydana gelmektedir. Bu nedenle toprağın kalsiyum ve potasyum ile gübrelenmesi Ni'in toksik etkisini önlemektedir. Ayrıca fosfatlı (P) gübrelerin Ni'in toksik etkisini artırdığı da bilinmektedir [47, 48, 54]. Çalışma alanındaki tarım topraklarındaki Ni içeriği 12.57-15.71 ppm arasında değiştii gözlenmiştir. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Ni (0.46-0.6 ppm) miktarının bu organlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin meyve, yaprak, dal ve topraklarına ait minimum, maksimum, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri (ppm).

Meyve (M)	Mn	Fe	Ni	Cu	Yaprak (Y)	Mn	Fe	Ni	Cu
Minimum	0.38	1.64	0.2	4.81	Minimum	2.99	13.09	0.46	20.89
Maksimum	1.09	3.9	0.3	13.23	Maksimum	6.44	17.83	0.6	121.91
Ortalama	0.67	2.89	0.24	7.67	Ortalama	4.66	15.55	0.52	72.57
St. Sapma	0.29	0.94	0.04	3.49	St. Sapma	1.37	2.09	0.05	38.42
Dal (D)	Mn	Fe	Ni	Cu	Toprak (T)	Mn	Fe	Ni	Cu
Minimum	1.11	3.98	0.09	3.86	Minimum	34.94	709.08	12.57	10.09
Maksimum	1.6	16	0.15	77	Maksimum	42.28	1096.6	15.71	37.08
Ortalama	1.39	8.17	0.12	22.23	Ortalama	38.40	877.17	14.31	22.13
St. Sapma	0.20	5.38	0.02	30.99	St. Sapma	2.74	147.93	1.36	10.60

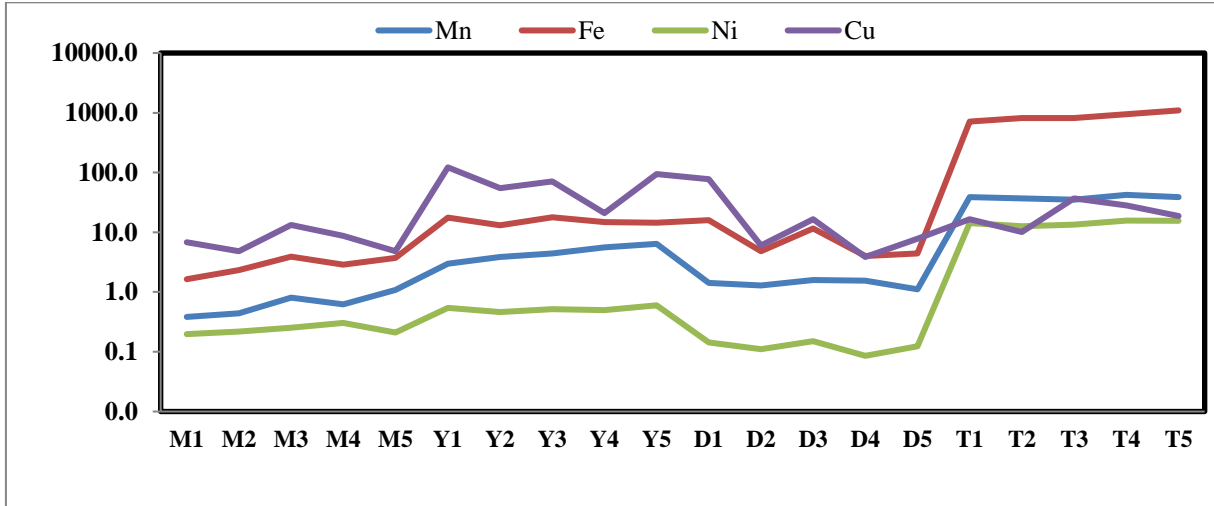
Mn ve Fe bitkilerde bir etkileşime sahiptir, bitkiler tarafından Fe alımı topraktaki yüksek Mn miktarlarından etkilenir, aynı (Mn tarafından Fe eksikliği) bitkilerde Mn toksisitesinin neden olduğu sorunları daha da kötüleştirebilir. Ayrıca, topraktaki Fe miktarı çok fazla ise, Mn birikimine neden olur ve bitki için Mn alımı azalabilir [56, 58, 63]. Fe eksikliğinin belirtileri çoğunlukla genç yapraklarda gözlenir [47, 48]. Toprakta Cu miktarının artması, Fe miktarını azalttığı sonucuna varılmıştır [64,65]. Çalışma alanından alınan *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal, yaprak ve meyve organlarında Fe miktarının Mn miktarından yüksek olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinde $Fe > Mn > Cu > Ni$ şeklinde bir element dağılımı gözlenmiştir (y ekseni logaritmik) (Şekil 3).

Fe elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda, D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 4 ve 5 numaralı lokasyonlarda < 0.01 olduğundan akümülatör olmayan bitkiler olarak sınıflandırılabilir (Tablo 2).

Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan düşük miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir. Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranlarıyla hesaplanan ZK değerleri, tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan, bu bitkiler düşük akümülatör olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde, Fe elementinin Y/T oranıyla hesaplanan ZK değerleri tüm lokasyonlarda, D/T oranıyla hesaplanan ZK değerleri ise 1, 2 ve 3 numaralı lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan, bu bitkiler de düşük akümülatör olarak kabul edilebilir (Tablo 2).

Cu elementinin D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 2 - 5 numaralı lokasyonlarda, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 4 numaralı lokasyonda ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.1 - 1.0 arasında olduğundan orta miktarda akümülatör bitkiler olarak sınıflandırılabilir. Ancak bu elementin D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1 numaralı

lokasyonda, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1, 2, 3 ve 5 numaralı lokasyonlarda 1 - 10 arasında olduğundan yüksek miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir (Tablo 2).



Şekil 3. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin meyve (M), yaprak (Y), dal (D) ve topraklarına (T) ait Cu, Fe, Mn ve Ni değerleri (ppm).

Tablo 2. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinden elde edilen analiz sonuçlarına göre hesaplanan Zenginleşme Katsayıları; Dal/Toprak (D/T), Yaprak/Toprak (Y/T), Meyve/Toprak (M/T) değerleri (ppm).

Ö. No	Mn			Fe		
	D/T	Y/T	M/T	D/T	Y/T	M/T
1	0.04	0.08	0.01	0.02	0.02	0.00
2	0.04	0.11	0.01	0.01	0.02	0.00
3	0.05	0.13	0.02	0.01	0.02	0.00
4	0.04	0.13	0.01	0.00	0.02	0.00
5	0.03	0.17	0.03	0.00	0.01	0.00
Ö. No	Ni			Cu		
	D/T	Y/T	M/T	D/T	Y/T	M/T
1	0.01	0.04	0.01	4.66	7.38	0.41
2	0.01	0.04	0.02	0.60	5.40	0.48
3	0.01	0.04	0.02	0.44	1.92	0.36
4	0.01	0.03	0.02	0.14	0.74	0.31
5	0.01	0.04	0.01	0.42	5.05	0.26

5. Sonuçlar

Çalışma alanındaki topraklarda yetişen kayısı (*Prunus armeniaca* L.) bitkisinin yaprağındaki Cu, Fe, Ni ve Mn element miktarlarının dal ve meyve element miktarlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinde $Fe > Mn > Cu > Ni$ şeklinde bir element dağılımı gözlenmiştir.

Fe elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda < 0.01 olduğundan akümülatör olmayan bitkiler ve D/T ve Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğu düşük miktarda akümülatör bitkiler; Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğu düşük miktarda akümülatör bitkiler; Cu elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.1 - 1.0 arasında olduğundan orta miktarda akümülatör bitkiler olarak sınıflandırılabilir. Cu, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1, 2, 3 ve 5 numaralı lokasyonlarda 1 - 10 arasında olduğundan yüksek miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir.

Teşekkür: Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) FHD-2024-1384 numaralı proje ile desteklenmiştir

Kaynaklar

- [1] MTA Enstitüsü, "Hasançelebi - Hekimhan – Malatya demir madeni, Maden İşletme zenginleştirme ve peletleme tesisleri ön fizibilite etüdü: Jeolojik, Jeofizik ve Hidrojeolojik etüdüler," Cilt 1, Aglomerasyon Projesi, Cilt 7, M.T.A. ön fizibilite raporları, Ankara, 1976.
- [2] A. Çağatay ve O. Arda, "Hasançelebi demir yalağının titanyum ve alkali sorunları," *Jeoloji Mühendisliği*, ss. 39-46, 1979.
- [3] C. A. Krohling, F. J. Eutrópio, A. A. Bertolazi, ve diğerleri, "Ecophysiology of iron homeostasis in plants," *Soil Science and Plant Nutrition*, cilt 62, ss. 39-47, 2016.
- [4] C. Ferousi, S. Lindhoud, F. Baymann, B. Kartal, M. S. Jetten, ve J. Reimann, "Iron assimilation and utilization in anaerobic ammonium oxidizing bacteria," *Current Opinion in Chemical Biology*, cilt 37, ss. 129-136, 2017.
- [5] J. Balk ve M. Pilon, "Ancient and essential: the assembly of iron-sulfur clusters in plants," *Trends in Plant Science*, cilt 16, ss. 218-226, 2011.
- [6] T. B. Ibañez, L. F. M. Santos, A. M. Lapaz, ve diğerleri, "Sulfur modulates yield and storage proteins in soybean grains," *Scientia Agricola*, cilt 78, e20190020, 2021.
- [7] G. J. Lei, X. F. Zhu, Z. W. Wang, F. Dong, N. Y. Dong, ve S. J. Zheng, "Abscisic acid alleviates iron deficiency by promoting root iron reutilization and transport from root to shoot in Arabidopsis," *Plant, Cell & Environment*, cilt 37, ss. 852-863, 2014.
- [8] B. Y. Pehlivanli, "Doğal jeokimyasal stres altındaki bitki türlerinin iz element ve nadir toprak elementlerin (NTE) birikimi," *Tarım Bilimleri Alanında Multidisipliner Güncel Çalışmalar III*, Ankara: Iksad Publications, 2023, ss. 113-143.
- [9] B. Y. Pehlivanli ve E. Ergin, "Main and trace element 'content and enrichment' of growing plant species around Eskişehir boron mines in the Western Anatolia Basin of Türkiye," *Medicinal and Economic Importance of Plants*, Ankara: Iksad Publications, 2023, ss. 217-242.
- [10] J. Morrissey ve M. L. Guerinot, "Iron uptake and transport in plants: the good, the bad, and the ionome," *Chemical Reviews*, cilt 109, sayı 10, ss. 4553-4567, 2009.
- [11] J. E. Peña-Olmos, F. Casierra-Posada, ve M. A. Olmos-Cubides, "The effect of high iron doses (Fe²⁺) on the growth of broccoli plants (Brassica oleracea var. Italica)," *Agronomía Colombiana*, cilt 32, sayı 1, ss. 22-28, 2014
- [12] G. de Oliveira Jucoski, J. Cambraia, C. Ribeiro, J. A. de Oliveira, S. O. de Paula, ve M. A. Oliva, "Impact of iron toxicity on oxidative metabolism in young Eugenia uniflora L. plants," *Acta Physiologiae Plantarum*, cilt 35, ss. 1645-1657, 2013
- [13] N. Zahra, M. B. Hafeez, K. Shaukat, A. Wahid, and M. Hasanuzzaman, "Fe toxicity in plants: Impacts and remediation," *Physiologia Plantarum*, vol. 173, no. 1, pp. 201-222, 2021.
- [14] A. Meharg, *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, P. Marschner (Ed.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2011, ss. 684. ISBN: 978-0-12-3849052. *Experimental Agriculture*, cilt 48, sayı 2, s. 305, 2012.
- [15] S. Kumari, R. Kumar, S. Chouhan, ve P. L. Chaudhary, "Influence of various organic amendments on growth and yield attributes of mung bean (Vigna radiata L.)," *International Journal of Plant & Soil Science*, cilt 35, sayı 12, ss. 124-130, 2023. [Çevrimiçi]. Ulaşılabilir: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i1229756>
- [16] V. Harishet, S. Aslam, S. Chouhan, Y. Pratap, ve S. Lalotra, "Int. J. Environ. Clim. Change", cilt 13, sayı 8, ss. 1894-1900, 2023. Makale no. IJECC.101675.
- [17] "Malatya İli Maden ve Enerji Kaynakları," MTA, 2010. [Çevrimiçi]. Ulaşılabilir: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/malatya_madenler.pdf
- [18] G. Kırat ve A. Vural, "Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve ilgili maden yatakları," M. Hatipoğlu, Ed., *Yer Bilimleri ve Mühendisliğinde Güncel Çalışmalar*, İstanbul, Türkiye: BİDGE Yayınları, 2024, ss. 49-66.

- [19] İ. Kuşçu, "Fe-oksit-Cu-Au-REE (Olympic Dam) tipi yataklar: Genel özellikleri-oluşum modeli ve Orta Anadolu potansiyelinin bir değerlendirmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Bildiri Özleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No. 73, s. 176, 2003.
- [20] H. Yılmaz, Ö. Dumanlılar, Y. Ay, A. Tablacı, ve Ö. Torun, "Hekimhan (Malatya) yöresindeki demir yataklarının jeolojik konumları," *57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 105–106, 2004.
- [21] İ. Kuşçu, R. Marschik, N. Kaymakçı, E. Yılmaz, G. Demirela, H. Gökçe, ve N. Güleç, "Hasançelebi ve Karakuz (Malatya) demiroksit yataklarındaki alterasyonların kökeni: Tuzlu-evaporitik sularla yıkanma modeline karşı magmatik-hidrotermal model," *58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 75–77, 2005, Ankara.
- [22] İ. Kuşçu, E. Yılmaz, G. Demirela, ve H. Gökçe, "Orta ve Batı Anadolu'daki bazı skarn tipi Fe-oksit yataklarının Fe-oksit-Cu-Au (Doba) potansiyeli [Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) potential of some skarn type iron-oxide deposits in Central and Western Anatolia]," H. Öztürk, A. Kahriman, ve N. Hanilçi, Eds., *Symposium on Turkey's Iron Deposits Geology, Mining and Existing Problems Abstract Book*, ss. 181–206, 2005. (Türkçe ve İngilizce özetle).
- [23] İ. Kuşçu, E. Yılmaz, G. Demirela, H. Gökçe, R. Marschik, N. Kaymakçı, ve N. Güleç, "Hasançelebi ve Karakuz (Malatya) bölgeleri demiroksit yataklarında alterasyon zonlanması," *58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 66–67, 2005, Ankara.
- [24] G. Sezerer Kuru, İ. Kuşçu, Y. Bilge Şalış, E. Yılmaz, ve G. Demirela, "Hasançelebi (Malatya) demir oksit yataklarının oluşum koşulları; mikrotermometrik bir yaklaşım," *MTA Dergisi*, cilt 132, ss. 101–111, 2006.
- [25] Ö. F. Gürer, "Hekimhan - Hasançelebi (Malatya) dolayının jeoloji incelemesi," İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 323 s., 1992.
- [26] H. Gökçe, "Hekimhan-Hasançelebi demir yatağının jeolojisi ve skapolitlerin mineralojisi ve jeokimyası," Niğde Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [27] H. Stendal, T. Ünlü, ve J. Madsen, "Geological setting of iron deposits of Hekimhan province, Malatya, Central Anatolia Turkey," *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.)*, cilt 104, ss. 46–54, 1995.
- [28] L. Gürcan, "Hekimhan bölgesinin jeolojisi ve stratigrafisi," Doktora Tezi, M.T.A., ss. 2–39, 2002, Malatya.
- [29] T. Kundi, "Hekimhan ve civarı maden yatakları," Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 55 s., 2005, Elazığ.
- [30] L. Kalender ve Ö. N. Alçiçek, "Astragalus angustifolius, Artemisia ve Juncus effusus'un uranyum ve toryum için biyoakümülatör özellikleri," *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, cilt 28, sayı 2, ss. 267–273, 2016.
- [31] USEPA (Environmental Protection Agency), "Introduction to phytoremediation," EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA, 2000.
- [32] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), "Solid waste and emergency response glossary - Bioaccumulation," U.S. Environmental Protection Agency, 29 Haziran 2010.
- [33] G. Kirat ve N. Aydın, "Geochemical properties of soils surrounding the Deliklitaş Au deposit, Turkey," *Journal of African Earth Sciences*, cilt 120, ss. 173–180, 2016.
- [34] B. Yavuz Pehlivanlı, Ş. Koç, E. Ergin, L. Açıık, M. Vural, Y. K. Kadioğlu, ve diğerleri, "Çayırhan (Ankara) bölgesindeki bitki çeşitliliği ve bölgedeki organik maddece zengin kayalarla olan jeokimyasal ilişkisi," IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, ss. 107–108, 26–28 Mayıs 2010, Elazığ, Türkiye.
- [35] A. Vural, "Assessment of heavy metal accumulation in the roadside soil and plants of Robinia pseudoacacia, in Gümüşhane, Northeastern Turkey," *Ekoloji*, cilt 22, sayı 89, ss. 1–10, 2013. Erişim: <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.891>.
- [36] A. Vural, "Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey," *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, cilt 148, ss. 85–106, 2014.

- [37] A. Vural, "An evaluation of elemental enrichment in rocks: in the case of Kısacık and its neighborhood (Ayvacık, Çanakkale/Türkiye)," **Journal of Geography and Cartography**, cilt 6, sayı 1, ss. 1–20, 2023. Erişim: <https://doi.org/10.24294/jgc.v6i1.1850>.
- [38] A. Vural, A. Gundogdu, I. Akpınar ve C. Baltacı, "Environmental impact of Gümüşhane City, Turkey, waste area in terms of heavy metal pollution," **Natural Hazards**, cilt 88, sayı 2, ss. 867–890, 2017. Erişim: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2896-1>.
- [39] N. Mganga, M. L. K. Manoko ve Z. K. Rulangaranga, "Classification of plants according to their heavy metal content around North Mara Gold Mine, Tanzania: Implication for phytoremediation," **Tanzania Journal of Science**, cilt 37, ss. 109–119, 2011.
- [40] G. Kirat, "Pb–Zn–Cd accumulator plants grown around the Görgü Pb–Zn Mine, Yesilyurt-Malatya, Turkey," **Bulletin of the Mineral Research and Exploration**, cilt 155, ss. 58–59, 2017.
- [41] A. Kabata-Pendias, **Trace Elements of Soils and Plants**, 4. baskı, 548 s., CRC Press, 2010. Erişim: <https://doi.org/10.1201/b10158>.
- [42] A. Boşgelmez, İ. Boşgelmez, S. Savaşçı ve N. Paslı, **Ekoloji – II (Toprak)**, Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara, 2001.
- [43] D. T. Gardiner ve R. W. Miller, **Soils in Our Environment**, 11. baskı, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, New Jersey, ABD, 2008..
- [44] A. McCauley, C. Jones ve J. Jacobsen, **Nutrient Management**, Nutrient Management Module 9, Montana State University Extension Service, Yayın No. 4449-9, ss. 1–16.
- [45] G. Kirat, "Investigation of the Biogeochemical Anomalies of **Euphorbia cyparissias** Plant in Gümüşhacıköy – Amasya Pb–Zn–Ag Deposits, Turkey," **Indian Journal of Forensic Medicine and Pathology**, özel sayı, cilt 13, sayı 1, 2020. Erişim: <http://dx.doi.org/10.21088/ijfmp.0974.3383.13120.22>.
- [45] E. J. Plaster, **Soil Science and Management**, 2. baskı, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, ABD, 1992..
- [46] M. Aktaş ve A. Ateş, **Bitkilerde Beslenme Bozuklukları: Nedenleri ve Tanınmaları**, Nurol Matbaacılık A.Ş., Ostim, Ankara, 1998.
- [47] B. Kacar ve V. Katkat, **Bitki Besleme**, 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Kızılay, Ankara, 2010.
- [48] İ. Bolat ve Ö. Kara, "Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları," **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, cilt 19, sayı 1, ss. 218-228, 2017. DOI: 10.24011/barofd.251313.
- [49] N. Güzel, K. Y. Gülüt ve G. Büyük, **Toprak Verimliliği ve Gübreler**, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 246, Ders Kitapları Yayın No. A-80, Adana, 2004.
- [50] M. Napoli, S. Cecchi, C. Grassi, A. Baldi, C. A. Zanchi ve S. Orlandini, "Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops," **Chemosphere**, cilt 219, ss. 122-129, 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.017.
- [51] S. M. Ghaderian ve A. A. G. Ravandi, "Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran," **Journal of Geochemical Exploration**, cilt 123, ss. 25-32, 2012.
- [52] R. M. Cornell ve U. Schwertmann, **The Iron Oxides**, 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
- [53] H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök ve H. Kaptan, **Toprak Bilimi**, 5. Baskı, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 73, Ders Kitapları Yayın No. A–16, Adana, 2001.
- [54] M. D. Kantarcı, **Toprak İlimi**, İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İÜ Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s., 2000.
- [55] G. Porkodi, P. Ramamoorthi, and M. D. I. Mansingh, "Effects of Iron on Crops and Availability of Iron in Soil: A Review," **Biological Forum – An International Journal**, vol. 15, no. 6, pp. 71–78, 2023.

- [56] M. J. Malakouti and M. H. Tehrani, *Effect of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products: Micronutrients with Macro-Effects*, Tarbiat Modares University Publication, Iran, 1999.
- [57] E. E. Schulte and K. A. Kelling, *Soil and Applied Manganese. Understanding Plant Nutrients*, A2526, 1999..
- [58] S. R. Mousavi, M. Shamsavari, and M. Rezaei, "A General Overview on Manganese (Mn) Importance for Crops Production," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 9, pp. 1799–1803, 2011.
- [59] P. H. Brown, "Ni," in *Handbook of Plant Nutrition*, A. V. Barker and D. J. Pilbeam, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006, pp. 329–350.
- [60] D. A. Cataldo, T. R. Garland, R. E. Wildung, and H. Drucker, "Ni in plants. II. Distribution and chemical form in soybean plants," *Plant Physiol.* , vol. 62, pp. 566–570, 1978.
- [61] N. P. Bhatia, K. B. Walsh, and A. J. M. Baker, "Detection and quantification of ligands involved in Ni detoxification in a herbaceous Ni hyperaccumulator *Stackhousia tryonii* Bailey," *J. Exp. Bot.* , vol. 56, pp. 1343–1349, 2005.
- [62] M. A. Lopez and S. Magnitskiy, "Nickel: The last of the essential micronutrients," *Agron. Colomb.*, vol. 29, pp. 49–56, 2011.
- [63] W. S. Michael and S. C. Beckg, "Manganese deficiency in pecan," *Horticulture Science*, vol. 36, no. 6, pp. 1075–1076, 2001..
- [64] S. Sönmez, M. Kaplan, N. K. Sönmez, H. Kaya, and İ. Uz, "High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants," *Sci. Agric. Piracicaba, Braz.*, vol. 63, no. 3, pp. 213–218, 2006.
- [65] G. Kırat, "Investigation of soil pollution with pollution parameters (Erzurum-Moryayla)," *Intern. Sci. Vocat. J. (ISVOS Journal)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2023. DOI: 10.47897/Bilmes.1125279.