T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARINCALARDA AĞIR METAL BİRİKİMİ ÜZERİNE BİR ÖN ÇALIŞMA

MİNE KAFALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE

EDİRNE-2017

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Biyoloji Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Prof.Dr.Yılmaz ÇAMLITEPE

Doç.Dr.Utku GÜNER

Doç.Dr.Bilal BALKAN

Tarih: 16/01/2017

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

16/01/2017

Mine KAFALI

M. Kafalı

Yüksek Lisans Tezi
MİNE KAFALI
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Formica cunicularia Latreille, 1798 (Hymenoptera: Formicidae) türü karınca işçilerinin ağır metal kirliliği için biyoindikatör bir organizma olarak kullanılıp kullanılmayacaklarının test edildiği bu çalışmada, Trakya Bölgesi'nde Ergene Havzası boyunca belirlenen dört farklı lokaliteden Haziran ve Eylül 2015'de olmak üzere iki kez karınca, toprak, su ve bentik çamuru örnekleri alınmış ve bu örneklerdeki Krom (Cr) Mangan (Mn), Demir (Fe), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Arsenik (As), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) birikim düzeyleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklenen karıncaların vücudunda ağır metal içeren abdominal bölgelerin belirlenmesi için ise taramalı elektron mikroskobisi (TEM) görüntüleri elde edilmiştir. Analiz sonuçları, tüm lokalitelerdeki Eylül ayı karınca örneklemelerindeki metal birikim düzeyinin Haziran ayı düzeylerine göre artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Karınca ağır metal içeriklerinde tespit edilen artışa paralel olarak su, çamur ve toprak örneklerinde de her zaman bir artış olmadığı, aksine bazı metaller için artış, diğer bazıları için ise düşüş olduğu tespit edilmiştir. Haziran ayı karınca örneklemelerinde tespit edilen metal birikim düzeyleri ile toprak, su ve bentik çamurundaki metal birikim düzeyleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmesine rağmen, Eylül ayı örneklemelerinde gözlenen birikim düzeyi artışına bağlı olarak bazı metaller için karıncalar ve diğer örnekler arasındaki anlamlı farklılığın ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda örnekleme yapılan lokalitelerde su-çamur-toprak-karınca şeklinde artan ya da azalan bir metal birikimi olmadığını göstermektedir. TEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda

ise karıncalarda metal birikimi için iç organların bulunduğu abdominal bölgenin iyi bir belirteç olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çalışma süresince örnekleme yapılan ve farklı kirlilik düzeylerine sahip lokaliteler göz önüne alındığında görece olarak metal konsantrasyonu düşük lokalitedeki *F. cunicularia* işçilerinde ağır metal birikimi olsa dahi metal birikimde tespit edilen dönemsel artış türün belirli bir alandaki metal kirliliğinin takibinde etkili olarak kullanılabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

Yıl : 2017
Sayfa Sayısı : 62
Anahtar Kelimeler : Ağır metal birikimi, kirlilik, karıncalar, biyoindikatör organizma, Ergene Nehri

Master Thesis
MİNE KAFALI
Trakya UniversityInstitute of Natural Sciences
Biology

ABSTRACT

In this study, ant, soil, water and benthic mood samples were taken twice in June and September 2015 from 4 localities in Ergene Basin in Thrace Region. Chromium (Cr) Manganese (Mn), Iron (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), Arsenic (As), Cadmium (Cd) and Lead (Pb) accumulation levels in these samples were analyzed using Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) in order to test whether *Formica cunicularia* Latreille, 1798 (Hymenoptera: Formicidae) could be used as an indicator organism. Scanning Electron Microscopy (SEM) was applied to determine metal accumulation sites in abdomen of the samples. The results showed that metal accumulation levels in ants in September were higher than accumulation levels in ants sampled in June. In contrast to the increase in accumulation levels in ants, water, benthic mood and soil samples showed no general increase bias for all metals; some metal levels had a decrease while some others had an increase. Significant differences were determined in June between metal levels in ant samples and soil, water and benthic mood samples, but this significance disappeared for some metals for September samples in parallel to increase in accumulation levels in this month. The results also indicated that there was no increasing or decreasing accumulation pattern in water-benthic mood, soil-ant order. The SEM analysis revealed that ant abdomen, containing visceral organs, is a useful indicator parts for metal accumulation in the body.

In conclusion, although the determination of metal accumulation in *F. cunicularia* workers even in the locality which was chosen as the non-contaminated area might make this species an ineffective organism, the periodical accumulation differences in ant samples can be taken into account to use this species as an indicator organism in monitoring of a metal pollution in a given area.

Year : 2017
Number of Pages : 62
Keywords : Heavy metal accumulation, pollution, ants, bioindicator organism, Ergene River

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bilgi, fikir ve kaynaklarını benimle paylaşan ve zamanını ayırarak beni yönlendiren çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve arazi çalışmalarım boyunca bana yardımlarını sunan hocam Doç. Dr. Volkan AKSOY'a, çalışma arkadaşlarım Bahadır AYDIN ve Onur EDİZ'e ve tezimin yazımı boyunca yapmış olduğu düzenlemeler ve desteği için Çağatay YALINKILIÇ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamızı, maddi olarak 2014/126 no'lu proje ile destekleyen TÜBAP'a, örneklerin analizlerini gerçekleştiren TÜTAGEM'e teşekkür ederim. Yüksek Lisans eğitimim esnasında görev aldığım 212T118 no'lu proje için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan ve bana her konuda destek olan aileme en içten teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET I
ABSTRACT III
TEŞEKKÜR V
TABLOLAR DİZİNİ VII
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER DİZİNİ X
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 5
2.1. AĞIR METALLER 5
2.1.1. Ağır Metallerin Etkileri 6
2.2. OMURGASIZLARDA AĞIR METAL BİRİKİMİ 10
2.3. BÖCEKLERDE AĞIR METAL BİRİKİMİ 11
2.3.1. Biyoindikatör nedir? 12
2.3.2. Böcekleri iyi bir biyoindikatör yapan özellikler 12
2.4. KARINCALARDA AĞIR METAL BİRİKİMİ 13
3. MATERYAL METOD 18
3.1. ÇALIŞMA ALANI 18
3.2. LOKALİTELER 20
3.3. ÖRNEKLERİN ALINMASI/TOPLANMASI 24
3.3.1. Karıncaların örneklenmesi 25
3.3.2. Toprak örneklemesi 26
3.3.3. Su örneklemesi 27
3.3.4. Bentikçamuru örneklemesi 27
3.4. ÖRNEKLERİN ANALİZİ 28
3.4.1. Ağır metal analizleri 29
3.5. VERİLERİN ANALİZİ 31
4. SONUÇLAR 32
4.1. AĞIR METAL ANALİZİ SONUÇLARI 32
4.2. ELEKTRON MİKROSKOBİSİ SONUÇLARI 47
5. TARTIŞMA 53
KAYNAKLAR 57
ÖZGEÇMİŞ 62

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kirli ve kirletilmemiş alanlarda yaşayan *Formica* türleri ve yuva sayıları.....3

Tablo 2.1. Temel endüstrilerden atılan metal türleri.....6

Tablo 4.1. Su Kirliliği Kontrol yönetmeliğine göre su kalite sınıflandırmaları.....43

Tablo 4.2. Toprak Kirliliği Kontrol yönetmeliğine göre toprakta bulunan ağır metal sınır değerleri.....44

Tablo 4.3. Örnekleme yapılan lokalitelerdeki karınca örneklerinde tespit edilen ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması.....45

Tablo 4.4. Örnekleme yapılan lokaliterde örnekler arsındaki periyodik ağır metal içeriği ortalama değerleri karşılaştırması.....46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İndikatör kategorileri ve fonksiyonları.....1

Şekil 3.1. Örnekleme yapılan lokaliteler.....18

Şekil 3.2. Ergene Havzası'nda faaliyet gösteren sanayi tesislerin sektörel dağılımı.....20

Şekil 3.3. Çakıllı lokalitesi.....21

Şekil 3.4. Düğüncübaşı lokalitesi.....22

Şekil 3.5. Alacaoğlu lokalitesi.....23

Şekil 3.6. Katranca lokalitesi.....24

Şekil 3.7. *Formica cunicularia*.....25

Şekil 3.8. Toprak örneklenmesi.....26

Şekil 3.9. Su örneklemesi.....27

Şekil 3.10. Bentik çamuru örneklemesi.....28

Şekil 4.1. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Cr değerleri.....33

Şekil 4.2. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Mn değerleri.....34

Şekil 4.3. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Fe değerleri.....35

Şekil 4.4. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Co değerleri.....36

Şekil 4.5. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Ni değerleri.....37

Şekil 4.6. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Cu değerleri.....38

Şekil 4.7. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Zn değerleri.....39

Şekil 4.8. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen As değerleri.....40

Şekil 4.9. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Cd değerleri.....41

Şekil 4.10. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen Pb değerleri.....42

Şekil 4.11. Alacaoğlu lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Fe birikimi bölgeleri.....47

Şekil 4.12. Alacaoğlu lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Mn birikimi bölgeleri.....48

Şekil 4.13. Çakıllı lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cd birikimi bölgeleri.....48

Şekil 4.14. Çakıllı lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki As birikimi bölgeleri.....49

Şekil 4.15. Çakıllı lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Fe birikimi bölgeleri.....50

Şekil 4.16.Düğüncübaşı lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cu birikimi bölgeleri.....51

Şekil 4.17. Katranca lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cr birikimi bölgeleri.....52

SİMGELER DİZİNİ

S1: Haziran Ayına ait su örneklemesi

S2: Eylül Ayına ait su örneklemesi

Ç1: Haziran Ayına ait bentik çamuru örneklemesi

Ç2: Eylül Ayına ait bentik çamuru örneklemesi

T1: Haziran Ayına ait toprak örneklemesi

T2: Eylül Ayına ait toprak örneklemesi

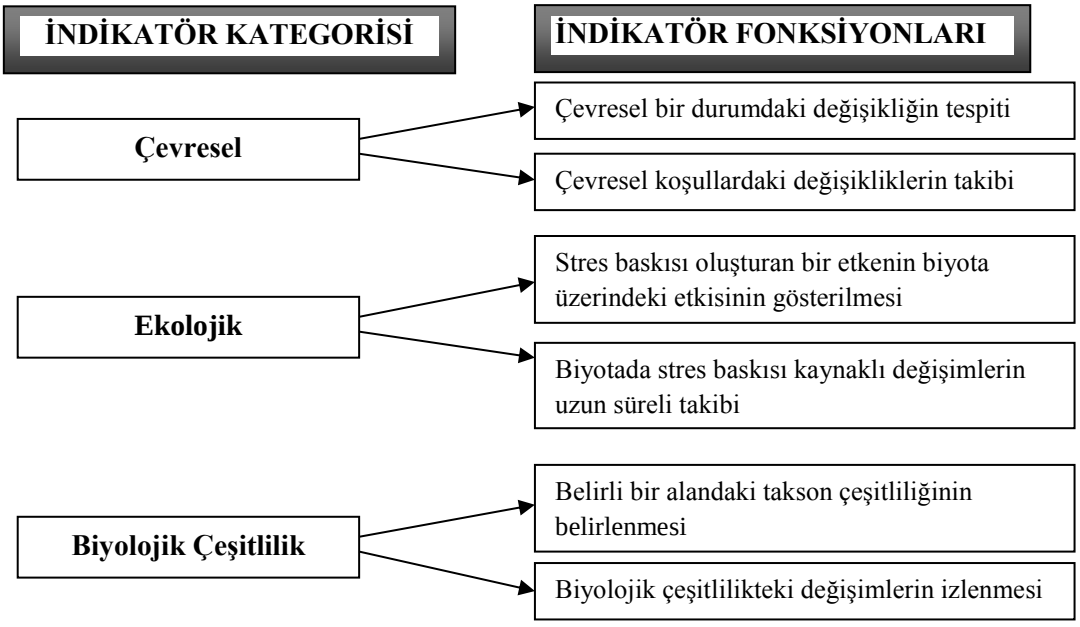
K1: Haziran Ayına ait karınca örneklemesi

K2: Eylül Ayına ait karınca örneklemesi

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Biyoindikatörlüğün birinci amacı doğal komünitelerde yaşayan organizmaları kullanarak ekolojik sistemdeki bozulmaları gözlemektir. Biyoindikatör organizmalar erken uyarı sistemleri olarak veya çevresel müdahalenin etkilerini sınırlandırmak için kullanılırlar. Biyoindikatör organizmalar için kullanılabilecek kategoriler ve fonksiyonları Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. İndikatör kategorileri ve fonksiyonları.

Biyoindikatör organizmalarağır metalleri sürekli depolayan ve bu yolla birçok ağır metali kendi vücutlarına yüksek konsantrasyonlarda biriktiren organizmalardır. Ekolojik faktörlerden daha az etkilenmektedirler.

Böcekler çeşitli çevresel koşulların ve bu koşullardaki değişimleri göstergesi olarak kullanılan biyoindikatör organizmalar arasında yer almaktadırlar [1]. Sucul ortamlarda da kirlilik düzeylerinin izlenmesi konusunda su kalitesinin bir göstergesi

olarak başarılı bir şekilde kullanılmışlardır ve sucul böceklerin biyoindikatör olarak kullanılan en başarılı grup oldukları tartışmasız bir gerçektir [2,3]. Böcekleri iyi birer biyoindikatör yapan özellikleri arasında çevresel baskılara çok çabuk yanıt veriyor olmaları, nispeten kısa nesil sürelerine sahip olmaları ve genellikle kolay bir şekilde örneklenip tanımlanabilmeleri sayılabilir [4].

Karasal ortamdaki ekofizyoloji çalışmaları genellikle gastropodlar, toprak solucanları, isopodlar ve sıçrar kuyruklular üzerinde yoğunlaşmıştır. Ağır metallerin böceklerde çok kolay bir şekilde birikime uğradıkları tespit edilmiştir [5,6,7,8,9,10,11]. Vücutlarında yüksek miktarlarda metal birikimi meydana gelebilen karıncalar ise nispeten ihmal edilmiş bir gruptur. Aslında karıncaların karasal ekosistemlerdeki etkileri çok büyüktür. Pek çok karınca türü diğer omurgasızlar üzerinden avcılık ile geçinmekte, pek çoğu bitki tohumlarını toplamakta, yuvalarında depolamakta ve yayılmalarını sağlamaktadır [12,13,14,15,16]. Karıncalar neredeyse toprak solucanlarının işlediği kadar toprağı da işlemektedirler. Böcekler arasında karıncalar çevre kirliliği ve etkileri ile ilgili çalışmalarda kullanılabilecek en uygun canlılardır çünkü karınca kolonileri perennialdirler ve işçilerin kanatsız olması nedeniyle de görece olarak dar bir alandaki kaynakları kullanmaktadırlar [7]. Buna bağlı olarak da karıncalar, vücutlarında ağır metal biriktirebildikleri için yuva yerlerindeki metal kirliliği ile ilgili önemli veriler sağlayabilmektedir. Örneğin, Rabitsch (1995) total karınca vücudu analizleri ile metal birikimi seviyelerini analiz etmiş ve elde ettiği sonuçların kısmen çalışılan (karıncaların örneklendiği) bölgedeki kirliliği yansıttığını rapor etmiştir [5].

Karıncalar hem kirli hem de temiz alanlarda metalleri yüksek konsantrasyonlarda biriktirirler. Karıncaların vücutlarındaki metal birikimi kirlilik kaynaklı yerlerde kirli olmayan yerlere göre daha yüksektir ama iki yer arasındaki farklılığın değerleri türe bağımlıdır. Örneğin *Formica rufa* türü karınca işçilerinin metal kirliliği olan alanda *Formica lugubris* türü işçilerine göre daha fazla sayıda bulunduklarını tespit etmiştir (Tablo 1.1) [8].

Tablo 1.1. Kirli ve kirletilmemiş alanlarda yaşayan *Formica* türleri ve yuva sayıları (Eeva vd. 2004'den alınmıştır - n: yuva sayısı)

Karınca Türleri	**Kirli Alan**		**TemizAlan**	
	n	**%**	**n**	**%**
Formica aquilonia	20	50.0	44	63.8
F.polyctena	8	20.0	10	14.5
F.lugubris	1	2.5	12	17.4
F.rufa	6	15.0	2	2.9
F.pratensis	5	12.5	1	1.5
Toplam	**40**	**100**	**69**	**100**

Ağır metal kirlenmesi, organik kirlenmeler gibi kimyasal ve biyolojik yollarla giderilemediği için suda ve bentik çamurda artan bir birikim gösterir. Kirliliğe neden olan ağır metaller taşkın, sel, akıntı ve kuruma gibi nedenlerle toprağa ve toprak üzerindeki canlılara ulaşır. Hem toprak üstü hem de toprak altında yaşayan karıncaların vücutlarında ağır metal biriktirdiği bilinmektedir [7,8,17,18]. Karıncalardaki ağır metal birikimi düzeylerinin mevsimlere bağlı olarak da farklı olabileceği rapor edilmektedir. Örneğin, Stary ve Kubiznakova (1987) *Formica* cinsi karıncalarda yaz dönemindeki metal birikiminin yaz aktivitesi nedeniyle ilkbahara oranla daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir[10]. Bir karıncanın farklı vücut kısımlarındaki metal birikimi de farklılık göstermektedir. Rabitsch (1997), üç farklı karınca türünde (*Formica pratensis, Formica polyctena ve Camponotus ligniperda*) çeşitli ağır metallerin dokulardaki birikim düzeylerini incelemiş ve her üç türde de orta bağırsak, malpighitübülleri ve arka bağırsakta yoğun metal birikimi olduğunu belirlemiştir [9]. Karınca vücudu için gerekli olmayan metaller çoğunlukla besinlerle birlikte vücuda alındıklarından bazı dokularda, yıkıcı bir etkiye neden olmaksızın, yoğun bir birikime uğrarlar. Eeva vd. (2004) Finlandiya'daki bir bakır işletmesi civarında var olan *Formica* cinsi karıncaların tür kompozisyonları, populasyon yoğunlukları, nispi bollukları ve koloni büyüklükleri ile ilgili yaptıkları çalışmada dominant tür olarak tespit ettikleri *Formica aquilonia*'da çeşitli ağır metallerin (Al, Cu, Cd, Ni, Zn, As, Pb, Hg) birikim düzeylerini incelemişler ve Hg dışında incelenen tüm metallerin seviyelerinin kirliliğin olduğu bölgelerde yüksek olduğunu belirlemişlerdir [8]. Kirli ve kirli olmayan alanlar karşılaştırıldığında, işçi karıncaların vücutlarındaki metal birikiminin kirli alanlarda daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Metal düzeyleri bakır işletmesinden uzaklaştıkça üssel bir düşüş eğilimi göstermiştir. Rabitsch (1997) karıncaların ağır metal birikimi kapasitesini aktif

metal atılımı ile gerçekleştirebileceğini öne sürmüştür [9]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda *Lasius niger* türü karınca işçilerinin vücudunda Cd konsantrasyonu belirli bir eşiğe ulaştığında karıncaların bunu düzenleyen bir yeteneği olduğunu doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir [11]. Maavara (1994) kirletilmiş bölgelerdeki işçi karıncalarda yüksek metal konsantrasyon seviyelerine, larva ve pupa gibi gelişim evreleri ile dişi ve erkek karıncalarda ise düşük metal konsantrasyonu seviyeleri olduğunu tespit etmiştir [17].

Çevre sorunlarının başında gelen ağır metal kirliliği ve bu sorunlara yönelik çözümler, dünya kirletilmeye devam ettiği sürece en çok araştırılan konular arasındadır. Çalışma alanı olarak seçilen Ergene Havzası kirlilik sorunları nedeniyle sürekli olarak gündemdedir. Ergene Nehri, Vize'nin Çakıllı Köyü'nden içilebilir halde doğmaktadır. Saray'dan itibaren kirlenmeye başlayan nehir özellikle Çerkezköy, Çorlu, Muratlı ve Lüleburgaz hattında yoğunlaşmış olan sanayi tesislerinin önemli bir bölümünün atıklarıyla zehir yüklü olarak Meriç'e karışmakta ve son olarak Saroz Körfezi'nden Ege Denizi'ne akmaktadır. Taşkınlarla bu atıklar, özellikle ağır metaller Ergene Havzası'na yayılarak kirliliğin boyutlarını ve etkilerini arttırmaktadır.

Bu çalışmada, Trakya Bölgesi Ergene Havzasında endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan ağır metallerin *Formica cunicularia* türü karınca işçilerindeki birikim düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, havza boyunca bir tanesinde ağır metal kirliliğinin düşük üç tanesinde ise yüksek olduğu düşünülen dört farklı lokaliteden karınca, nehir suyu, nehir çamuru ve nehir çevresi toprağından Haziran ve Eylül olmak üzere iki farklı periyotta örneklemeler yapılarak bu örneklerdeki ağır metal içerikleri tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ışığında, örneklerdeki metal birikimi arasında bir ilişki olup olmadığı, var ise bu ilişkinin ne yönde olduğu ve metal birikimi bakımından dönemsel bir farklılık olup olmadığı tespit edilmiştir. Ağır metal kirliliği konusunda *F.cunicularia* türü işçilerinin bir biyoindikatör organizma potansiyeline sahip olup olmadığı tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

2. GENEL BİLGİLER

2.1. AĞIR METALLER

Ağır metal, periyodik cetvelin, üçüncü ya da daha yüksek periyodunda bulunan metaller için kullanılan ve bilimsel olmayan bir terimdir. Genel olarak zehirli ve çevre kirliliğine olan tüm metaller ağır metal olarak adlandırılmaktadır. Ağır metal tanımı fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Kurşun, kadmiyum, krom, demir, bakır, kobalt, nikel, civa ve çinko olmak üzere altmıştan fazla metal ağır metal grubuna dahildir. Metallerin ekolojik sistem üzerine etkilerinden bahsederken aslında metalin ait olduğu grubun ele alınması ve bu özelliğin vurgulanması biyolojik etki açısından çok daha anlamlıdır [19].

Antik çağlarda metal cevherlerinin işlenmeye başlanmasından beri metaller insan faaliyetleri sonucu olarak doğal çevirimler dışında atmosfere, hidrosfere ve pedosfere yayılmaya başlamıştır. Her gün yüzlerce kirletici doğaya deşarj edilmektedir. İnsanlığı tehdit eden kirleticilerin en önemlileri; petrol, yağ, klorlu hidrokarbonlar, radyoaktif atıklar, sentetik deterjanlar, pestisitler, yapay ve doğal tarımsal gübreler, ağır metaller, bakteri ve virüs gibi hastalık yapıcı canlılardır. Bu kirleticilerin içinde yer alan ağır metallere en ciddi kirleticiler gözüyle bakmak gerekmektedir [20].

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yer altı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür gibi katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğu için suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir [19].

Ağır metallerin çevreye yayılmasında da etkili olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Tablo 2.1'de temel endüstrilerden atılan metal türleri genel olarak gösterilmiştir [21].

Tablo 2.1. Temel endüstrilerden atılan metal türleri (Kahvecioğlu vd. 2004'den).

Endüstri Türü	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Pb**	**Ni**	**Sn**	**Zn**
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Havaya atılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aeresol olarak veya toz halinde solunurlar. Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvanlar ve insanlar üzerinde etkin olurlar [21].

Ağır metallerin bazıları canlı organizmalar tarafından metabolize edilemezler (yani kullanılamazlar- örneğin demir kan hücrelerinde hemoglobin için oksijen taşınmasına yardım ederken; bakır, alüminyum, kurşun, arsenik, platin, civa gibi ağır metaller canlı bünyesinde kullanılmaz sadece birikir). Bu tür ağır metaller canlı bünyesinde birikmesi dışında yediğimiz canlı organizmalarla da taşınır (biyoakümülasyon).

2.1.1. Ağır Metallerin Etkileri

Ağır metallerin çevreye ve canlılara olan etkileri çok fazladır. Aşağıda bazı ağır metallerin sahip oldukları etkiler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Kurşun: Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararı veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayi atık sularında da

istenmeyen konsantrasyonlarda kurşun kirliliğine rastlanır. Tek hücreli canlıların ve balıkların 0,04-0,198 mg/l inorganik kurşun içeren suları tolere edebildikleri ancak daha düşük miktarlarda kurşunun besin yoluyla alınmasında akut zehirlenme gösterdikleri bilinmektedir [21].

Kadmiyum: Kadmiyumun doğada tek başına bulunduğu minerali yoktur. Normal olarak vücudumuzda 40 mg'a kadar kadmiyum bulunabilmektedir ve günlük olarak da 40 mg'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Bu seviyeler kadmiyumun çoğunu topraktan yani yiyecekler yoluyla alması nedeniyle bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Endüstri bölgelerinde havadaki kadmiyum oranı kırsal alanlara oranla çok daha yüksektir [19].

Krom: Ekonomik olarak işletilen tek krom minerali kromittir. Krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonuve fosil yakıtların, ağaç ve kağıt ürünlerinin yanması neticesinde doğada altı değerlikli krom oluşmaktadır. Okside krom havada ve saf suda nispeten kararlı iken ekositemdeki organik yapılarda, toprakta ve suda üç değerliğe geri redüklenir. Kromun kayalardan ve topraktan suya, ekosisteme, havaya ve tekrar toprağa olmak üzere doğal bir dönüşümü vardır. Ancak yılda yaklaşık olarak 6700 ton krom bu çevrimden ayrılarak denize akar ve okyanus tabanında çökelir. Laboratuar denemelerinde kromun kanserojen özelliği tespit edilmiştir ve kanserojen etki özellikle bronş sisteminde etkindir [21].

Bakır: Bakırın canlılar üzerindeki etkisi kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişir. Küçük ve basit yapılı canlılar için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir. Bu nedenle bakır ve bileşikleri fungusit, biosit, antibakteriyel madde ve böcek zehri olarak tarım zararlılarına ve yumuşakçalara karşı yaygın olarak kullanılır. Pestisitlerde yer alan bakır iyonları sağlık açısından çok tehlikelidir. Az miktarda bakır iyonunun alınması vücudun bakır dengesini bozmakta, enzim aktivitesini engellemekte, karaciğer, beyin ve böbreklerin normal olarak çalışmasını bozmaktadır. Ayrıca bakır iyonu bitkilerde uzun süre kalabilir. Örneğin; elma ağaçlarında giderek azalmakla birlikte 12 hafta varlığını sürdürdüğü tespit edilmiştir [22].

Kobalt: Yeryüzünde 25 mg/ton ortalama ile kobalt en az sıklıkla bulunan elementler grubundadır. Kobalt ve kobalt bileşiklerinin insanlar üzerinde kansere neden olduğuna dair henüz kesin bulgular olmamasına rağmen, kobalt bileşikleri risk teşkil etmektedirler ve kanserojen madde gibi muamele görürler [19].

Nikel: Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. Deriyi tahriş etmesinin yanında kalp-damar sistemine çok zararlı ve kanserojen bir metaldir. Zararlı etkilerine rağmen nikel ve tuzlarıyla zehirlenme nadir rastlanan bir vakadır [13]. Nikelin toksikolojik etkileri temel olarak 3 grupta incelenebilmektedir. Bunlar; kanserojen etki, solunum sistemine etki ve dermatolojik etkidir [21].

Çinko: Çinko metali ve birçok bileşiği diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında düşük zehirlilik etkisi gösterirler. Çinko tuzlarının toksikliği çinkodan daha fazla, yapısında bulunduğu bileşiğin anyonik kısmının toksikliğine bağlıdır. Örneğin; çinko kromatın ($ZnCrO_4$) yüksek zehirleyici ve kanserojen özelliği Zn^{2+} yüzünden değil, anyonik CrO_4^{2-}bileşeni [21].

Arsenik:. Bitki ve hayvanlarda karbon ve hidrojenle bileşik yapar. Çoğu arsenik bileşiğinin özel bir tadı ve kokusu yoktur. Çevrede bulunan arsenik buharlaşmaz, çoğu arsenik bileşiği suda çözünür, arsenik bulaşmış maddelerin yanmasıyla havaya karışabilir, havadan yere inerek birikebilir, parçalanmaz ancak bir türden diğerine dönüşebilir. Solunum ve sindirim yolları ile vücuda alınır. İnorganik arsenik insanlar için çok zehirli olup organik arsenik daha az zararlıdır. Besinlerde ve sudaki yüksek miktarda (60 ppm) arsenik öldürücü durumda olabilir. Arsenik sinir sistemi, mide, bağırsak ve cilt dokularına zarar verir durumdadır. Yüksek miktarda solunması akciğer ve solunum yollarında yaralara neden olabilmektedir. Arsenik bilinen bir kanserojendir. İnorganik arseniğin solunması akciğer kanserine, besin yoluyla alınması ise cilt, mesane, böbrek, karaciğer ve akciğer kanserine neden olabilir. EPA(Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)'nın içme suyu için verdiği en üst sınır 0,05 ppm'dir [23].

Demir: Demir doğada çok bulunmasına rağmen, doğal suların kapsamında az miktarda bulunur. Bunun nedeni demirin sudan hızlı çökerek ayrılmasıdır. Bazı yer altı suları ve asidik yüzey sularında fazla miktarda demir bulunabilir. Litrede 0.3 mg'dan

itibaren demir içerin suların lezzeti hoş değildir. Böyle sular sanayi ve günlük gereksinim bakımından kullanılmaya uygun değildir. Demir insan organizmasında özellikle alyuvarların yapısında bulunan, hemoglobinin fonksiyonel bir parçası olması yönünden önemlidir. Günlük demir gereksinimi oldukça ufaktır. Bu çocuklar için 10-15 mg arasında değişir, büyüklerin demir gereksiniminde kadın, erkek, genç ve yaşlı oluşuna göre farklılık gösterir. Genç kadınlarda ve emziren annelerde 18 mg kadardır. Vücuttan dışkı, idrar ve terle atılan demir miktarı 1 mg civarındadır [24].

50 mg/kg dozdan fazlası alınmışsa ağır toksisite yapabilir. 75 mg/kg dozdan fazlası ciddi bulgu ve belirtilere yol açar. Gastrointestinal mukozada ülser, enfarkt ve nekroz oluşturur. Fazla miktarda alınan demir bağırsaktan portal dolaşıma absorbe olarak, karaciğer nekrozuna sebep olur. Plazma demiri, plazma demir bağlanma kapasitesini aşınca çeşitli organları etkiler [24].

Mangan: Genellikle doğada demir elementi daha birçok elemente bağlı halde bulunur.

Toprakta minerallerden geçmiş mangana rastlanır. Toprak veya tortul kütlelerdeki mangan atmosferik olayların etkisiyle çözünerek suya geçer. Demiri fazla olan sularda, çok defa mangana rastlanır. Fakat miktarı çok az olup; litrede 0,3 mg'ı geçmez. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerliklidir. Yüzeysel sularda, özellikle göl ve baraj gibi rezervuarların dip çökeltisi çamurları içerisinde bulunur ve indirgeyici ortamda çamurdan suya geçer. Manganın suda bulunmasının zararı endüstri sularında hemen hemen demirin etkisinin aynısıdır. Bu da suda bazı bakterilerin çoğalmasına yardım ettiği gibi, boruların tıkanmasına demirden fazla neden olur. 0,5 mg/lt mangandan fazlası sulara kötü bir lezzet verir. Çay ve kahve hazırlamaya, çamaşır yıkamaya uygun değildir. Endüstride mangan suların arıtımı gerekmektedir. Yiyeceklerdeki mangan miktarları önemli derecede değişiklik gösterir. Süt ürünlerinde düşük konsantrasyonlarda etlerde 0-0,8 mg/kg, balıkta 0-0,1 mg/kg bulunur. Fındıkta fazladır. İnsan ve hayvanlarda mangan esas elementtir. Ancak alınan manganın % 3'ü absorbe edilir. Kalp damar hastalıklarında ölüme mani olmak için içme sularında mangan bulunması önerilmektedir. Mangan en az zehirli elementtir [24].

2.2. OMURGASIZLARDA AĞIR METAL BİRİKİMİ

Ağır metaller biyolojik sistemin önemli parçalarındandır fakat yüksek dozda toksiktirler. *Drosophila melanogaster*'ın larva ve yetişkinlerinde ağır metallerin yapmış olduğu biyolojik ve davranışsal etkiler araştırılmıştır. Fe, Cu, Zn, Cd gibi ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarında meyve sineklerinin beslenme davranışlarına etkileri, üreme başarısı, pupasyon yeri gibi biyolojik etkileri incelenmiş vemeyve sineklerinin yüksek dozda ağır metal içerikli besinlerden kaçınmış olmaları hayatta kalmalarına yardımcı olan bir etken olarak ele alınmıştır. Diğer taraftan, sineklerin yumurtlama oranlarında belirgin bir düşüş, pupadan erginliğe geçişte belirgin azalış, erginlerde ise ömür kısalığı gözlenmiştir [25].

Embriyonun yaşamı yumurtlama bölgesine bağlı durumdadır. Böcekler sınırlı alanda gezindiklerinden dişilerin yumurtlama yeri seçimi üreme başarısında kritik rol oynar. Ebeveynlerin yumurtlama tercih ilişkisinin ve yumurtanın yaşamı arasındaki ilişkiyi araştırmak için farklı ağır metal konsantrasyonlarındaki yetişkin yumurtlama yüzdesi kaydedildi. Düşük metal konsantrasyonlarında bırakılmış yumurtalar yetişkin olabilirken yüksek metal konsantrasyonundakiler larva gelişimiyle kısıtlı kalmışlardır. Sonuç olarak *Drosophila melanogaster*'in yumurta bırakıp bırakmama konusunda ağır metaller büyük önem taşırlar [25].

Omurgasızlar toprak bölmesindeki kirleticilerle yakın temas halindedir. Birçok hayvan (memeliler, kuşlar, vb.) bu omurgasızları besin olarak tükettiği ve bu canlılarda da metal birikimi meydana geldiği için omurgasızlarla beslenen hayvanlar için bu durum risk oluşturmaktadır [9]. Örneğin, toprak omurgasızlarında Cd, Cu, Pb ve Zn biyoakümülasyonu üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada Arthropoda ve Lumbricidae üyelerindeki metal birikimi düzeyleri karşılaştırılmış ve Isopoda'larda metal konsantrasyonunun en yüksek, Coleoptera'lerde en düşük, Lumbricidae'de ise bu ikisinin arasında bir değerde olduğu tespit edilmiştir [26].

Karadjova ve Markova (2009) Bulgaristan'daki bir bakır madeni çevresinden yaz ve sonbahar aylarında örnekledikleri çekirgelerdeki çeşitli metal birikimi seviyelerini flame atomik absorbsiyon ve elektrotermal atomik absorbsiyon spektrometresi yöntemleri ile ölçmüş ve mevsimler ve örnekleme alanları arasında

farklılıklar olsa da çekirgelerde yüksek metal birikimi meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bölgede emisyonu en fazla olan metaller Cu, Cd, Fe ve Pb ele alındığında Cd ve Pb'un tesisten uzaklaştıkça azalan orandaki birikimi ortam kirliliği ile birikim arasındaki pozitif ilişkiyi yansıtmaktadır. Diğer taraftan çekirgelerdeki Cu, Fe, Mn ve Ni birikimleri örnekleme bölgeleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Araştırıcılar Cu, Fe ve Mn'da gözledikleri düşük birikimi bu metallerin böcek metabolizması için gerekli metaller olmalarına ve vücuttaki miktarlarını düzenleyecek ve toksik düzeylerde birikimlerini engelleyecek fizyolojik mekanizmaların varlığına bağlamışlardır [27].

Ayrıca kerevitler üzerinde yapılan çalışmalarda özellikle esansiyel olmayan ağır metal kirliliğinde kerevitlerin, ortam koşullarının daha iyi anlaşılması amacıyla kullanıldıkları görülmektedir. Cu ve Zn gibi esansiyel olan ağır metalleri ise kerevitler ortam konsantrasyonlarından bağımsız olarak yüksek oranlarda akümüle etmektedir. Her ne kadar bu durum biyoindikatör türlerin pek çoğunda da görülen ve türlerin biyoindikatör olarak değerlerini azaltan bir faktörde olsa kerevitler biyoindikatör olarak kullanılmaya uygun canlılardır [28].

Biyoindikatör olarak kullanılan organizmaların büyük bir çoğunluğunu dibe bağlı yaşayan ya da çok yavaş hareket edebilen bentik canlılar oluşturmaktadır. Ancak bunların beraberinde diğer gruplar arasında da biyoindikatör türlere rastlanmaktadır. Bunlar arasında özellikle bazı algler ve sucul çiçekli bitkiler kirliliğin göstergesi olarak bilinir. Bentik hayvan ve bitkisel organizmalar kadar olmasa da nektonik ve planktonik organizmalar arasında da bazı kirlilik biyoindikatörü türlere rastlanır. Su kalitesini belirlemede balıklar, bentik canlılar, algler, bakteriler (biyoindikatör bakteriler) ve plankton (planktonik biyoindikatör türler) kullanılmaktadır [29].

2.3. BÖCEKLERDE AĞIR METAL BİRİKİMİ

Böcekler çeşitli çevresel koşulların göstergesi olarak kullanılan organizmalar arasında yer almaktadırlar. Sucul ortamlarda da böcek kirlilik düzeylerinin izlenmesi konusunda su kalitesinin bir göstergesi olarak başarılı bir şekilde kullanılmışlardır ve

akuatik böceklerin biyoindikatör olarak kullanılan en başarılı grup oldukları tartışmasız bir gerçektir .

2.3.1. Biyoindikatör nedir?

- Ağır metali sürekli depolayan ve bu yolla birçok ağır metali kendi vücutlarına yüksek konsantrasyonlarda biriktiren organizmalardır.
- Ortamdaki mevcut ağır metal miktarının zamana bağlı ölçümünü sağlar.
- Ortamın sadece ölçülen zamandaki değil daha öncesindeki ağır metal kirlilik durumunu da yansıtır.
- Ekolojik faktörlerden (rüzgar, dalga, düşük miktarda bulunan akıntı hareketleri vb.) diğer ölçüm tekniklerine göre daha az etkilenir.

2.3.2. Böcekleri iyi bir biyoindikatör yapan özellikler

Böcekleri iyi birer biyoindikatör yapan özellikleri arasında çevresel baskılara çok çabuk yanıt veriyor olmaları, nispeten kısa nesil sürelerine sahip olmaları ve genellikle kolay bir şekilde örneklenip tanımlanabilmeleri sayılabilir. Böcekler aynı zamanda Noss (1990) tarafından belirlenen iyi bir biyolojik indikatör olma kriterlerinden üç tanesini de karşılamaktadır:

- Herhangi bir değişime karşı erken bir uyarı verecek kadar hassastırlar.
- Çok geniş bir coğrafik alanda yayılış gösterirler.
- Çok çeşitli çevresel baskıların sürekli olarak değerlendirilmeleri konusunda veriler sağlayabilmektedirler [4].

Yapılan çalışmalar su ortamındaki metal birikimin tespitinde direkt olarak su örneklerinin kullanılmasının yanı sıra sucul organizmaların da su kalitesinin birgöstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Sucul böcekler su ortamında varlıkları analizler ile tespit edilemeyecek kadar düşük konsantrasyonlarda bulunan metallerin tespitinde kullanılmaktadırlar. Farklı sucul böceklerin sudaki metal birikimi değişimlerine verecekleri yanıtlar farklı olacağı için belli bazı türlerin su ortamındaki varlıkları ya da yoklukları o su ortamının kalitesi hakkında bir gösterge olarak kullanılmaktadır [27].

Her ne kadar böcekler akuatik ortamlar için iyi bir biyoindikatör olarak kullanılmışlarsa da karasal ortamdaki durumları konusunda yeterli veri

bulunmamaktadır [30]. Buna rağmen, akuatik ortamda böcekleri biyoindikatör organizma olarak kullanılmaya iten özellikleri aynen karasal ortamlara da uygulanabilirler ve nitekim yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir [27].

Metal birikimi organizmaların vücutlarında uniform bir dağılım göstermemektedir. Omurgasızlarda metal birikimin meydana geldiği hedef vücut bölgeleri toprak solucanlarındaki klorogogen dokular ile mollusklar, centipedler ve kabuklulardaki hepatopankreastır. Karasal böceklerde metal alınımının meydana geldiği en önemli aracı sindirim kanalıdır. Böceklerde ön ve arka bağırsak kısımları ektodermal kökenli oldukları besinlerle vücuda alınan metallerin emilimi endodermal orta bağırsak ile yapılmaktadır. Bunun yanın sıra, boşaltım organları olmaları nedeniyle malpighi tübülleri de önemli bir geçici ya da kalıcı metal birikimi alanlarıdır. Böceklerdeki bu tipik birikim organlarına ilave olarak Zn, Cu ve Cd gibi metallerin böcek kutikulasının eksokütikular kısmında mandibüllerde de birikime uğradığı tespit edilmiştir [9].

2.4. KARINCALARDA AĞIR METAL BİRİKİMİ

Karasal ortamdaki ekofizyoloji çalışmaları genellikle gastropodlar, toprak solucanları, isopodlar ve sıçrar kuyruklular üzerinde yoğunlaşmıştır. Vücutlarında yüksek miktarlarda metal birikimi meydana gelebilen karıncalar ise nispeten ihmal edilmiş bir gruptur. Aslında karıncaları karasal ekosistemlerdeki etkileri çok büyüktür. Pek çok karınca türü diğer omurgasızlar üzerinden avcılık ile geçinmekte, pek çoğu bitki tohumlarını toplamakta, yuvalarında depolamakta ve yayılmalarını sağlamaktadır. Karıncalar neredeyse toprak solucanlarının işlediği kadar toprağı da işlemektedirler [5].

Ağır metallerin böceklerde çok kolay bir şekilde birikime uğradıkları tespit edilmiştir [5,6,7]. Böcekler arasında karıncalar çevre kirliliği ve etkileri ile ilgili çalışmalarda kullanılabilecek en uygun canlılardır çünkü karınca kolonileri perennialdirler ve işçilerin kanatsız olması nedeniyle de görece olarak dar bir alandaki kaynakları kullanmaktadırlar [7]. Karıncalarda yüksek oranda metal birikimi meydana geldiği bilinmektedir. Rabitsch (1995) total karınca vücudu analizleri ile metal birikimi seviyelerini analiz etmiş ve elde ettiği sonuçların kısmen çalışılan (karıncaların örneklendiği) bölgedeki kirliliği yansıttığını rapor etmiştir [5].

Rabitsch (1997) üç farklı karınca türünde (*Formica pratensis, Formica polyctena ve Camponotus ligniperda*) çeşitli ağır metallerin dokulardaki birikim düzeylerini incelemiş ve her üç türde de orta bağırsak, malpighi tübülleri ve arka bağırsakta yoğun metal birikimi olduğunu belirlenmiştir. Karınca vücudu için gerekli olmayan metaller çoğunlukla besinlerle birlikte vücuda alındıklarında bazı dokularda, yıkıcı bir etkiye neden olmaksızın, yoğun bir birikime uğrarlar. Bunun dışında, vücuda giren ağır metaller boşaltım sistemi ile elimine edilebilirler, ayrılma yoluyla bir biyotrasformasyona uğrarlar ya da metal bağlayan glikoproteinler veya metal bağlayıcılar gibi taşıyıcılara bağlanabilirler. Rabitsch (1997) *F.pratensis*'de örnekleme alanındaki metal kirliliği ile paralel bir şekilde yüksek oranda metal birikimi olduğunu tespit etmiştir. Rabitsch (1997) aynı ortamdan elde edilen *F.polyctena ve C.ligniperda*'da ise farklı dokular düzeyinde metal seviyelerini analiz etmiş ve bu iki türdeki metal birikimi açısından anlamlı farklılıklar olduğunu, dolayısıyla türe özgü bir birikim düzeyi olduğunu tespit etmiştir. Ancak yinede ortamdaki metal miktarındaki artışa bağlı olarak farklı dokularda meydana gelen birikim de artış göstermiştir [9].

Rabitsch (1995) bir başka çalışmasında Avusturya'da ki bir kurşun-çinko işletmesi etrafındaki 13 karınca cinsine ait işçilerin vücutlarında birikime uğrayan Pb, Cd, Cu ve Zn miktarlarını tespit etmiş ve birikimin hem bölgeye, hem türlere hem de metallere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini tespit etmiştir. Birikim en fazla Formicinae altfamilyası üyelerinde, daha sonra da Dolichoderine ve Myrmicinae altfamilyaları üyelerinde meydana gelmiştir. Pb, Cd ve Zn birikiminin bazı türlerde kirlilik kaynağından uzaklaştıkça azaldığı ancak Cu birikiminin ise genellikle örnekleme alanına bağımlılık göstermediği tespit edilmiştir. Yaz dönemi örneklerinde bahar dönemine göre daha fazla metal birikimi tespit edilmiştir [5].

Bazı alanlarda ise bir cinsin iki tür arasında dahi birikim yönünden farklılık tespit edilmiştir. Bazı durumlarda ise kirlilik kaynağına yakın olan karıncalardaki metal birikimi miktarı, kaynağa daha uzak olanlardakinden daha düşük seviyelerde çıkmıştır ki bu da söz konusu metal için vücutta düzenleyici bir mekanizmanın çalışıyor olabileceğine işarettir. Kirlilik kaynağından uzaklaştıkça karınca vücutlarında gözlenen Pb, Cd ve Zn birikimindeki azalma karıncaların biyoindikatör olarak kullanılabileceklerinin açık bir göstergesidir [5].

Farklı alt familyalar arasındaki birikim miktarındaki değişimde karıncaların farklı beslenme tercihleri ile açıklanabilir. Örneğin Formicinae üyeleri metal içeriğinin daha yüksek olması muhtemel bitki biti kaynaklı balözü tüketmektedirler. Ağır metaller karınca vücuduna metal birikimli bitkisel materyalin tüketilmesi ile, bu bitkilerin özsuları ile beslenen bitki bitlerinin şekerli salgılarının tüketilmesi ile, kirliliğin söz konusu olduğu ortamdaki diğer omurgasızların av olarak yakalanması ile ve vücut üzerine yapışan toz ve toprak partikülleri aracılığı ile girebilmektedir [5].

Bazı durumlarda yaşadıkları ortamdaki metal fazlalığı nedeni ile bitkilerde bazı metallerin birikimi fazla olabilmektedir. Bitkiler bu aşırı metal birikimine karşı bazı tolerans mekanizmaları geliştirmişlerdir. Karasal ortamdaki besin zincirinin birinci halkasını oluşturmaları nedeniyle bitkilerdeki metal birikimi neticesinde o bitkilerle besin ilişkisine giren böceklerde de dolaylı bir metal birikimi meydana gelmektedir. Örneğin, Body vd (2006) yüksek oranda metal biriktirme kapasitesine sahip bir bitki olan *Berkheya coddii* üzerinden topladıkları 26 böcekte çok yüksek düzeylerde Ni ve yine yüksek miktarlarda Co, Cr ve Pb tespit etmişlerdir. Analiz edilen böcekler arasında bitkinin kök ve gövdesi üzerinden *Polyrhachis* sp. cinsi karıncalar elde edilmiş ve yapılan analizler sonucunda diğer böceklerle karşılaştırıldığında Mn miktarının nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [30].

Karıncalardaki ağır metal birikimi ile ilgili yapılan çalışmalarda sadece işçi karıncalardaki birikim düzeyleri tespit edilmemiş, aynı zamanda farklı kastlardaki ve pupalardaki metal birikim düzeyleri de tespit edilerek karşılaştırılmalı veriler elde edilmiştir [8].

Yapılan çalışmalar koloni içindeki sosyal besin zincirinin bir sonucu olarak yuvaya besin getiren işçilerden kuluçka ve kraliçelere doğru metal birikiminde bir düşüş olduğunu ortaya koymuştur [8,32]. Grezes vd. (2009) yapay beslenme yolu ile ağır metal yüklemesi yaptıkları *Formica aquilonia* kolonilerinde zamana bağlı olarak uygulanan metallerin birikimlerini incelemiş ve besin aramadan sorumlu olan işçilerle karşılaştırıldığında pupalardaki metal birikiminin çok daha az olduğunu belirlemişlerdir. Yuva hacimlerine bakıldığında da kirletilmiş bölgelerdeki yuvaların temiz bölgelerdeki yuvalara oranla %34 daha küçük olduğu tespit edilmiştir [32].

Migula ve Glovacka (1997) çeşitli derecelerde endüstriyel kirlenmeye maruz kalmış *Formica polyctena* işçilerindeki Cd, Pb, Zn, Mn ve Cu düzeylerini hem farklı

kastlarda hem de pupalarda takip etmişler ve yuvadan ayrılıp besin arayan işçilerde en fazla metal içeriği tespit etmişlerdir. Metal içeriği yuva yüzeyindeki işçilerden yuva içinde kalıp kuluçka ve kraliçeye bakıcılık yapan işçilere doğru kademeli olarak bir azalış gösterdiği ortaya konmuştur. Aynı çalışmada pupalardaki metal birikimi düzeyleri de incelenmiş ve Cu dışındaki diğer tüm metallerde pupalardaki birikimin işçi karıncalardan anlamlı derecede az olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde karıncaların pupalarını metal transferine karşı korudukları ortaya çıkmaktadır ki bu da kolonilere yüksek kirli bölgelerde dahi hayatlarını sürdürme şansı vermektedir. Yüksek düzeyde Cd içeren besinler ile yapay olarak beslenen *Formica polyctena* kolonilerinde dahi pupal evredeki metal birikimi belirli bir düzeyin üzerine çıkmamıştır [31].

Rabitsch (1995) de Myrmicinae, Formicina ve Dolichoderinae alt familyalarından 13 farklı karınca türü ile gerçekleştirdiği çalışmada pupalardaki metal birikiminin işçi karıncalara oranla Cu hariç diğer metallerde daha düşük seviyelerde olduğunu ortaya koymuştur. Cu söz konusu olduğunda ise incelenen türe ve örnekleme sahasına bağlı olmaksızın birikimin ergin bireyler ile aynı seviyelerde olduğu belirlenmiştir [5].

Yuvadan ayrılarak gezinen işçi karıncalardaki metal birikiminin diğer işçilere göre daha fazla oranda meydana gelmesi beklenebilir. Bu da hem yaş ile hem de uzamış beslenme periyodu ile açıklanabilir. Ancak etrafı kolaçan etmek için yuvadan ayrılarak yaşlı işçilere katılan genç işçiler de eğer yaşlılarla birlikte toplanırlarsa bu durumda yaşlılardan elde edilecek metal birikimi düzeylerini aşağıya çekeceklerdir. Bu nedenle mümkün mertebe örnekleme yapılırken işçiler arasında ayırım yapılmasına dikkat edilebilir. Kraliçe örneklemesi yapılır ise de şöyle bir durum oluşur, var olan metal stresine karşı koloniyi korumak için toleransı daha yüksek ya da daha az kontamine olmuş bölgelerdeki kraliçelerin daha zayıf durumdaki kolonilere katılabilecekleri ve bu şekilde de metal stresine karşı populasyonu koruyabilecekleri ileri sürülmüştür [31].

Başka bir çalışmada *Myrmica rubra* cinsi karıncada metal kirliliğine toleransın gelişip gelişmediğini ölçmek için yapılmıştır. Bu çalışmada Polonya'da 7 farklı bölgeden larva ve işçi bireyler toplanmış ve besindeki Zn toleransına maruz bırakılmışlar. Çalışmanın sonucunda larva ölüm oranının örnekleme bölgesi kirliliğinden bağımsız olduğu ancak besindeki Zn konsantrasyonu ile larva ölüm oranı

önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. İşçilerde ise tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. İşçilerde Zn kirliliği ile ölüm oranı bağımlıdır (azalmıştır). Beklentilerin aksine, Bertalanffy kıvrımlarıyla tahmin edilen maksimum larva kitlesi kirlilik derecesiyle artmıştır. Larvalar erginlerden daha hassastırlar ama Zn ile kirletilmiş bölgelerde metal kirliliğinin toleransını arttırmış olabilir [7].

Karıncaların etkili bir Cd ve Zn biriktiricileri oldukları düşünülmektedir. *Lasius niger* işçileri ile Cd kirliliğinin olduğu bir bölgede gerçekleştirilen bir çalışmada Cd konsantrasyonuda görülen 1-8 mg/kg'lık artışa paralel olarak karınca vücudundaki Cd konsantrasyonunun hızlı bir şekilde yaklaşık olarak 40 mg/kg'a kadar arttığı ve bu seviyede sabit kaldığı tespit edilmiştir [32].

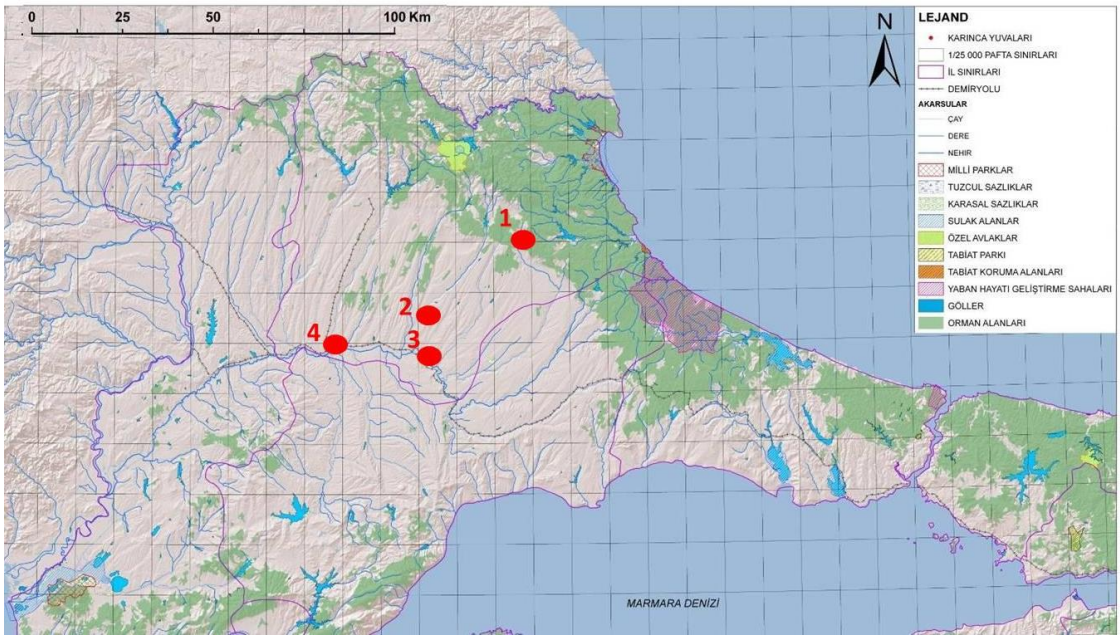
Ergene su havzasındaki su, toprak ve farklı iki karınca türünde (*F.cunicularia* ve *Lasius alienus*) ağır metal birikimi düzeylerinin belirlenmesinin amaçlandığı başka bir çalışmanın sonucunda ölçülen elementlerin topraktaki seviyeleri bakımından iki farklı gruba ayrıldığı (nispeten bol olan; Fe, Mn, Pb ve nispeten az bulunan; Cu, Co, Cr, N, Cd), özellikle karınaların Fe, Mn, Zn ve Cu elementlerini bölgeden örneklenen suya nazaran çok daha fazla biriktirdiği, bu nedenle ortamdaki Fe(%90), Mn(%21), Zn(%36) ve Cu(%83) gibi elementlerin gösterilmesi açısından karıncaların uygun olacağı sonucuna varılmıştır [18].

BÖLÜM 3

3. MATERYAL METOD

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma, Trakya Bölgesi'nde yer alan Ergene Havzası'nda (40º 45've 42º 10' kuzey enlemleri ile 26º 15've 28º 15'doğu boylamları arasında) yürütülmüştür (Şekil 3.1). Bölge içinde seçilen 4 farklı lokaliteden (Şekil 3.1) karınca, toprak, su ve çamur örnekleri alınarak ağır metal içerikleri tespit edilmiştir [33].



Şekil 3.1. Örnekleme yapılan lokaliteler. 1; Çakıllı-Vize-Kırklareli, 2; Düğüncübaşı-Lüleburgaz-Kırklareli, 3; Alacaoğlu-Lüleburgaz-Kırklareli, 4; Katranca-Babaeski-Kırklareli.

Çalışma alanı olan Ergene Havzası, bölgede son yıllarda hızla artan sanayi faaliyetlerinin sonucunda yoğun bir kirlilik baskısı ile karşı karşıya kalmıştır. Havza

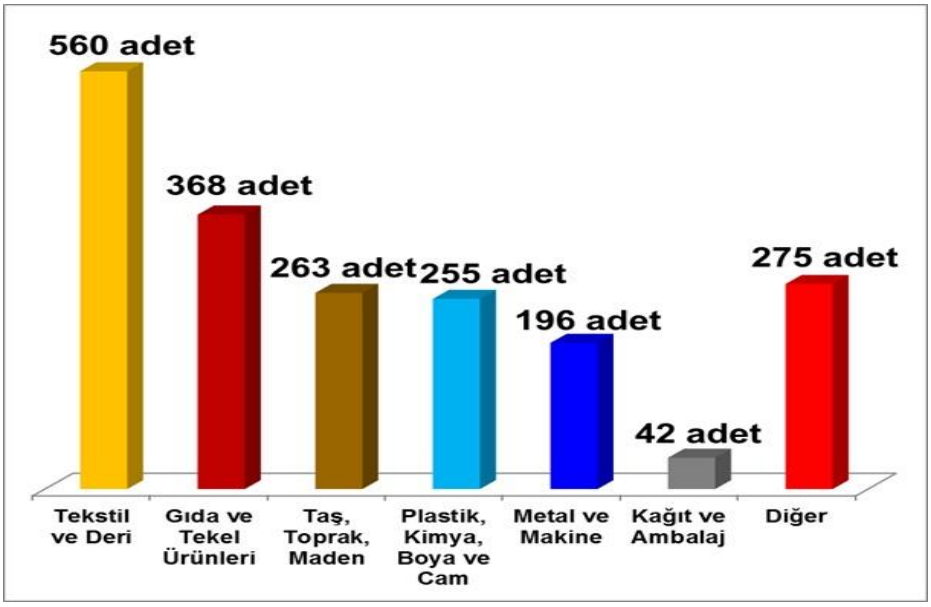
içinde yer alan ve kirlilikten çok büyük oranda etkilenen Ergene Nehri, havzanın kuzey doğusunda bulunan Istranca Dağları'ndaki Ergene kaynaklarından doğmakta ve Ergene Deresi adıyla Kuzeydoğu-Güneybatı yönünde akmaktadır [33].

Türkiye'nin sanayideki gelişimi ağırlıklı olarak İstanbul'da başlamış ve öncelikli bölge İstanbul'un doğusu seçilmiştir. Sanayinin yayılması, Gebze'den başlayarak Kocaeli ve Sakarya'ya ulaşmasından sonra, 1970'lerden başlamak üzere İstanbul'un batısına, başka bir deyişle de Trakya'ya sıçramıştır. Bu yayılma 1980'li yıllardan sonra büyük birim kazanmıştır. Havzada 2.037 adet sanayi tesisi bulunmaktadır. Sanayinin;

- %82'si Tekirdağ,
- %10'u Kırklareli,
- %8'i Edirne'dedir.

Ergene Havzası özellikle coğrafi konumu gereği sanayinin cazibe merkezi olmuştur. Özellikle havzanın doğu kesimi sanayileşmenin çok yoğun olduğu bir bölgedir. Bölgede 1990 yılından sonra hızla artan çarpık sanayileşme çok sayıda çevresel sorunu beraberinde getirmiştir. Tekirdağ bölgesinde yoğunlaşan sanayinin takibi çok zor olmakta ve bunun sebebi olarak da firmaların İstanbul merkezli olması gösterilmektedir. Sanayi tesislerinin önemli bir kısmı, Ergene Nehri'nin başlangıcında yer alan Çorlu-Çerkezköy alt havzasında yoğunlaşmakta ve buna bağlı olarak nehirdeki kirlilik de bu bölgede başlamaktadır [33].

Havzadaki sanayi tesislerinin önemli bir kısmı Tekirdağ ilinde bulunmaktadır. Bu ildeki sanayi ağırlıklı olarak Çerkezköy, Çorlu, Muratlı ve Lüleburgaz çevresinde gelişmiştir. Sanayinin sektörel dağılımında tekstil sektörü ilk sırayı almaktadır. Daha sonra sırasıyla gıda, kimya ve maden sektörleri gelmektedir (Şekil 3.2) [33].



Şekil 3.2. Ergene Havzası'nda faaliyet gösteren sanayi tesislerin sektörel dağılımı.

Şekil 3.2.'de de gösterildiği gibi Ergene Havzası'nda en fazla tekstil sanayi bulunmaktadır. Tekstil sanayii kuruluşlarının çevreye bıraktığı ağır metallerin başında Zn, Fe, Cr ve Cu gelmektedir.

Ergene Nehri, Vize'nin Çakıllı Köyü'nden içilebilir halde doğmaktadır. Saray'dan itibaren kirlenmeye başlayan nehir özellikle Çerkezköy, Çorlu, Muratlı ve Lüleburgaz hattında yoğunlaşmış olan sanayi tesislerinin önemli bir bölümünün atıklarıyla zehir yüklü olarak Meriç'e karışmakta ve son olarak Saroz körfezinden Ege Denizi'ne akmaktadır. Taşkınlarla bu atıklar özellikle ağır metaller maalesef Ergene Ovası'na yayılarak kirliliğin boyutlarını ve etkilerini arttırmaktadır.

3.2. LOKALİTELER

Çalışma süresince Kırklareli-Vize-Çakıllı Köyü (41º 31'19.2''N, 27º 54'55.5''E), Kırklareli-Lüleburgaz-Düğüncübaşı Köyü (41º 20'46.2''N, 27º 17'12.7''E), Kırklareli-Lüleburgaz-Alacaoğlu Köyü (41º 16'31''N, 27º 18'12''E) ve Kırklareli-Babaeski-Katranca Köyü (41º 21'09.9''N, 27º 04'45.7''E) olmak üzere dört farklı lokaliteden örnekleme yapılmıştır (Şekil 3.3, 3.4, 3.5 ve Şekil 3.6). Lokalitelerin seçiminde havzadaki kirlilik göz önüne alınmıştır. Çakıllı Köyü Ergene Nehri'nin kaynak yeri olduğu için metal konsantrasyonu düşük olduğu düşünülmüştür, diğer üç

lokalite de metal konsantrasyonunun yüksek olduğu düşünülen bölgelerden seçilmiştir . Metal konsantrasyonunun yüksek olduğu lokalitelerin seçiminde potansiyel kirletici kaynaklara yakın olma kriteri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.3. Çakıllı lokalitesi (Ergene Nehri'nin çıkış noktası). a) örnekleme alanı genel görünümü, b) Ergene Nehri kaynak noktası (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015).





Şekil 3.4. Düğüncübaşı lokalitesi. a) örnekleme alanı genel görünümü, b) Ergene Nehri'nde kirlilik (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015).



Şekil 3.5. Alacaoğlu lokalitesi. a) örnekleme alanı genel görünümü, b) Bu lokalitede örnekleme yapılan Ergene kolundaki kirlilik (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015)



Şekil 3.6. Katranca lokalitesi. a) örnekleme alanı genel görünümü, b) Bu lokalitede örnekleme yapılan Ergene Nehri'nde kirlilik (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015)

3.3. ÖRNEKLERİN ALINMASI/TOPLANMASI

Örneklemeler, ağır metal birikiminde periyodik bir farklılık olup olmadığının belirlenmesi amacıyla Haziran 2015 (1.periyot) ve Eylül 2015 (2.periyot) olmak üzere iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. Her lokaliteden karınca, toprak, su ve bentik

çamurundan örnekler toplanmıştır. Toplanan örnekler uygun taşıma ve saklama koşulları dikkate alınarak laboratuvara getirilmiş ve analizleri yapılmıştır.

3.3.1. Karıncaların örneklenmesi

Çalışmada karınca olarak *Formica cunicularia* Latr.1798 türü kullanılmıştır (Şekil 3.7). *F. cunicularia* Trakya Bölgesinde yaygın olarak bulunan bir karınca türüdür [34,35,36.37]. Taş altlarında ya da küçük toprak yığınları içerisinde bulunan bu tür yuvalarını demiryolu kenarlarına, ağaçlık alanların güneş alan sınır bölgelerine, kuru ve açık çayırlık alanlara inşa etmektedir. Her bir yuva birbirinden ayrıdır ve tek bir kraliçe içermektedir. Avcılık ve çöpçülük ile beslenen bu türün eşeysel bireyleri Temmuz ve Ağustos aylarında ortaya çıkar. Bu tür Kuzey Afrika'dan Güney İskandinavya'ya Portekiz'den Urallar'a kadar dağılım göstermektedir [38].



Şekil 3.7. *Formica cunicularia* (https://www.antweb.org)

Türkiye'de bilinen dağılımı Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Bozcaada, Bursa, Artvin, Trabzon, Ağrı, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van'dır [34,35,39].

F. cunicularia işçilerinde baş ve göğüsün büyük bir kısmı çoğunlukla kırmızı renkte, yanak ve mesopleural aktivasyonlar kırmızımsı, vücudun geri kalan kısmı kül rengi grimsi siyah, gula ve oksiput çıplaktır. Pronotumda normal olarak dik kıllar ancak kısmında bulunmamaktadır. Vücut büyüklükleri 4.0-6.5 mm'dir [38].

Her lokalitede tespit edilen *F. cunicularia* yuvasından emgi tüpü yardımı ile çok sayıda işçi karınca toplanmış ve ağır metal analizinde kullanılacak örnekler içi boş, elektron mikroskobu analizlerinde kullanılacak örnekler ise % 96'lık etil alkol içeren tüplere konmuştur.

İşçi karıncalar toplanırken büyük ve tecrübeli olanlar seçilmiştir. İşçi karıncalar yaz aylarında daha aktiftirler ve yuvalarına besin taşımaktadırlar. Bu görevi üstlendikleri için daha fazla ağır metal birikimine maruz kalmaktadırlar. Yuvadan ayrılan işçilerin vücutlarında; yuvada bulunan kraliçe, larva, pupa ve erkek bireylere göre daha çok metal birikimi bulunduğu bilinmektedir [11].

3.3.2. Toprak örneklemesi

Her lokaliteden ağır metal analizi için toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 3.8). Bu amaçla, örneklenen *F. cunicularia* yuvasına yakın bir alandan küçük bir el küreği yardımı ile 500 gr. kadar toprak örneği alınmış ve laboratuvara getirilmek üzere sağlam plastik torbalara konularak etiketlenmiştir. Laboratuvara getirilen toprak örnekleri deanalizleri yapılana kadar +4 ºC'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.8. Toprak örneklenmesi (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015)

3.3.3. Su örneklemesi

Çalışmaya dahil edilen her lokalitedendoğrudan Ergene Nehri'nden ve/veya kollarından su örnekleri alınmıştır (Şekil 3.9). Örneklerin alınması için temiz 1.5lt hacimli PET (Polietilen tereftalat) su şişeleri kullanılmıştır. Örnekler, örnekleme şişelerinin kıyıya yakın bir bölgede suya daldırılması ile elde edilmiştir. Alınan örnekler etiketlendikten sonra aynı gün laboratuvara getirilmiş ve analizleri yapılana kadar +4 ºC'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.9. Su örneklemesi (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015)

3.3.4. Bentik çamuru örneklemesi

Su örnekleri alındıktan sonra aynı yerden bentik çamur örnekleri de alınmıştır (Şekil 3.10). Bunun için çamur kepçesi yardımı ile yeterli miktarda dip çamuru örneği alınmış ve örnekler sağlam plastik torbalara konularak etiketlenmiştir. Analiz için laboratuvara getirilen çamur örnekleri de analizleri yapılana kadar +4 ºC'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.10. Bentik çamuru örneklemesi (Fotoğraf: Bahadır Aydın, 2015)

3.4. ÖRNEKLERİN ANALİZİ

Arazi çalışması süresince toplanan örnekler analiz aşamasına kadar Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Davranış Ekolojisi Laboratuvarında saklanmıştır.

Tüm örneklerin ağır metal analizleri Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TÜTAGEM) kurulu bulunan İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS; Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) cihazında, sadece karınca örnekleri kullanılarak yapılan elektron mikroskopisi ile karınca vücudunda ağır metal içeren abdominal bölgelerin belirlenmesi analizleri ise, aynı merkezde bulunan taramalı elektron mikroskobuna (SEM) (Model; ZEISS EVO LS 10) bağlı EDX (Energy Dispersive X-Ray) detektörü ile yapılmıştır. ICP-MS analizlerinde karınca, toprak, bentik çamur ve su örneklerinde krom (Cr), mangan (mn), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) içerikleri tespit edilmiştir.

3.4.1. Ağır metal analizleri

Karınca örnekleri için ağır metal analizi

Araziden toplanarak ağır metal analizi için laboratuvara getirilen karıncalardan her bir lokalite için toplam 3 tane işçi karınca seçilerek hassas terazi kullanılarak tartımları yapılmış ve içinde % 65'lik 5 ml nitrik asit (HNO_3) bulunan viallere konularak mikrodalgada yakılmıştır. Yakma işlemi cihaza daha önceden kayıtlanan sıcaklık derecesindeyapılmıştır. Yakma işlemini takiben çözünmüş örneklerden 1 ml alınarak üzerine 9 ml ultra saf su konularak ICP-MS cihazında (Agilent Technologies 7700 Series) ağır metal analizleri yapılmıştır. Analiz öncesinde örneklerde seyreltme yapıldığı için analiz cihazına bir seyreltme katsayısı tanımlanmış ve seyreltmede yapılan işlemler cihazdan çıkan sonuçlardan düşürülerek net sonuca ulaşılmıştır. Laboratuvarda "In house" metodu uygulanmış olup 7 noktalı kalibrasyon yapılmıştır.

Toprak ve bentik çamur örnekleri için ağır metal analizi

Araziden örneklenerek ağır metal analizi için laboratuvara getirilen toprak ve çamur örnekleri aynı ön işlemlere tabi tutulmuştur. İlk olarak toprakvebentikçamuru örnekleri içerisinde var olan taş ve bitki kalıntıları elle ayıklanarak uzaklaştırılmıştır. Her bir toprak ve çamur örneğinden 0.5 gr tartılarak üzerine 5 ml HNO_3, 3 ml HCI (Hidroklorik asit), 2 ml $HCIO_4$ (Perklorik asit) ilave edilmiş ve mikrodalgada yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemini takiben çözünmüş örneklerden 1 ml alınıp üzerine 9 ml ultra saf su konularak örnekler ağır metal analizleri yapılmıştır. ICP-MS (Agilent Technologies 7700 Series)'te ölçüm yapılmıştır. Toprak ve bentik çamuru örneklerinin analize hazırlıkları esnasında da seyreltme yapıldığı için, seyreltme katsayısı ile ilgili karınca örnekleri için yapılan işlemler toprak ve bentik çamuru örneklerinden de aynı sıra ile yapılmıştır. Laboratuvarda "In house" metodu uygulanmış olup 7 noktalı kalibrasyon yapılmıştır.

Su örnekleri için ağır metal analizi

Su örneklerinin analizleri ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) 200.8'e göre yapılmış olup su ile aynı matriks kullanılarak 7 noktalı kalibrasyon çizimi yapılmıştır. Araziden alınantüm su örnekleri ICP-MS (Agilent Technologies 7700 Series) cihazına

konmadan önce 0.45 mikron por çaplı filtreden geçirilmiştir. 9 ml'lik su örneği üzerine 1 ml HNO_3 ilave edildikten sonra karışım viallere konularak ICP-MS yerleştirilmiştir ve ağır metal analizleri yapılmıştır.

ICP-MS cihazı ile analizi yapılan tüm örnekler için elde edilen metal analizi sonuçları ppb (µg çözünen / kg veya litre çözelti) biriminde verilmiştir.

Su örneklerinin ağır metal içeriklerinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY) göre dahil oldukları su kalite sınıflandırmaları ile toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (TKKY) göre belirlenmiş ağır metal sınır değerli ile olan karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.4.2. Elektron mikroskobisi

Karıncaların vücudunda ağır metal içeren abdominal bölgelerin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobunda (SEM-EVO LS 10) da incelemeler yapılarak metal içeren bölgelere ilişkin görüntüler elde edilmiştir.

Elektron mikroskobisi öncesinde karınca örnekleri SEM cihazının gereksinimleri doğrultusunda ön işlemlere tabi tutulmuştur. % 96'lık alkol tüpleri içerisinde laboratuvara getirilen karınca örneklerinin abdomenleri bir diseksiyon mikroskobu (Olympus SZ51) kullanılarak bisturi yardımı ile vücudun geri kalanından ayrılmıştır. Her bir abdomen daha sonra boyuna bir kesit ile iki eş parçaya ayrılmış ve parçalardan bir tanesi görüntüleme işlemine alınmıştır. Elektron mikroskobuna yerleştirilecek abdomen kesitleri, üzerinde karbon bantlar bulunan tablalara, iç organlar yukarıda kalacak şekilde yerleştirilerek yapışması sağlanmıştır. Örnekler, karbon bantlara rahatça yapışabilmeleri ve görüntü alma işlemi esnasında SEM içindeki hava hareketlerine bağlı olarak yerinden oynamamalarıiçin görüntüleme işlemi öncesinde 24 saat süre ile etüvde 180 °C'de bekletilmiştir. Etüvden çıkan örnekler SEM cihazına yerleştirildikten sonra metal içeren bölgelerin belirlenmesi için gerekli mikroskop ve yazılım ayarları yapılmış ve görüntüleri alınarak abdomen içerisinde metal birikiminin yoğunlaştığı alanlar tespit edilmiştir.

3.5. VERİLERİN ANALİZİ

Karınca, toprak, bentik çamuru ve su örneklerindeki ağır metal düzeyleri için TÜTAGEM' de bağımsız üç okutma yapılmış ve her bir örnekteki metal düzeyi için bu üç okutmanın ortalaması alınmıştır.

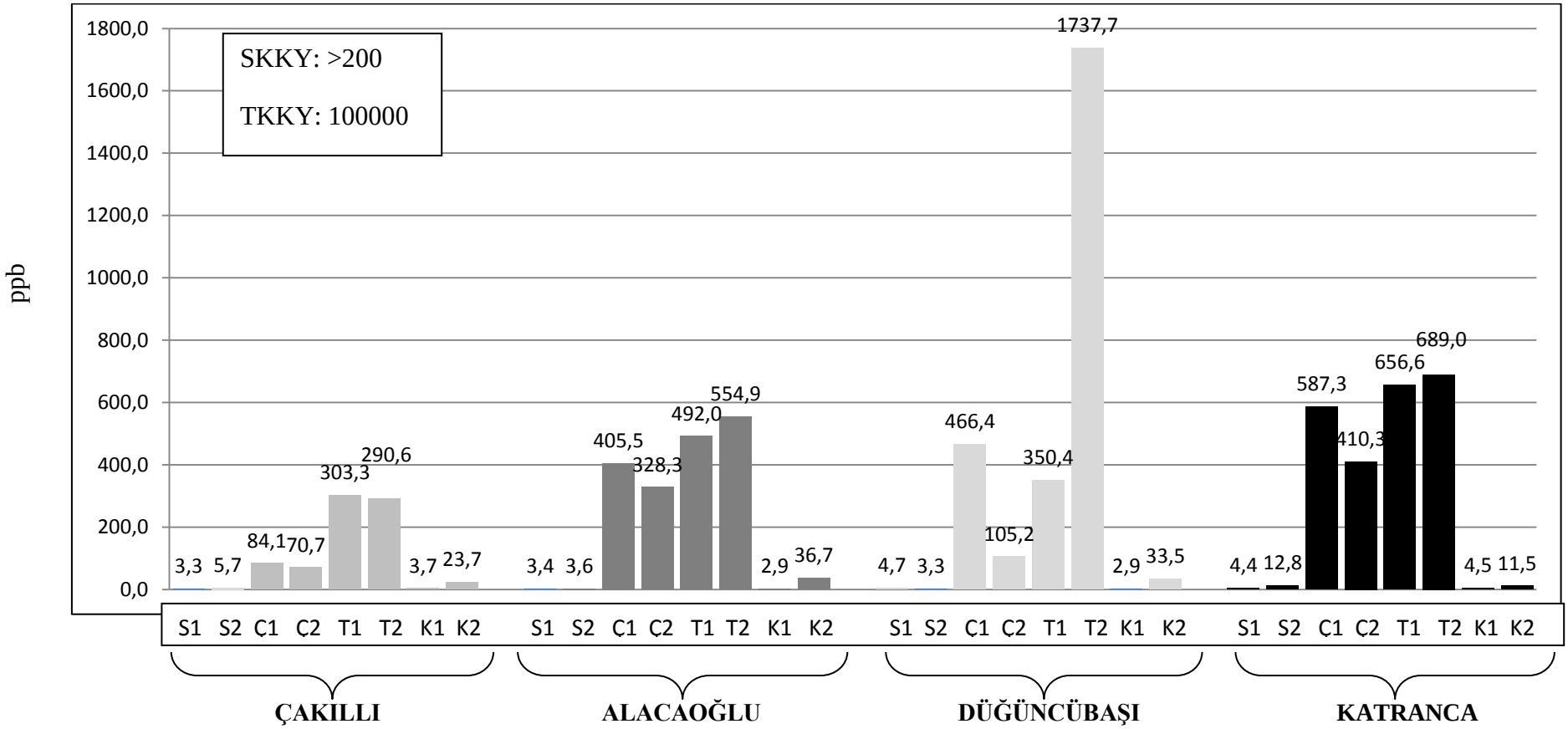
Her bir lokaliteden elde edilen karınca, toprak, bentik çamuru ve su örneklerinin ağır metal içeriklerinin arasında, farklı lokalitelerdeki karınca örneklerinin ağır metal içerikleri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığının belirlenmesinde tek yönlü ANOVA istatistik analizi kullanılmıştır. İki farklı periyotta yapılan örneklemelerin ağır metal içeriklerinin birbirlerinden farklı olup olmadığının belirlenmesinde ise bağımsız örneklem t- testi kullanılmıştır. Tüm istatistiki analizlerde SPSS 10.0 paket programı kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

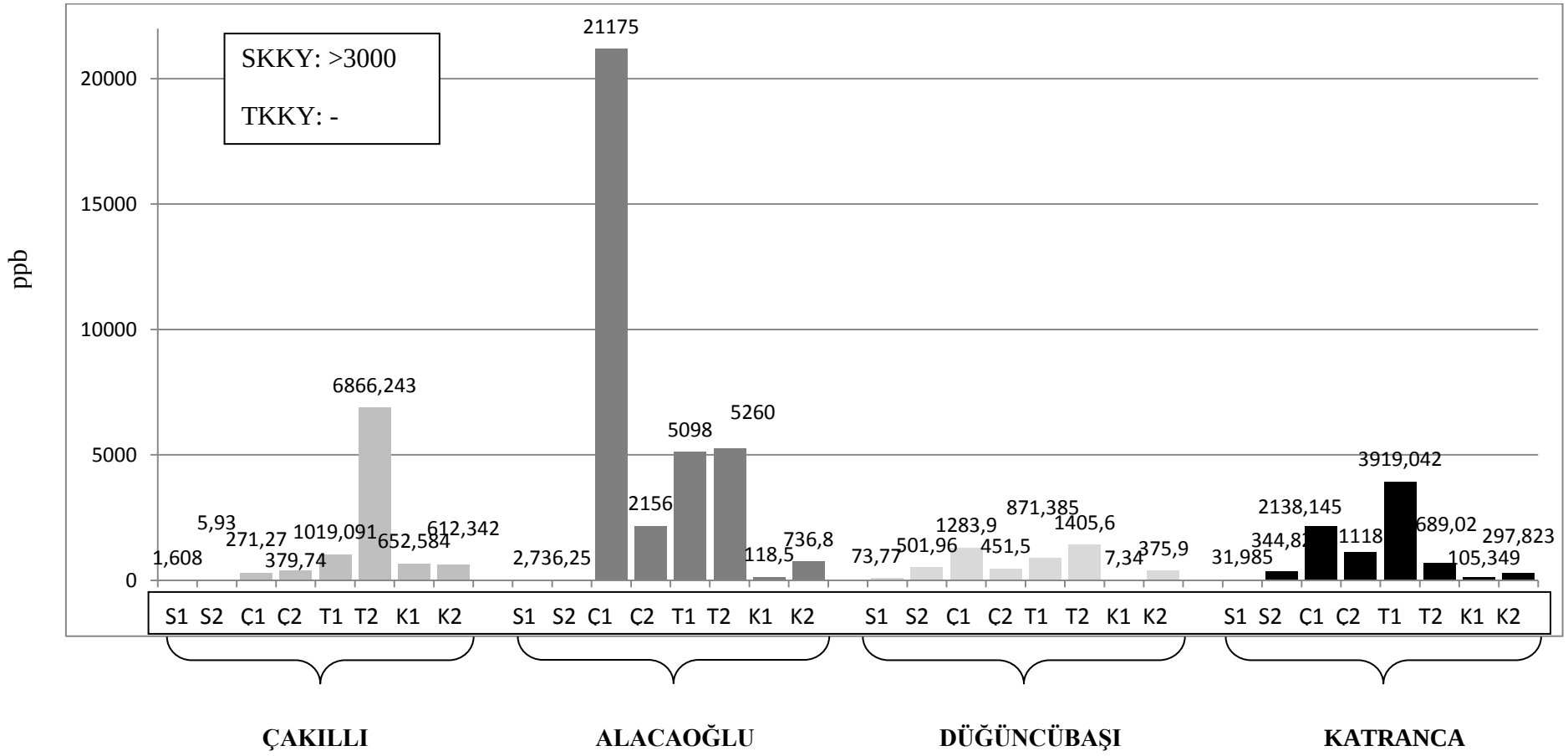
4. SONUÇLAR

4.1. AĞIR METAL ANALİZİ SONUÇLARI

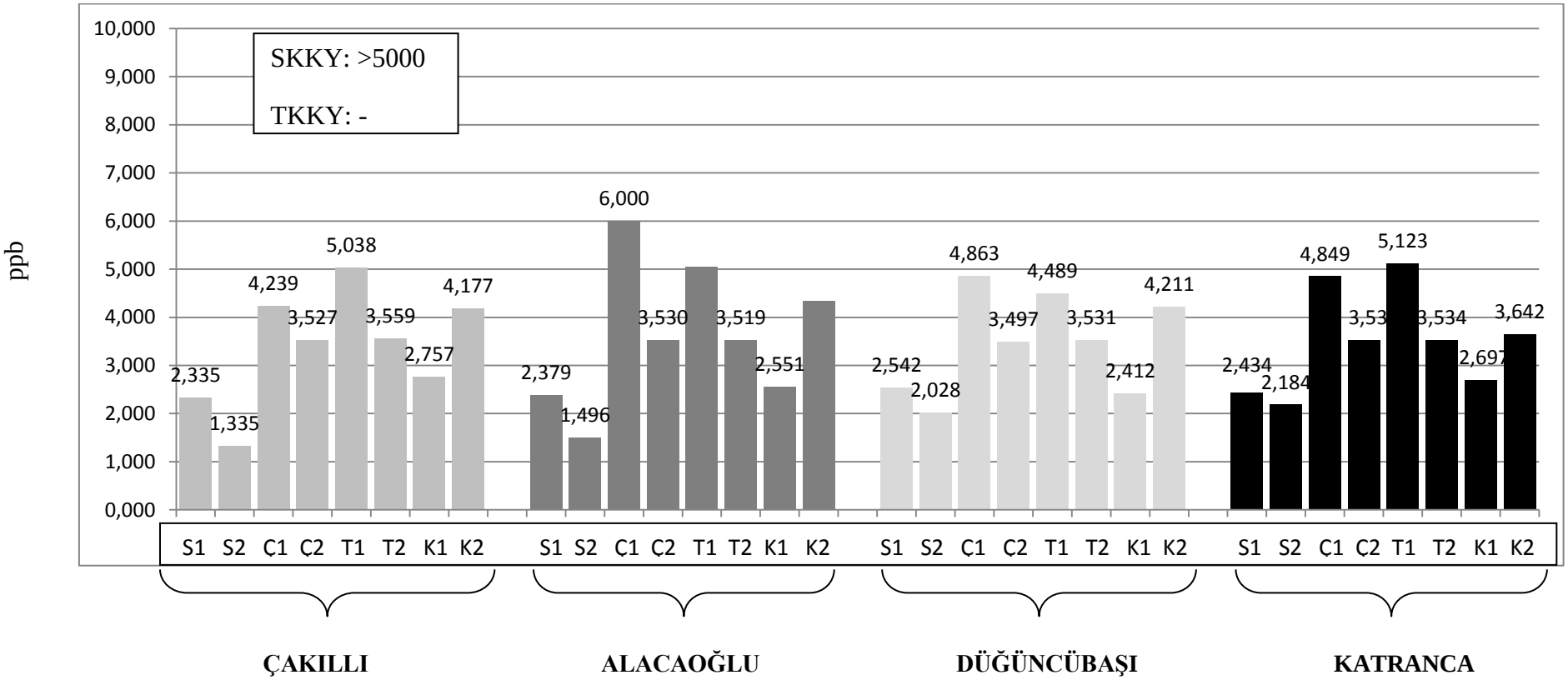
Ağır metal Trakya Bölgesi'nde seçilen ve farklı kirlilik derecelerine sahip oldukları öngörülen 4 farklı lokalitede (bknz Şekil 3.1) Haziran ve Eylül aylarında birer kez olmak üzere toplamda 2 kez gerçekleştirilen su, çamur, toprak ve karınca örneklerinin ağır metal (10 metal) içerikleri ICP-MS kullanılarak analiz edilmiş ve Şekil 4.1- Şekil 4.10'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.



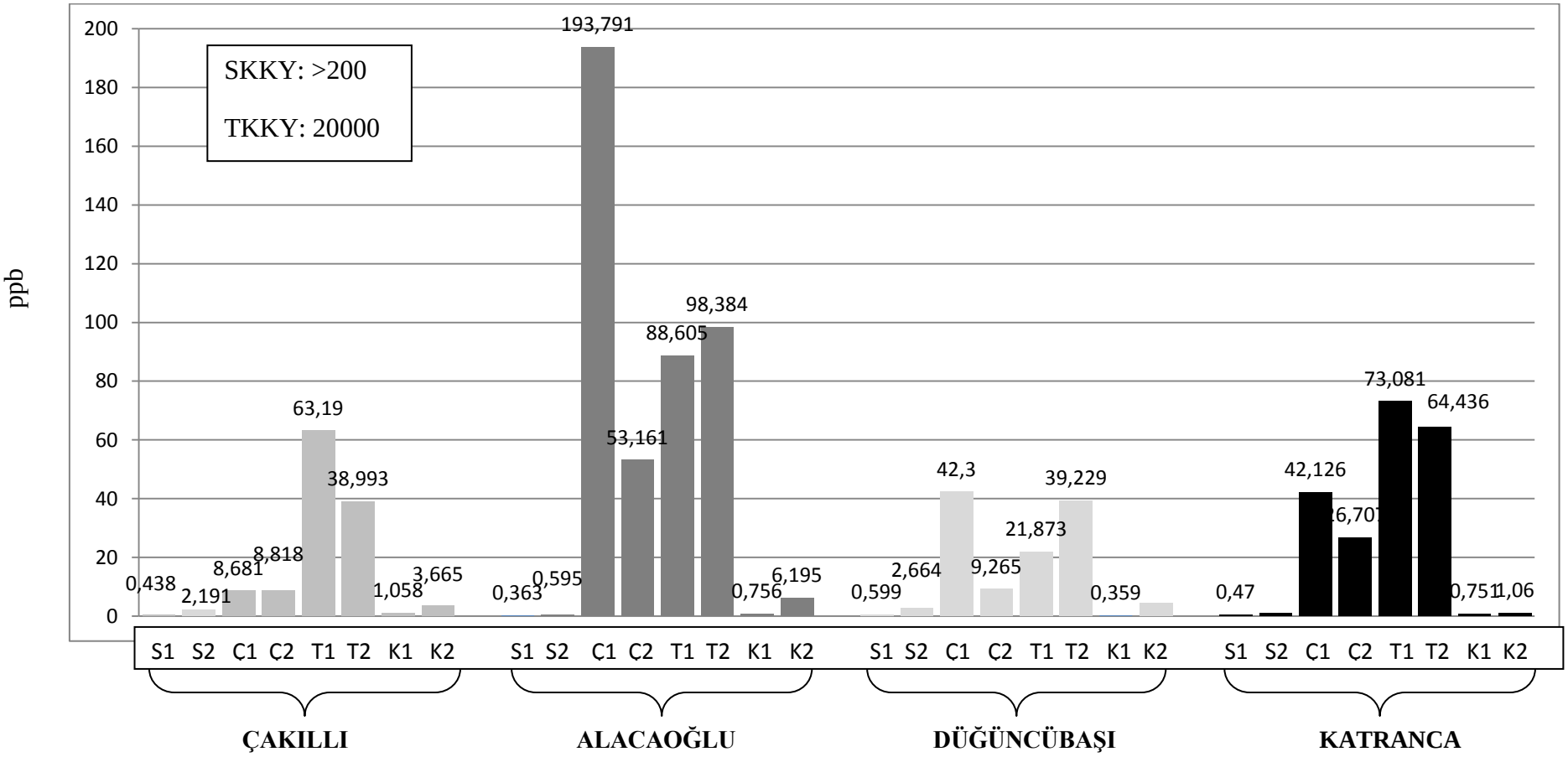
Şekil 4.1. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Cr** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



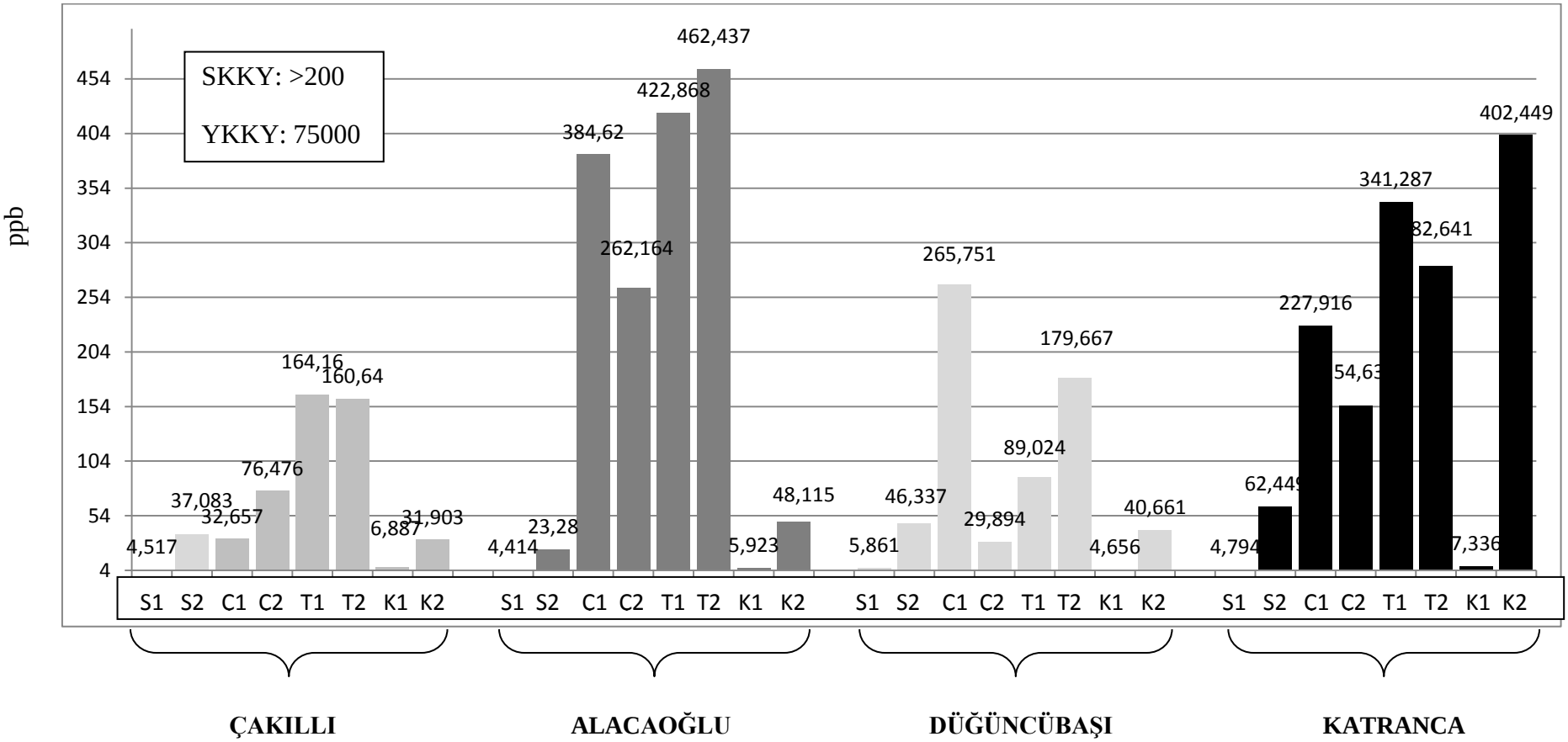
Şekil 4.2. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Mn** değerleri.S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



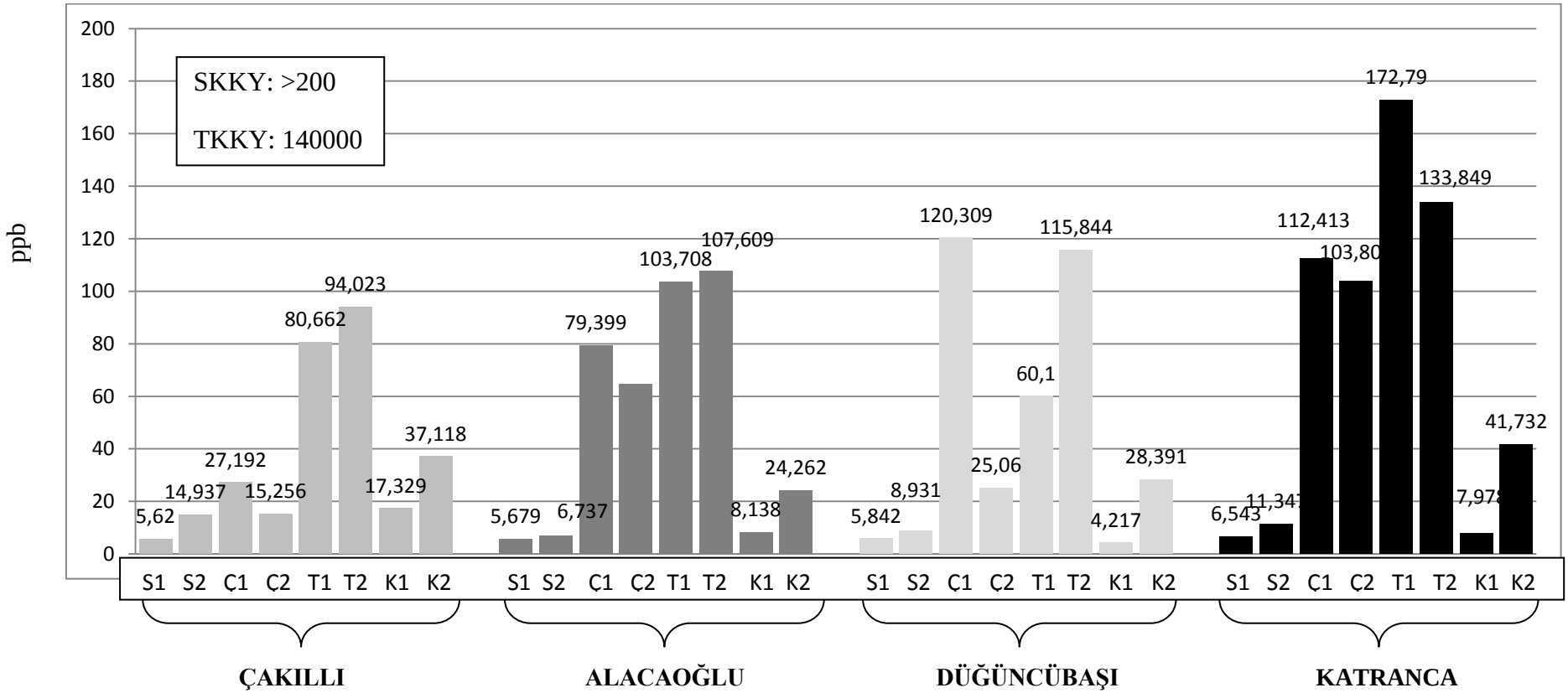
Şekil 4.3. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Fe** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız. ppb değerleri verilirken uç değerlerin varlığı nedeniyle tüm değerler Log10 dönüşümü yapıldıktan sonra grafiğe alınmıştır.



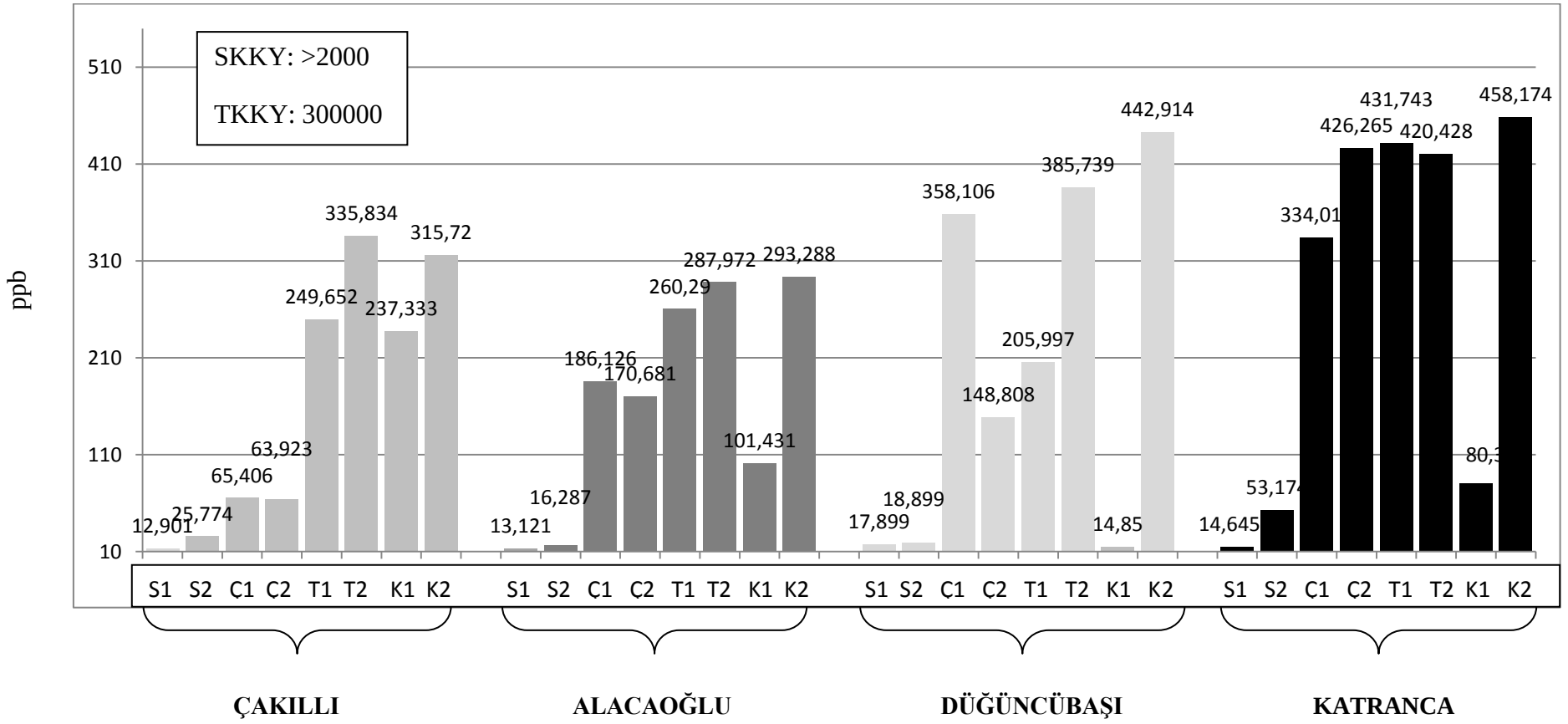
Şekil 4.4. Çakıllı,Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Co** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



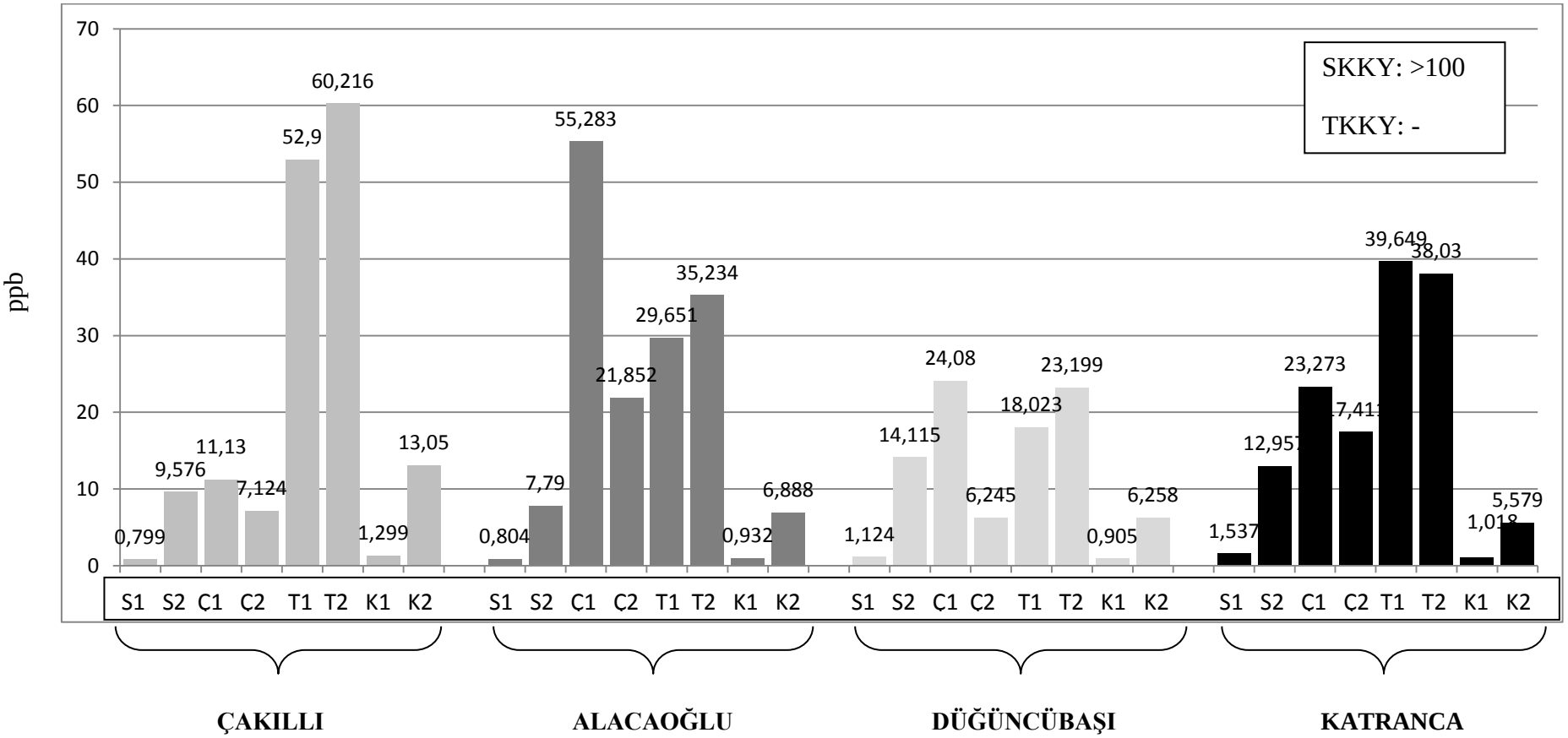
Şekil 4.5. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Ni** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



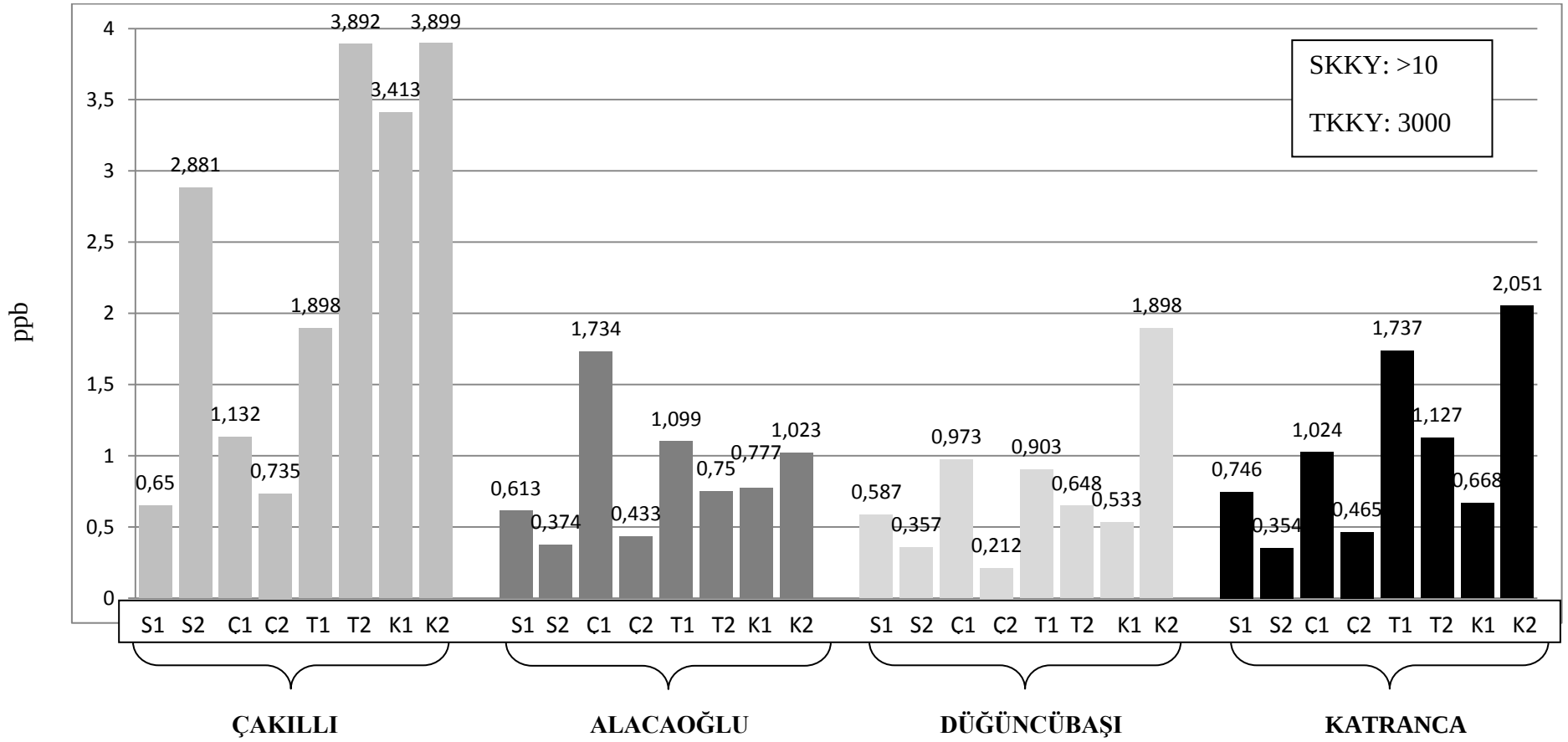
Şekil 4.6. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Cu** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



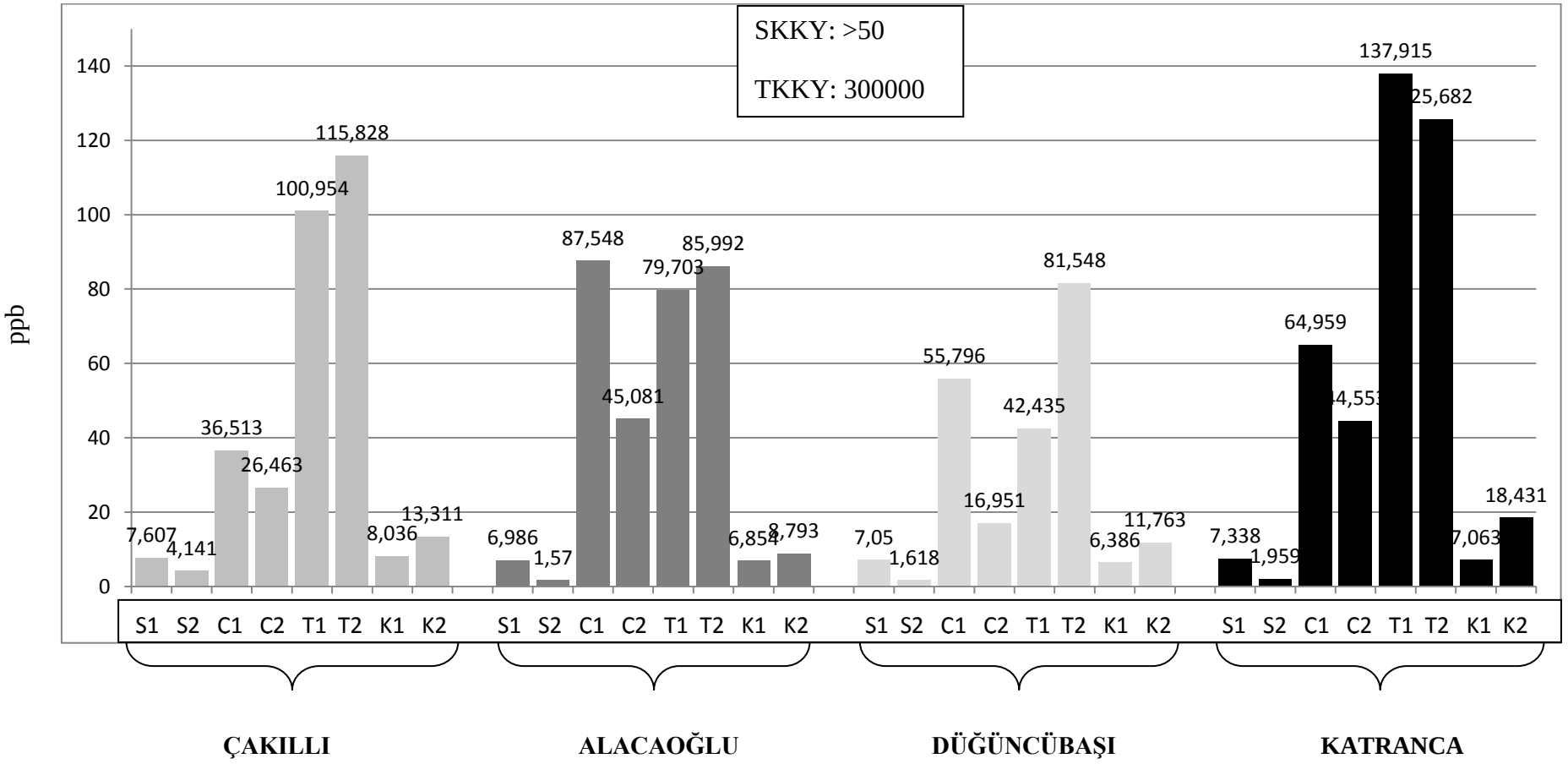
Şekil 4.7. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Zn** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



Şekil 4.8. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **As** değerleri.S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



Şekil 4.9. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Cd** değerleri.S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.



Şekil 4.10. Çakıllı, Alacaoğlu, Ergene ve Katranca'dan örneklenen su, çamur, toprak ve *F. Cunicularia* örneklerinde ICP-MS ile ölçülen **Pb** değerleri. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca.1 ve 2 sırasıyla Haziran ve Eylül ayı örneklerini temsil etmektedir. Su ve toprak kirliliği yönetmeliğine göre sınır değerleri için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye bakınız.

Tablo 4.1. Su Kirliliği Kontrol yönetmeliğine göre su kalite sınıflandırmaları. Sınır değerler çalışmada analizi yapılan her bir ağır metal için ayrı olarak verilmiştir. Tüm değerler ppb cinsindendir [40].

Metaller	**1**	**2**	**3**	**4**
Cr	20	50	200	> 200
Mn	100	500	3000	>3000
Fe	300	1000	5000	>5000
Co	10	20	200	>200
Ni	20	50	200	>200
Cu	20	50	200	>200
Zn	200	500	2000	>2000
As	20	50	100	>100
Cd	3	5	10	>10
Pb	10	20	50	>50

Tablo 4.2. Toprak Kirliliği Kontrol yönetmeliğine göre toprakta bulunan ağır metal sınır değerleri. Sınır değerler çalışmada analizi yapılan her bir ağır metal için ayrı olarak verilmiştir. Tüm değerler ppb cinsindendir [41].

Metaller	**pH 5-6 mg/kg**	**pH>6**
Cr	100000	100000
Mn	-	-
Fe	-	-
Co	20000	-
Ni	30000	75000
Cu	50000	140000
Zn	150000	300000
As	-	-
Cd	1000	3000
Pb	50000	300000

Tablo 4.3. Örnekleme yapılan lokalitelerdeki karınca örneklerinde tespit edilen ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması. Tüm metaller için tüm lokaliteler birbiri ile karşılaştırılmış ve metal içerikleri arasındaki anlamlı farklılıklar * ile gösterilmiştir (Oneway ANOVA testi, $p<0.05$. Yeşil boyalı alanlar karınca örnekleri arasında anlamlı farklılık olmayan karşılaştırmaları temsil etmektedir.

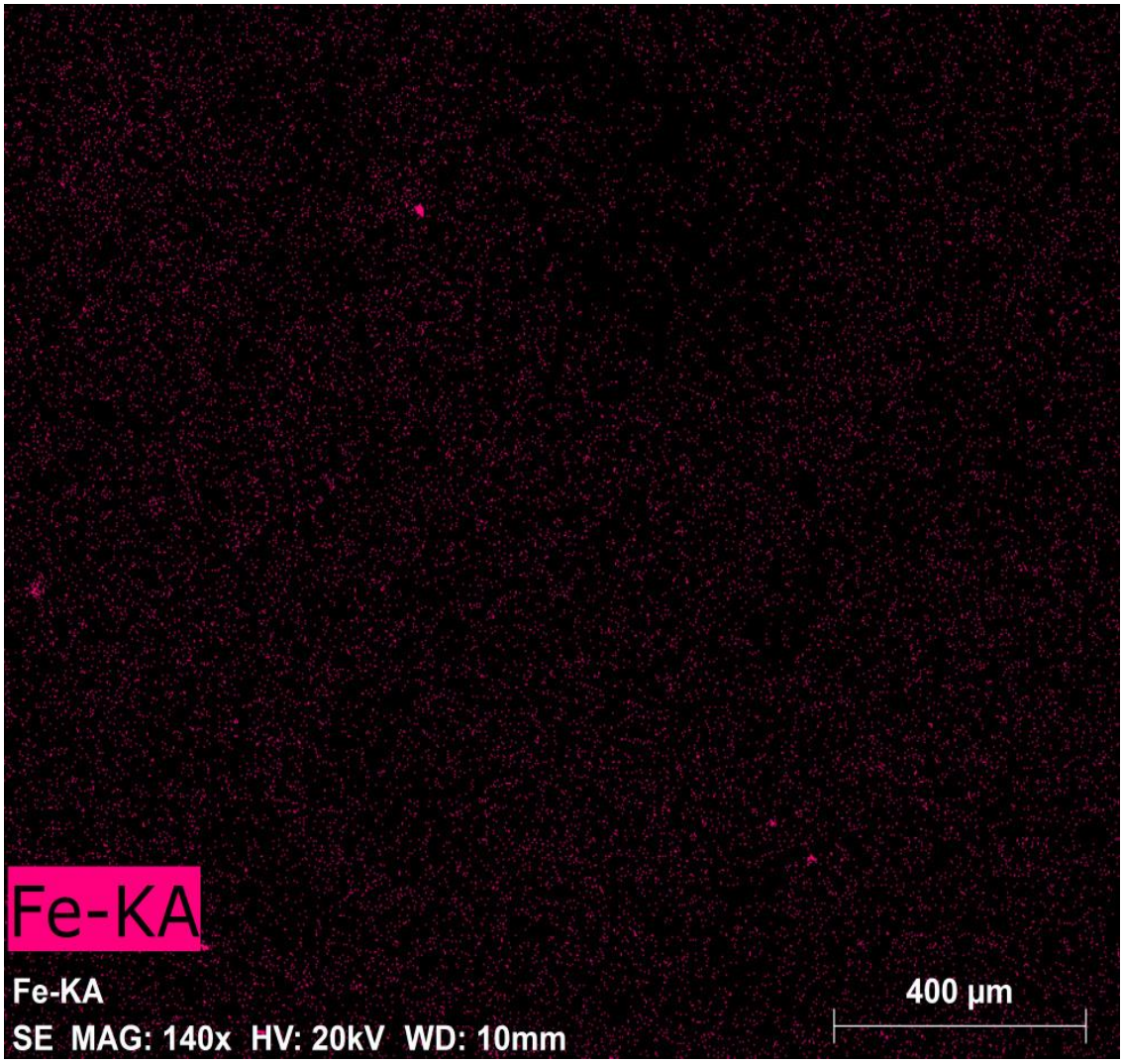
		Çakıllı			Düğüncübaşı			Alacaoğlu			Katranca		
		Düğüncübaşı	Alacaoğlu	Katranca	Çakıllı	Alacaoğlu	Katranca	Çakıllı	Düğüncübaşı	Katranca	Çakıllı	Düğüncübaşı	Alacaoğlu
1. Haziran Ayı Örneklemesi	Cr	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*
	Mn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Fe	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Co	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
	Ni	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Cu	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
	Zn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	As	*	*	*	*		*	*			*	*	
	Cd	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Pb	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
2. Eylül Ayı Örneklemesi	Cr	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*
	Mn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Fe			*			*			*	*	*	*
	Co		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
	Ni			*			*			*	*	*	*
	Cu	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*
	Zn	*		*	*	*			*	*	*		*
	As	*	*	*	*			*			*		
	Cd	*	*		*			*					
	Pb		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*

Tablo 4.4. Örnekleme yapılan lokaliterde örnekler arsındaki 1. Periyot için ve 2. Periyot için ağır metal içeriği ortalama değerleri karşılaştırması. Ortalamalar t-test ile karşılaştırılmıştır.** Haziran ve Eylül örneklemeleri arasında farklılığın anlamlı olduğu durumları ($p<0.05$), gri boyalı hücreler, karınca örneklerinde ağır metal birikiminde anlamlı bir periyodik artışın olduğu durumları temsil etmektedir. S; Su, Ç; Çamur, T; Toprak, K; Karınca

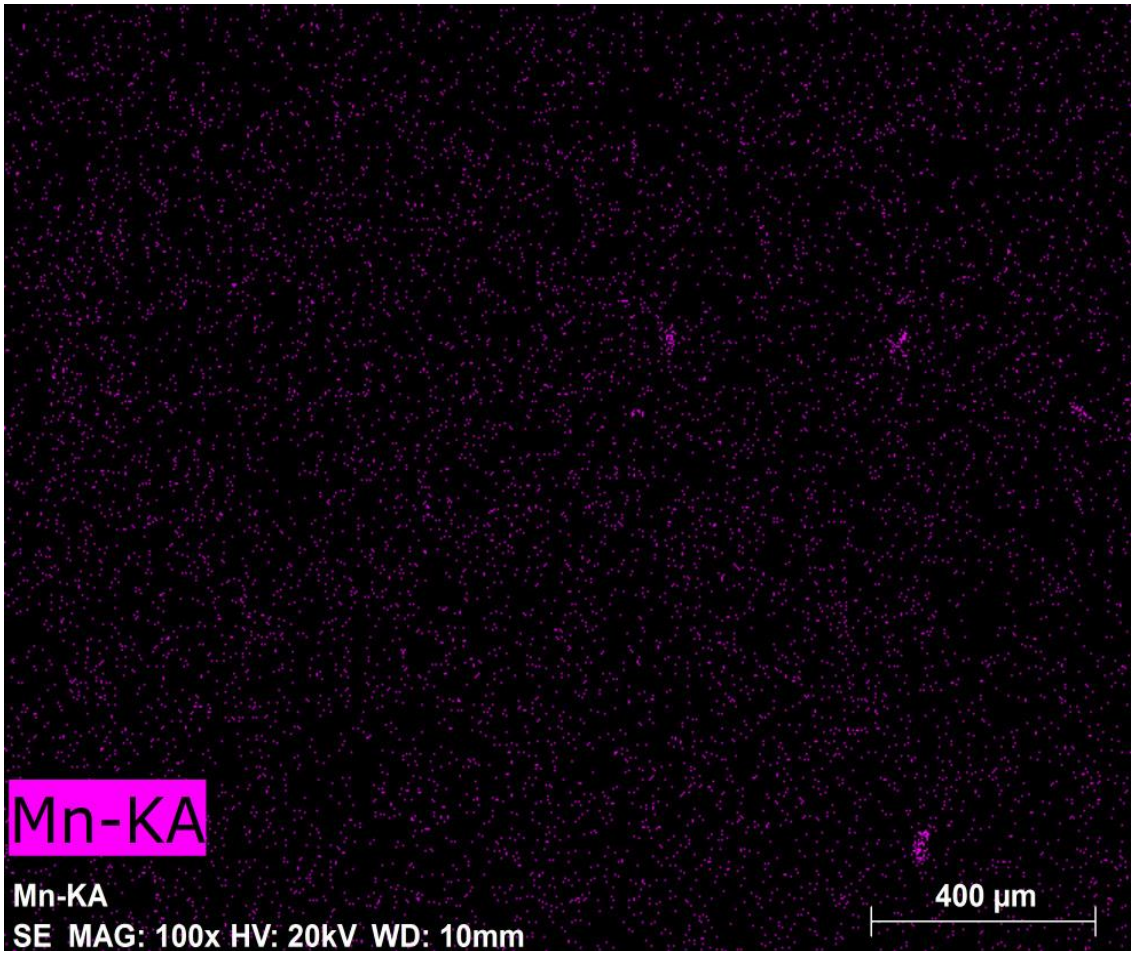
		Çakıllı			**Düğüncübaşı**			**Alacaoğlu**			**Katranca**		
		Haziran	Eylül		Haziran	Eylül		Haziran	Eylül		Haziran	Eylül	
Cr	S	3.31	5.74		4.75	3.38	**	3.45	3.63		4.39	12.48	**
	Ç	84.12	70.67	**	466.35	105.19	**	405.50	327.93	**	587.29	410.26	**
	T	303.30	290.58		350.43	1737.68	**	491.98	554.91	**	656.62	689.02	
	K	3.72	23.72	**	2.91	33.51	**	2.86	36.67	**	4.54	11.54	**
Mn	S	1.60	5.93		73.77	501.96	**	2.73	6.25	**	31.98	344.01	**
	Ç	271.27	379.74	**	1283.97	451.59	**	21175,76	2156.59	**	2138.14	1118.67	**
	T	1019.09	6866.24	**	871.38	1405.64	**	5064.73	5260.54		3919.04	3691.69	
	K	652.58	612.34	**	7.34	375.93	**	118.50	736.80	**	105.34	297.82	**
Fe	S	216.46	21.60	**	348.71	106.56	**	239.48	31.32	**	271.48	152.68	**
	Ç	17355.98	3368.24	**	73013.15	3137.76	**	100667.2	3388.4	**	70668.95	3414.75	**
	T	109209.4	3621.51	**	30814.42	3399.56	**	110980.6	3302.60	**	132795.1	3481.04	**
	K	571.13	15021.87	**	258.50	16244.86	**	355.49	22047.58	**	498.14	4385.59	**
Co	S	0.43	2.19		0.59	2.66	**	0.36	0.59		0.47	1.03	**
	Ç	8.68	8.81		42.30	9.26	**	193.79	53.16	**	42.12	26.70	**
	T	63.19	38.96	**	21.87	39.22	**	88.60	98.38	**	73.08	64.43	**
	K	1.05	3.66	**	0.35	4.33	**	0.75	6.19	**	0.75	1.06	
Ni	S	4.51	37.08	**	5.86	46.33	**	4.41	23.28	**	4.79	62.44	**
	Ç	32.65	76.47	**	265.75	29.89	**	384.62	262.16	**	227.91	154.63	**
	T	164.16	160.64		89.02	179.66	**	422.86	462.43		341.28	282.64	**
	K	6.88	31.9	**	4.65	40.66	**	5.92	48.11	**	7.33	402.44	**
Cu	S	5.62	14.93	**	5.84	8.93	**	5.67	6.73	**	6.54	11.34	**
	Ç	27.19	15.25	**	120.30	25.06	**	79.39	64.56	**	112.41	103.80	**
	T	80.66	94.02	**	60.10	115.84	**	103.70	107.60		172.79	133.84	**
	K	17.32	37.11	**	4.21	28.39	**	8.13	24.26	**	7.97	41.73	**
Zn	S	12.9	25.77	**	17.89	18.19		13.12	16.28	**	14.64	53.17	**
	Ç	65.4	63.92		358.10	148.80	**	186.12	170.68	**	334.01	426.26	**
	T	249.65	335.83	**	205.99	385,73	**	260.29	287.97	**	431.74	420.42	
	K	237.33	315.72	**	14.85	442.81	**	101.43	293.28	**	80.33	458.17	**
As	S	0.79	9.57		1.42	14.51	**	0.80	7.79	**	1.53	12.73	**
	Ç	11.13	7.12		24.08	6.24	**	55.28	21.85	**	24.94	17.41	
	T	52.90	60.21	**	18.02	23.19	**	29.65	35.23	**	39.64	38.03	
	K	1.29	13.05	**	0.90	6,25	**	0.93	6.88	**	1.01	5.57	**
Cd	S	0.65	2.88		0.58	0.35	**	0.61	0.37	**	0.74	0.36	**
	Ç	1.13	0.73	**	0.97	0.21	**	1.73	0.43	**	1.02	0.46	**
	T	1.89	3.89	**	0.90	0.64	**	1.09	0.75	**	1.73	1.12	**
	K	3.41	3.89		0.53	1.89	**	0.77	1.02		0.66	2.05	**
Pb	S	7.60	4.14	**	7.05	1.61	**	6.98	1.57	**	7.27	1.95	**
	Ç	36.51	26.46	**	55.79	16.95	**	87.54	45.08	**	64.95	44.55	**
	T	100.95	115.82	**	42.43	81.54	**	79.70	85.99	**	137.91	125.68	**
	K	8.03	13.31	**	6.38	11.76	**	6.85	8.79	**	7.06	18.43	**

4.2. ELEKTRON MİKROSKOBİSİ SONUÇLARI

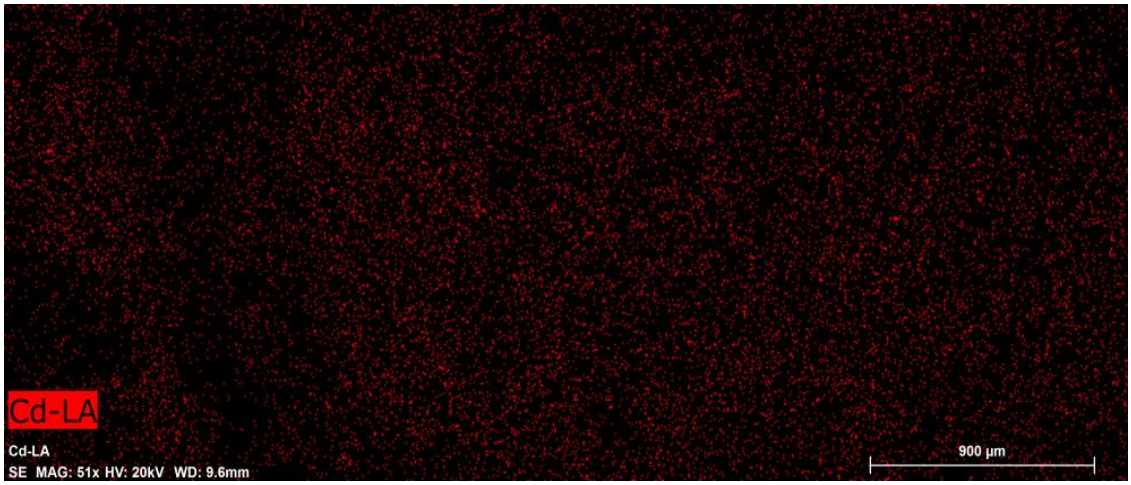
Karıncaların vücudunda ağır metal içeren abdominal bölgeler SEM ile incelenmiş ve Şekil 4.11- Şekil 4.17'de verilen görüntüler elde edilmiştir.



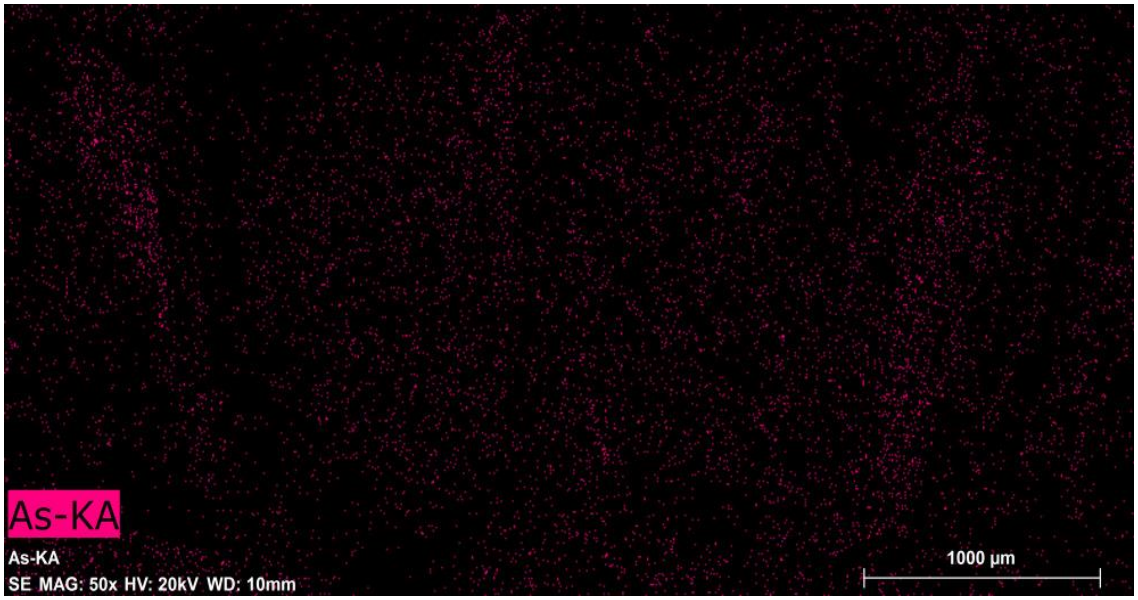
Şekil 4.11. Alacaoğlu lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Fe birikimi bölgeleri.



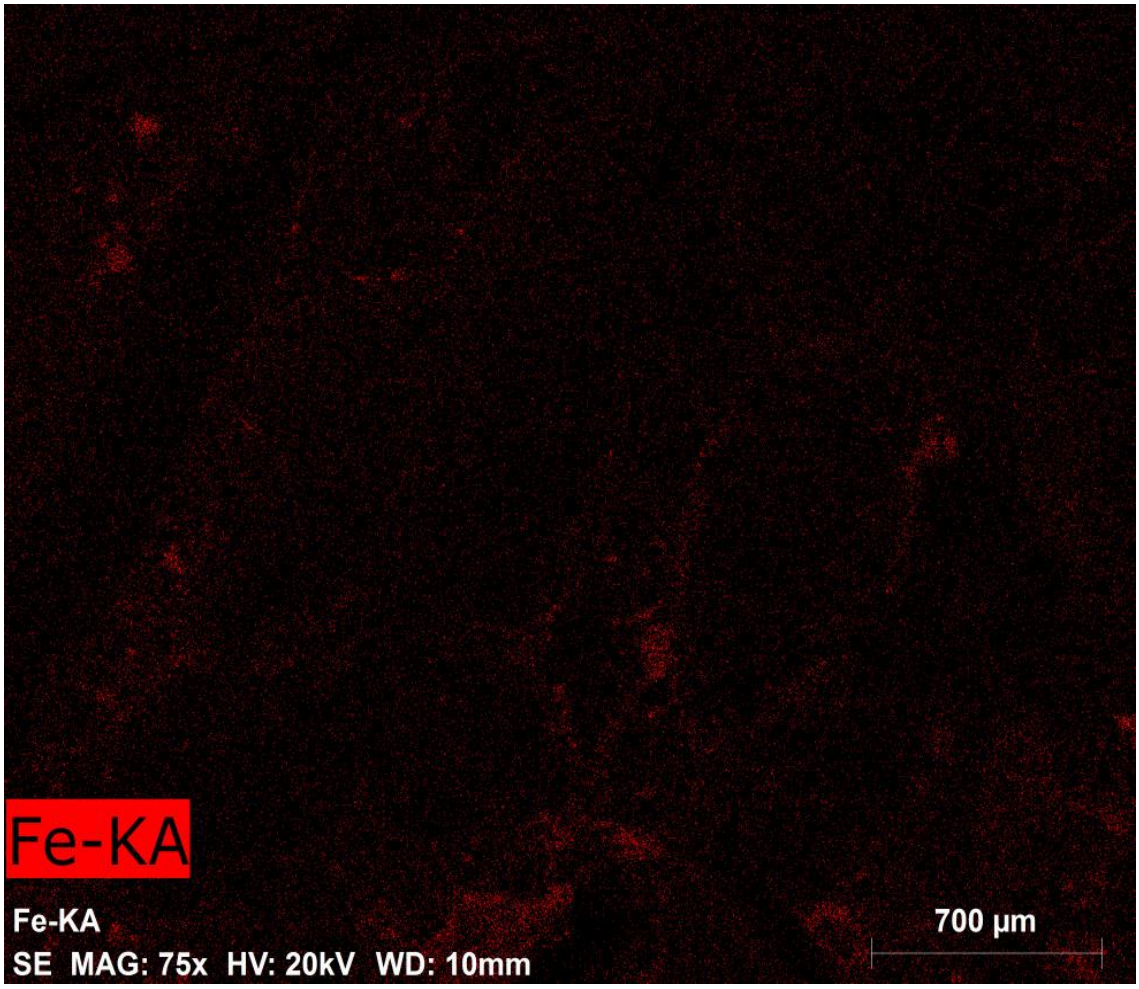
Şekil 4.12. Alacaoğlu lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Mn birikimi bölgeleri.



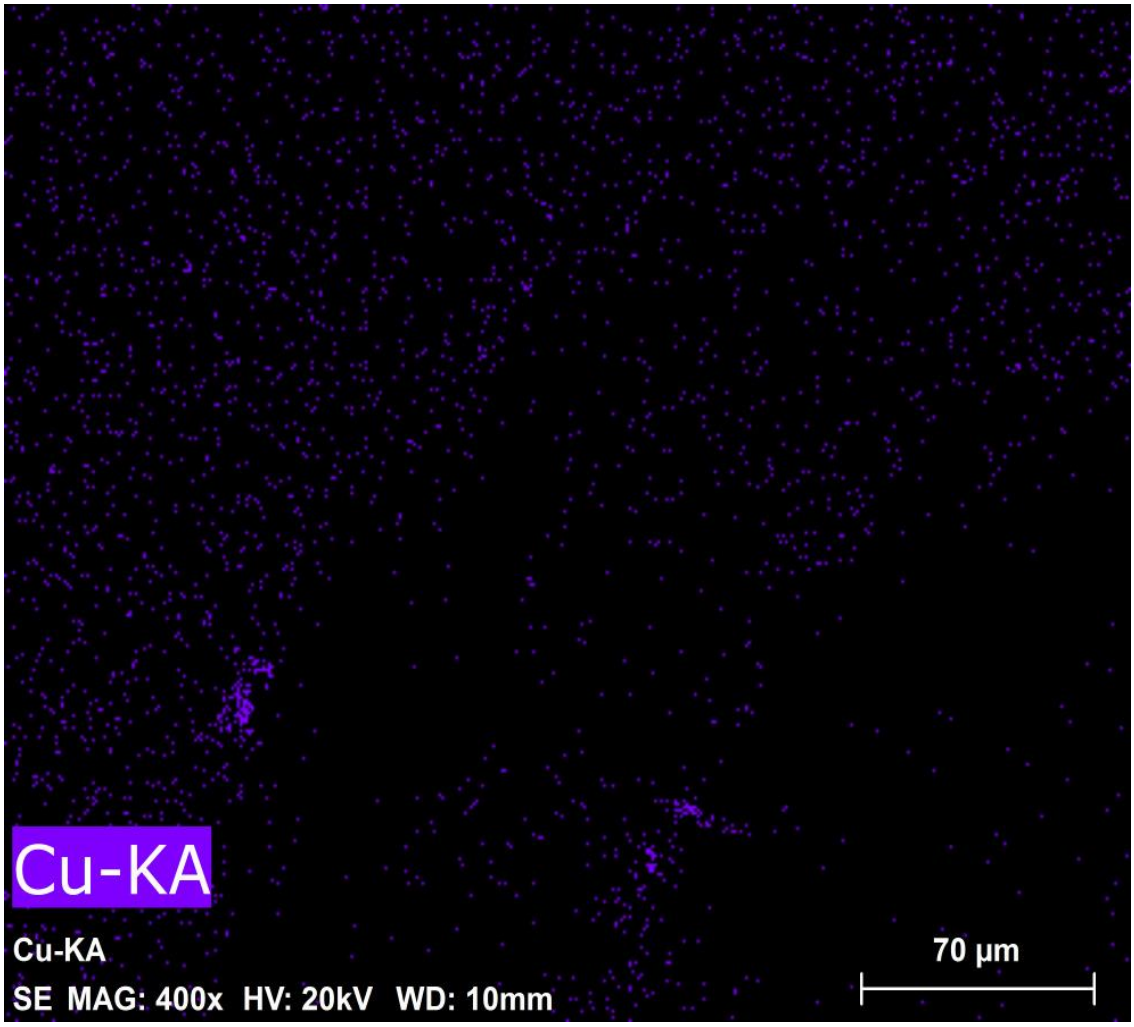
Şekil 4.13. Çakıllı lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cd birikimi bölgeleri.



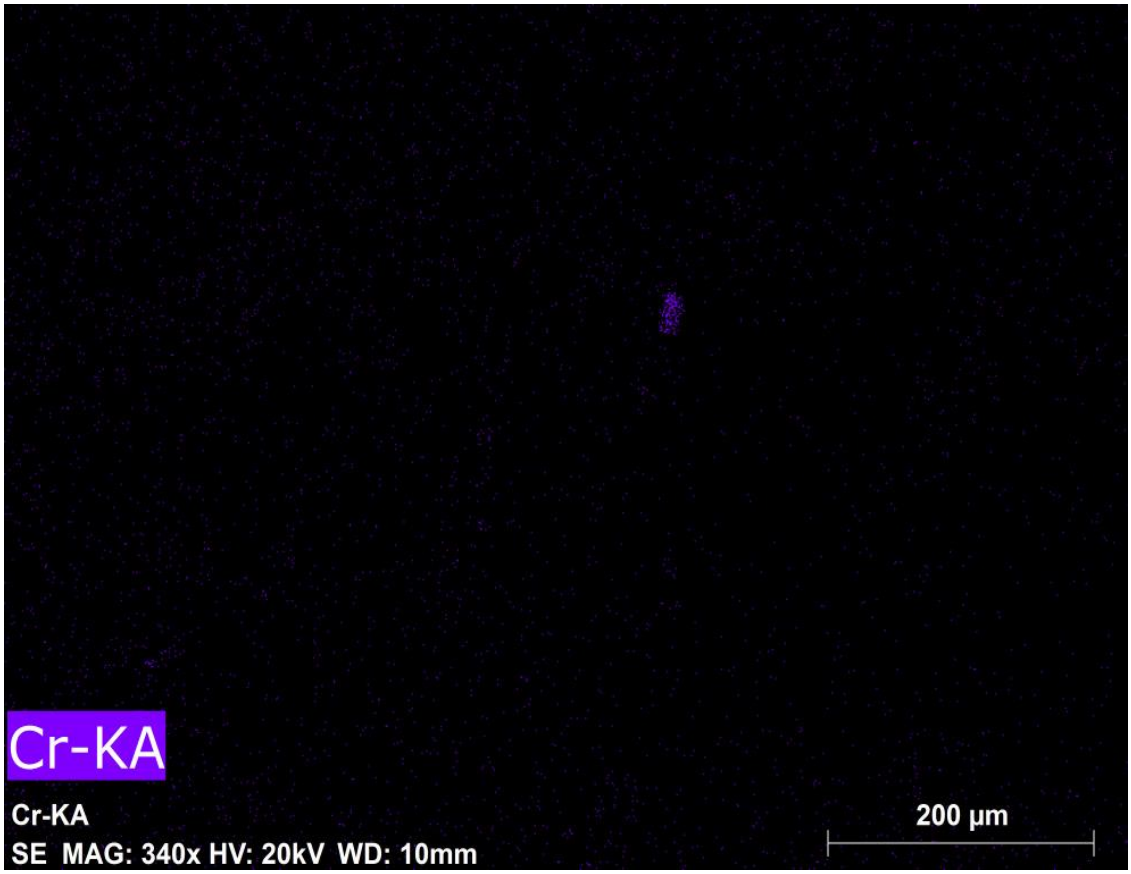
Şekil 4.14. Çakıllı lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki As birikimi bölgeleri.



Şekil 4.15. Çakıllı lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Fe birikimi bölgeleri.



Şekil 4.16. Düğüncübaşı lokalitesinde Eylül ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cu birikimi bölgeleri.



Şekil 4.17. Katranca lokalitesinde Haziran ayında örneklenen bir karıncanın abdomen SEM görüntüsündeki Cr birikimi bölgeleri.

BÖLÜM 5

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Ergene havzasındaki ağır sanayi atıklarıyla kirlenmiş Ergene nehri civarındaki bölgede ağır metal kirliliği bakımından karınca-toprak-su-bentik çamuru arasındaki olası ilişkiler tespit edilmeye çalışılarak *Formica cunicularia* türünün ağır metal çalışmalarında bir biyoindikatör tür olarak kullanılıp kullanılamayacağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada karınca, toprak, bentik çamuru ve su arasında ekolojik açıdan bir ilişkinin olduğu da vurgulanmıştır. Toprak, su ve bentik çamurdaki ağır metal birikiminde orantılı bir artış olmamasına rağmen karınca vücudunda ağır metal birikimi tespit edilmiştir. Örnek olarak Fe, Ni, Cu, Zn ve Cd' da loklite bazında farklılıklar olsada ekolojik olarak ağır metal birikiminin olduğu tespit edilmiştir.

Ağır metal birikimiyle ilgili veri sonuçları analiz edildiğinde, genel olarak tüm lokalitelerdeki toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (TKKY)'nde verilen sınır değerlerin altında olduğu ortaya konmuştur. Diğer taraftan, su örneklerinin ise Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre farklı su kalitesi sınıflarında olduğu ve ağır metal içeriklerinin aynı yönetmelikte verilen sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir (bknz. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2) [40,41].

Haziran ve Eylül aylarında gerçekleştirilen periyodik örneklemelerin metal içeriklerinin arasında anlamlı bir fark olup olmadığı t- testi ile analiz edilmiştir. Sonuçlar (Tablo 4.3), tüm lokalitelerdeki Eylül ayı karınca örneklemelerindeki metal birikim düzeyinin Haziran ayı düzeylerine göre artış gösterdiğini (Çakıllı'daki Mn birikimi hariç) ve bu artışın Çakıllı ve Alacaoğlu lokalitelerindeki Cd ve Katranca lokalitesindeki Co haricinde istatistiki olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Yaz aylarında sıcakların artışı ile birlikte karıncaların daha aktif olması ve olasılıkla kuruyan ve daha yoğun ağır metal içerebilecek olan bentik çamur üzerinde işçi karıncaların besin

bulma amacıyla daha daha uzunkalmaları nedeniyle metal bulaşımına daha fazla maruz kalmaları, elde edilen periyodik farklılıklar üzerinde etkili olmuş olabilir. Karıncalarla daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda da elde edilen sonuçlar metal birikimi bakımından mevsimsel farklılıkların olabileceğini ortaya koymuştur. Örneğin, Rabitsch (1995) yaz dönemi karınca örneklerinde bizim bulgularımızla paralel olarak bahar dönemine göre daha fazla metal birikimi olduğunu rapor etmiştir [5]. Bu çalışmada Avusturya'daki bir kurşun-çinko işletmesi etrafındaki 13 karınca cinsine ait işçilerin vücutlarında birikime uğrayan Pb, Cd, Cu ve Zn miktarları tespit edilmiş ve birikimin hem bölgeye, hem türlere hem de metallere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini tespit etmiştir. Birikim en fazla Formicinae altfamilyası üyelerinde, daha sonra da Dolichoderinae ve Myrmicinae altfamilyaları üyelerinde meydana geldiğini ifade etmiştir. Bazı alanlarda ise bir cinsin iki tür (*F. pratensis* ve *F. polyctena*) arasında dahi birikim yönünden farklılık gösterdiğini belirlenmiştir.

Karınca ağır metal içeriklerinde tespit edilen artışa paralel olarak su, çamur ve toprak örneklerinde de her zaman bir artış olmadığı, aksine bazı metaller için artış, diğer bazıları için ise düşüş olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, Çakıllı lokalitesinden örneklenen su, çamur, toprak ve karıncalardaki Fe içeriği iki periyot arasında farklılık gösterirken bu farklılık karınca için belirgin bir artış, diğer örneklerde ise belirgin bir düşüş şeklinde olmuştur. Aynı lokalitedeki örneklerin Pb içeriklerinde de periyodik farklılık tespit edilmiş olmasına rağmen karınca ve toprak örneklerinin Pb içeriğinde artış, su ve çamur örneklerinin Pb içeriğinde ise bir düşüş tespit edilmiştir. Buna göre, örneklerden birisi ve/veya birkaçı için tespit edilen artış ya da düşüş diğer örnekler için de genel bir eğilimi temsil etmemektedir.

Her lokalitedeki dört örneğin ağır metal içeriği değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi içintek yönlü ANOVA analizi uygulanmıştır. Örneğin Çakıllı lokalitesi örneklemelerinde su ve karınca metal içerikleri arasında anlamlı bir fark olmadığı şeklinde bir eğilim ortaya çıkmışsa da aynı lokalitede bazı metaller için toprak-çamur arasında bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Bu aynı zamanda bir lokalitede su-çamur-toprak-karınca şeklinde artan ya da azalan bir metal birikimi olmadığını göstermektedir.

Dört lokalitedeki karınca örneklerinin kendi aralarındaki karşılaştırılması Tablo 4.3.'te verilmiştir. Haziran ayı örneklemesinde Çakıllı lokalitesine ait karıncaların tüm metal içerikleri diğer lokalitelerdeki karınca metal içerikleriyle farklıdır. Ancak Eylül ayı örneklemesinde bazı metaller için bazı karşılaştırmalarda farklılık olmadığı görülmektedir. Eylül ayı örneklemesi metal içeriklerindeki bu artış sadece kirli bölgelerde değil Çakıllı lokalitesinde de gözlenmiştir. Bu nedenle de bazı durumlarda Çakıllı lokalitesindeki karınca metal içerikleri ile diğer lokalitelerdeki karınca metal içerikleri arasında bir farklılığın olmadığı gibi bir sonuç göze çarpmaktadır.

Omurgasızlarda metaller genellikle bazı dokularda diğerlerine göre daha fazla birikime uğrarlar [42]. Böceklerde bu doku bağırsak epitel dokusudur. Karıncalarda ise bağırsak dokusunun yanı sıra malpigi tübüllerinin ve yağ cisimciklerinin başlıca metal birikimi alanları olduğu tespit edilmiştir [43]. Bu çalışmada örneklenen karıncaların abdominal metal içeriklerinin TEM ile incelenmesi sonucunda spesifik bir organ belirlenmemiş olsa da abdominal metal birikimi bölgelerinin gösterilmiş olması karıncalarda kontaminant immobilizasyonu yeteneğinin olduğunu ve bu immobilizasyonun iç bağırsak ve malpigi tübülleri gibi organlarda olduğu bulgusunu desteklemektedir.

Karınca metabolizmasında esansiyel olarak bulunan Fe ve Cu metallerinin birikimlerinin yanı sıra karınca metabolizmasında bulunmayan Cd ve As gibi ağır metallerin birikimi de gözlenmiştir. Kanserojen etki gösteren bu ağır metaller karınca vücudunda birikmektedir. Karınca kadar küçük bir canlıda biriken bu ağır metallerin insan sağlığını da tehdit edebileceği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda *F. cunicularia* işçilerinin metal birikim düzeyleri açısından düşük lokalite (Çakıllı) ile yüksek lokaliteler arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiş olmasına rağmen, tüm lokalitelerdeki Eylül ayı karınca örneklemelerindeki metal birikim düzeyinin Haziran ayı düzeylerine göre artış gösterdiğinin saptanması, bu karınca türünün ağır metal birikimi takibinde kullanılabilecek türlerden biri olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla Formica cunicularia'nın bazı problemlerle karşılaşılmasına rağmen mevcut kirliliğin takibinde kullanılabilecek bir organizma grubu olduğu açıktır. Su, bentik çamuru ve toprak örneklerinde yağmur gibi ekolojik faktörler nedeniyle yaşanabilecek metal içeriği dalgalanmaları göz önüne alındığında,

nispeten daha kararlı bir birikim eğilimi gösteren karıncaların önemi daha da ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Cairns J., Pratt J. R., ***A history of biological monitoring using benthic macro invertebrates. Pages 10-27 in: Freshwater Biomonitoring and Benthic Macro invertebrates (D. M. Rosenberg and V. H. Resh, eds.),*** Chapman and Hall, New York, (1993).

[2] Terrell C. R., Perfetti P. B., ***Water quality indicators guide: surface waters, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service***, (1989).

[3] Resh V. H., McElravy E. P., ***Contemporary quantitative approaches to biomonitoring using benthic macro invertebrates. Pages 159–194 in D. M. Rosenberg and V. H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macro invertebrate,*** Chapman and Hall, New York, (1993).

[4] Noss R.F., ***Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach,*** Conserv. Biol. 4, 355–364, (1990).

[5] Rabitsch W. B., ***Metal Accumulation in Arthropods Neara Lead/Zinc Smelter in Arnoldstein, Austria. II.Formicidae,*** Environmental Pollution, 90(2), 239-247, (1995).

[6] Nummelin M., Lodenius M., Tulisalo E., Hirvonen H., Alanki, T., ***Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution,*** Environmental Pollution, 145, 339- 347 (2007).

[7] Sorvari J., Rontala L. M., Rontala M. J., Hokkarainen H., Eeva T., ***Heavy Metal Pollution Disturb Immune Response in Wild ant Populations,*** Environmental Pollution, 145,324-328, (2007).

[8] Eeva T., Sorvari J., Koivunen V., ***Effects of Heavy Metal Pollution on Red Wood Ant (Formica s. str.) Populations, Environmental Pollution,*** 132, 533-539, (2004).

[9] Rabitsch W.B., ***Tissue-Specific Accumulation Patterns of Pb, Cd, Cu, Zn, Feand Mn in Workers of Three Ant Species (Formicidae, Hymenoptera) From a Metal Polluted Site,*** Archives Of Environmental Contamination and Toxicology, 32, 172-177,(1997).

[10] Stary P., Kubiznakova J., ***Contentand transfer or heavy metal air pollutants in Formica spp. Wood ants (Hym., Formicidae),*** Zeitschrangew Entomol, 104:1-10, (1987).

[11] Grezes I. M., ***Ants and heavy metal pollution–A review,*** Europena Journal of Soil Biology, 46(6), 350-355, (2010).

[12] Baroni Urbani, C., Aktaç, N., Çamlıtepe, Y., ***Disclosing the mystery of Messor caducus (Hym.,Formicidae),*** Mitt. Schweiz Ent Gess, 62,291-301, (1989).

[13] Aktaç, N., Çamlıtepe, Y., Dane, F., ***Hasatçı Karıncaların (Messor oertzeni ve M. semirufus) Yuva Yapıları ve Tohum Depoları Üzerine Bir Araştırma,*** X.Ulusal Biyoloji Kongresi, Cumhuriyet Univ, 18-20 Temmuz, Sivas, (1990).

[14] Çamlıtepe, Y., ***Notes on the morphometric characters of Ponera coarctata (Hymenoptera, Formicidae),*** Biologia, 57/2: 277-280, (2002).

[15] Çamlıtepe, Y., Aksoy, V., ***Recent distributional data and national red list status survey of European red wood ants in Turkey,*** III. World Biodiversity Congress, 26-29 October, Mokra Gora, Serbia, (2015).

[16] Çamlıtepe, Y., Aksoy, V., Aktaç, N., ***A Preliminary Study on Conservation Biology of European Red Wood Ant, Formica pratensis (Hymenoptera: Formicidae),*** P. 47. In: VII. International Symposium on Ecology and Environmental Problems, 18-21 December 2013, Antalya-Turkey.

[17] Maavara V., Martin A.J., Oja A., Nuorteva P., ***Sampling of different social categories of red wood ants (Formica s. str.) for biomonitoring.pp. 465–489, In: Markert, B. (Ed.), Environmental Sampling for Trace Analysis,*** Weinheim, New York, (1994).

[18] Güner U., Çamlıtepe Y., Kıran K., Aksoy V., ***Karıncaların Ağır metal Kirliğinin Gösterilmesinde Kullanılması,*** X. Ekoloji kongresi , 04-07 Ekim Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, (2011).

[19] Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S., ***Metallerin Çevresel Etkileri-I,*** İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, (2004).

[20] Sunlu U., Egemen Ö., ***Homa Dalyanı ve İzmir Körfezinin (Ege Denizi) Farklı Bölgelerindeki Kirlenme Durumu ile Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması,*** Su Ürünleri Dergisi. 15(3-4). s.241-261

[21] Şener Şehnaz, ***Ağır Metallerin Çevresel Etkileri,*** Çevre için Jeoloji, SDÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ISPARTA.

[22] Sayılı M., Akman Z., ***Tarımsal Uygulamalar ve Çevreye Olan Etkileri,*** Ekoloji 12, 28-32 (1994).

[23] http://www.ttb.org.tr./eweb/bergama/5html (Şubat 2016)

[24] http://sbu.saglik.gov.tr/Ekutuphane/kitaplar/css50.pdf (Şubat 2016)

[25] Bahadorani Sepehr, HillikerJ. A., ***Biological and Behavioral Effects of Heavy Metals in Drosophila melanogaster Adults and Larvae,*** J. Insect Behav, 22, 399-411, (2009).

[26] Heikens A., Peijnenburg W.J.G.M., Hendriks A.J., ***Bioaccumulation of Heavy Metals in Terrestrial Invertebrates,*** Environmental Pollution, 113, 385-393, (2001).

[27] Karodjova I., Markova E., ***Metal Accumulation in Insects (Orthoptera-Acrididae) Near a Copper Smelter and Copper Flotation Factory,*** (Pirdop,Bulgaria), XI Anniversary Scientific Conference Biotechnol E.Q 23/(2009)/SE.

[28] Güner U., ***Heavy metal effects on P, Ca, Mg and total protein contents in embryonic pleopodal eggs and stage-1 juveniles of freshwater crayfish,*** (Astacus leptodactylus Eschscholtz, 1823), Turkish Journal of Biology, 34, 405-412, (2010).

[29] Başçınar N. S., ***Bentik canlılar ve biyoindikatör tür,*** Sümae Yunus Araştırma Bülteni 9.1 (2009).

[30] Steven Peck L., Mcquaid Betty, Campbell Lee C., ***Using Ant Species (Hymenoptera:Formicidae) as a Biological Indicator of Agroecosystem Condition,*** Environ, Entomol, 27(5), 1102-1110, (1998).

[31] Migula Pawel, Glowacka Elzbieta, Nourteva S.Liisa, Nuorteva Pekka, Tulisalo Esa, ***Time- Related Effect of Intoxication with Cadmium and Mercury in the Red Wood Ant,*** Exotoxicology,6, 307-320, (1997).

[32] Grezes I. M., ***Cadmium Regulation by Lasius niger: A Contribution to Understanding High Metal Levels in Ants,*** Insect Science, 16, 89-92, (2009).

[33] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, ***Ergene Havzası Koruma Eylem Planı,*** (ergene.ormansu.gov.tr).

[34] Çamlıtepe, Y., Aktaç, N., ***Trakya Bölgesi Orman Karınca Faunası Üzerine Bir Araştırma,*** I. Türkiye Entomoloji Kongresi, Ege Univ, 13-16 Ekim, Izmir, (1987).

[35] Aktaç, N., Çamlıtepe, Y., ***Bandırma Kuş Cenneti Karınca Faunası,*** II.Uluslararası Bandırma Kuş Cenneti Sempozyumu. 4-5 Haziran, Bandırma, (1987).

[36] Aktaç, N., Aras, A., Çamlıtepe, Y., ***Ants of Thracian Part of Turkey,*** Bios, 2, 203-209, (1994).

[37] Aktaç, N., Çamlıtepe, Y., Aras, A., Kiran, K., ***A comparative study on the distribution of Formica rufa group (Hymenoptera : Formicidae) in Turkish Thrace and Anatolia. II. International Congress on Biodiversity, Ecology and Conservation of the Balkan Fauna,*** Bioecco2, 15-20 Sept.l 1998, Ohrid, Macedonia. Oral presentation, (1998).

[38] Collingwood C.A., ***The Formicidae (Hymenoptera) of Fennoscandia and***

Denmark, Fauna Entomologica Scandinavica, Vol. 8, Scandinavian Science Press. Ltd.pp.174, (1979).

[39] Kiran, K., Aksoy, V., Camlitepe, Y., ***Steppic Ant Fauna of Turkey: A preliminary Study. Poster in 3rd Central European Workshop in Myrmecology,*** 8-10 November, 2009. Munich. Poster presentation, (2009).

[40] Çevre ve Orman Bakanlığından: ***Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,*** Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687

[41] Çevre ve Orman Bakanlığından: ***Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,*** Resmi Gazete Tarihi 31.05.2005 ve Resmi Gazete Sayısı: 25831

[42] Hopkin S. P., ***Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates,*** Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London–New York (1989).

[43] Gramigni E., Calusi S., Gelli N., Giuntini L:, Massi M., Delfino G., Chelazzi G., Baracchi D., Frizzi F., Santini G., ***Ants as bioaccumulators of metals from soils: Body content and tissue-specific distribution of metals in the ant Crematogaster scutellari,*** European Journal of Soil Biology, 58, 24-31, (2013).

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Lüleburgaz'da doğdum. Ortaöğrenimimi Lüleburgaz Düvenciler Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2009-2013 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde lisans eğitimi aldım. 2013 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladım. 01.06.2013 tarihinde başlayan "***Avrupa Kırmızı Orman Karıncası (Formica pratensis* Retzius, 1783*)'nın Dağılımı, Ekolojisi ve Koruma Planı*"** başlıklı TÜBİTAK 212T118 no'lu projede 10 ay süre ile burslu öğrenci olarak görev aldım. 2014-2015 yılları arasında Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Genetik Anabilim dalında kısmi zamanlı olarak 1 yıl süre ile görev aldım. 18.04.2016 tarihinden itibaren Radix Gıda Analiz Laboratuvarı'nda Biyolog olarak çalışmaktayım.