



KARABÜK İLİNDE CADDE TOZLARININ AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ

Gülşah DANIŞMAZ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ**

**KARABÜK İLİNDE CADDE TOZLARININ AĞIR METAL İÇERİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Gülşah DANIŞMAZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ**

**KARABÜK
Eylül 2021**

Gülşah DANIŞMAZ tarafından hazırlanan “KARABÜK İLİNDE CADDE TOZLARININ AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ
Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç.Dr. Fatma ÖZTÜR Çevrimiçi
Tez Danışmanı, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 03/09/2021

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Burcu ONAT (İUC)	Çevrimiçi
Üye : Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK (BAİBÜ)	Çevrimiçi
Üye : Doç. Dr. Mehmet Kuddusi AKALIN (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rahman ÇALHAN (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Gülşah DANIŞMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK İLİNDE CADDE TOZLARININ AĞIR METAL İÇERİĞİNİN İNCELENMESİ

Gülşah DANIŞMAZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ

Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK

Eylül 2021, 74 sayfa

Karabük ili sınırları içerisinde belirlenen çalışma alanında, yerleşim bölgeleri, küçük ve büyük ölçekli sanayi tesisleri, az, orta ve yoğun trafiğin olduğu hatta trafik akışının hiç olmadığı noktalardan 43 adet cadde tozu örneği alınmıştır. Toplanan tüm numunelerde Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Co, Cr, Cd, Ni, Mo, Pb, V, Sb, As, Si, Bi, Sn, Sc, Ag ve Ti olmak üzere 21 element endüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre (ICPMS) cihazı kullanılarak analiz edildi. Analizi yapılan Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Co, Cr, Cd, Ni, Mo, Pb, V, Sb, As, Si, Bi, Sn, Sc, Ag ve Ti elementlerine ait ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 5.813; 22.905; 35.34; 523; 198; 46.77; 2.41; 25.38; 0.46; 11.20; 0.11; 7.32; 21.22; 0.34; 0.00; 30.746; 0.00; 6.79; 0.00; 0.14; 451 mg/kg olarak bulundu. Numunelerdeki ağır metal konsantrasyonları, örnekleme noktasının trafik akışının yoğun olduğu anayollara ve sanayi bölgelerine olan yakınlığına göre değişiklik göstermektedir.

Anahtar Sözcükler : Hava kirliliği, ağır metal, cadde tozu, sanayi, trafik ve Karabük.

Bilim Kodu : 90312

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE HEAVY METAL CONTENT OF STREET DUSTS IN KARABUK PROVINCE

Gülşah DANIŞMAZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Environmental Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Kadir ULUTAŞ

Assoc. Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK

September 2021, 74 pages

In the study area determined within the borders of Karabük province, 43 street dust samples were collected from residential areas, small and large-scale industrial facilities, points with low, medium and heavy traffic and even no traffic flow. In all samples collected, 21 elements, namely Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Co, Cr, Cd, Ni, Mo, Pb, V, Sb, As, Si, Bi, Sn, Sc, Ag and Ti, were inductively analyzed using a plasma mass spectrometer (ICPMS). The mean concentrations of the analyzed elements were found to be 5,813.46; 22.905.92; 35.34; 523.28; 198.75; 46.77; 2.41; 25.38; 0.46; 11.20; 0.11; 7.32; 21.22; 0.34; 0.00; 30,746.15; 0.00; 6.79; 0.00; 0.14; 451.06 mg/kg, respectively. Heavy metal concentrations in the samples vary according to the proximity of the sampling point to the main roads and industrial areas with heavy traffic flow.

Key Word : Air pollution, heavy metal, street dust, industry, traffic and Karabuk.

Science Code : 90312

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Kadir ULUTAŞ'a ve sayın hocam Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili annem, babam ve eşime maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Çalıőmama verilen destek için Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	15
GİRİŞ	15
BÖLÜM 2	17
HAVA KİRLİLİĞİ, KİRLETİCİLER VE KAYNAKLARI	17
2.1. HAVADA BULUNAN BAZI AĞIR METAL KİRLETİCİLER, KULLANIM ALANLARI VE KAYNAKLARI.....	19
2.2. HAVADA AĞIR METAL KİRLİLİĞİ	25
2.3. HAVADA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞINA TOKSİK ETKİLERİ.....	25
BÖLÜM 3	31
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
3.1. KARABÜK İLİNİN TANITIMI VE ÖRNEKLEME NOKTALARININ BELİRLENMESİ	31
3.1.1. Karabük İlinin Konumu.....	32
3.1.2. Karabük İlinin Coğrafi Yapısı	32
3.1.3. Karabük İlinin İklimi	33
3.1.4. Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi	33

	<u>Sayfa</u>
3.2. ÖRNEKLEME VE ANALİZ	34
3.2.1. Örneklerin Toplanması	34
3.2.2. Örneklerin Hazırlanması	36
3.2.3. Çalışmada Kullanılan Cihazlar	37
3.2.4. Ağır Metal Analizlerinin Yapılması	37
3.2.5. Metal Kirliliği Düzeyinin Değerlendirilmesi.....	38
3.2.5.1. Coğrafi Birikim İndeksi (Geo-accumulation index).....	38
3.2.5.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment factor).....	39
3.2.5.3. Ekolojik Risk İndeksi (Ecological risk index).....	40
3.2.5.4. Kirlilik İndeksi (Pollution index).....	41
3.2.5.5. Entegre Kirlilik İndeksi (Integrated pollution index).....	41
3.2.5.6. Kirlilik Yükleme İndeksi (Pollution loading index).....	41
 BÖLÜM 4	 43
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ İSTATİSTİKSEL VE MEKANSAL DEĞERLENDİRİLMESİ	 43
4.2. AĞIR METALLERİN KİRLİLİK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ	59
4.2.1. Coğrafi Birikim İndeksi (Geo-accumulation index).....	59
4.2.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment factor).....	63
4.2.3. Ekolojik Risk İndeksi (Ecological risk index).....	68
4.2.4. Kirlilik İndeksi (Pollution index)	71
4.2.5. Entegre Kirlilik İndeksi (Integrated pollution index).....	75
4.2.6. Kirlilik Yükleme İndeksi (Pollution loading index).....	76
 BÖLÜM 5	 78
SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	81
 ÖZGEÇMİŞ	 86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma alanı.....	34
Şekil 4.1. Numune noktaları Al konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	45
Şekil 4.2. Numune noktaları Fe konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	46
Şekil 4.3. Numune noktaları Ba konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	46
Şekil 4.4. Numune noktaları Mn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	47
Şekil 4.5. Numune noktaları Zn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	48
Şekil 4.6. Numune noktaları Sr konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	49
Şekil 4.7. Numune noktaları Co konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	49
Şekil 4.8. Numune noktaları Cr konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	50
Şekil 4.9. Numune noktaları Cd konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	50
Şekil 4.10. Numune noktaları Ni konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	51
Şekil 4.11. Numune noktaları Mo konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	53
Şekil 4.12. Numune noktaları Pb konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	53
Şekil 4.13. Numune noktaları V konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	54
Şekil 4.14. Numune noktaları Sb konsantrasyonları ve kirlilik haritası	55
Şekil 4.15. Numune noktaları As konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	55
Şekil 4.16. Numune noktaları Si konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	56
Şekil 4.17. Numune noktaları Sn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	56
Şekil 4.18. Numune noktaları Sc konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	57
Şekil 4.19. Numune noktaları Ag konsantrasyonları ve kirlilik haritası.....	58
Şekil 4.20. Numune noktaları Ti konsantrasyonları ve kirlilik haritası.	58
Şekil 4.21. Hesaplanan coğrafi birikim indeksi değerleri.	63
Şekil 4.1. Hesaplanan zenginleştirme faktörü değerleri.....	64
Şekil 4.23. Hesaplanan zenginleştirme faktörü değerleri.....	68
Şekil 4.24. Hesaplanan ekolojik risk indeksi değerleri.	70
Şekil 4.25. Zn, Cr, Cd, Ni, Pb ve As parametreleri için hesaplanan potansiyel ekolojik risk indeksi değerleri.	71
Şekil 4.26. Hesaplanan kirlilik indeksi değerleri.	75
Şekil 4.57. Entegre kirlilik indeksi değerleri.	76
Şekil 4.58. Kirlilik yükleme indeksi değerleri.	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Ağır metale maruz kalan hedef organlar ve toksik etkileri.....	26
Çizelge 3.1. Örnekleme noktalarının koordinatları, karayolu ve sanayi tesislerine olan uzaklıkları, ana kirletici kaynakları	35
Çizelge 3.2. Coğrafi birikim indeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları	39
Çizelge 3.3. Zenginleştirme faktörü değerlendirme/derecelendirme standartları	39
Çizelge 3.4. Ağır metallerin neden olduğu ekolojik risk dereceleri için kriterler.....	40
Çizelge 3.5. Ağır metallerin neden olduğu potansiyel ekolojik risk dereceleri için kriterler	40
Çizelge 3.6. Tek faktörlü kirlilik indeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları.....	41
Çizelge 3.7. Entegre kirlilik indeksi değerlendirme standartları.....	41
Çizelge 3.8. Kirlilik yükleme indeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları	42
Çizelge 4.1. Parametrelere ait değerlerin istatistiksel özeti	44
Çizelge 4.2. Coğrafi birikim indeksi (geo-accumulation index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.	60
Çizelge 4.3. Ekolojik risk indeksi (ecological risk index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.....	69
Çizelge 4.4. Kirlilik indeksi (pollution index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Fe	: demir
Ba	: baryum
Mn	: manganez
Zn	: çinko
Sr	: stronsiyum
Co	: kobalt
Cr	: krom
Cd	: kadmiyum
Ni	: nikel
Mo	: molibden
Pb	: kurşun
V	: vanadyum
Sb	: antimon
Hg	: civa
As	: arsenic
Si	: silisyum
Bi	: bizmut
Sn	: kalay
Sc	: skandiyum
Ag	: gümüş
Ti	: titanyum

KISALTMALAR

- VOC : Uçucu Organik Bileşikler
BVOC : Biyojenik Olarak Oluşan Uçucu Organik Bileşikler
PM : Partikül Madde
IARC : Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
GPS : Global Positioning System
AAS : Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi
ICP : Endüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma
XRF : X-Işım Floresans Yöntemi
MS : Kütle Spektrometrisi
HF : Hidroflorik Asit
LOD : Limit of Detection (Algılama Limiti)
 I_{geo} : Geo-accumulation index (Coğrafi Birikim İndeksi)
PI : Pollution Index (Kirlilik İndeksi)
PLI : Pollution Load Index (Kirlilik Yükleme İndeksi)
IPI : Integrated Pollution Index (Entegre Kirlilik İndeksi)
EF : Enrichment Factor (Zenginleştirme Faktörü)
 E_{ri} : Ecological Risk Index (Ekolojik Risk İndeksi)
RI : Potential Ecological Risk (Potansiyel Ekolojik Risk)
ICP-MS : Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-OES : Endüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometrisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayileşme, nüfus ve kentleşme alanlarındaki plansız ve hızlı ilerleme, çevre sorunlarının en önemli sebepleri arasında yer almaktadır. Ayrıca bireylerin tüketim alışkanlıklarındaki artış, üretimde ve oluşan atık miktarında da aşırı artışa neden olmuştur. Bu döngü neticesinde çevre sorunları günümüzün en önemli konularından biri haline gelmiştir.

Günümüzde birçok önlem alınmasına rağmen üretimden, ısınmadan, trafikten ve temel ihtiyaçların kullanımından kaynaklı atıklar başta hava kirliliği olmak üzere çevremizi olumsuz etkileyen başlıca kirletici kaynaklarıdır. Ağır metaller sanayi tesisi ve egzoz gazı emisyonları ile atmosfere salınabildiği gibi araç lastiklerinin, mekanik ve plastik parçalarının aşınması, toprağın ve asfalt yolların doğal içeriğine bağlı olarak çok küçük boyuttaki tozlar ile de hem iç hem de dış ortam havasına taşınabilmektedir. Özellikle çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda ağır metal kirliliği kirlilik yükü ve ekolojik risk açısından kritik bölgelerin tespit edilmesinde kullanılabilecek önemli bir kirlilik parametresidir.

Şehirlerde meteorolojik ve topografik etkiler kirleticilerin atmosferde taşınmasında ve farklı alanlarda çökmesinde etkin rol oynar. Bu nedenle cadde tozları kompozisyonun hava kirliliği göstergesi olarak da değerlendirilmesi mümkündür.

Bu çalışmanın amacı, 1) Karabük ili sınırları içerisinde belirlenen örnekleme noktalarında cadde tozlarının ağır metal içeriğinin belirlenmesi, 2) metallerin mekansal dağılımının incelenmesi, 3) ölçümü yapılan her bir ağır metal türüne göre hava kalitesi profiline oluşturulmasıdır.

Yapılan bu çalışma genel olarak literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Literatür taraması kendi içinde üç konu başlığı; deneysel çalışmalar da kendi içinde dört konu başlığı altında incelenmiştir.

İlk bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, ağır metaller geniş bir literatür taraması ile anlatılmıştır. Üçüncü bölümde çalışma alanı detaylı biçimde tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde ağır metal analizlerinde kullanılan cihazlar ve genel olarak çalışma prensipleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, örnekleme alanı, cadde tozu numunelerinin toplanması, analize hazır hale getirilmesi ve laboratuvar ortamında analizlerin yapılışı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca, yapılan analizler sonucunda elde edilen konsantrasyonların istatistiksel değerlendirme yöntemleri anlatılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş, konsantrasyonlara göre kirlilik haritaları oluşturulmuş ve kirlilik kaynakları daha önce yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı yedinci ve son bölümde, elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

HAVA KİRLİLİĞİ, KİRLETİCİLER VE KAYNAKLARI

Atmosferde, toz, gaz, duman ve saf olmayan su buharında bulunan kirleticilerin, canlılar tarafından solunduğunda olumsuz sonuçlar doğurmasına neden olacak seviyelere yükselmesi hava kirliliği olarak tanımlanır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). İnsanlara, hayvanlara, bitkilere veya eşyalara zarar verebilecek herhangi bir madde hava kirletici olarak tanımlanabilir (Kampa ve Castanas, 2008). Hava kirliliği tüm dünyada evrensel bir çevre sorunudur ve insan nüfusundaki artışa paralel olarak her geçen gün etkisini arttırarak çoğalmaktadır. Yerleşim alanlarındaki çarpık kentleşme, tarım arazilerinin amacına uygun kullanılmaması, yeşil alanların tahrip edilmesi, motorlu taşıt sayısındaki artış ve kirliliğe sebep olan atıkların doğru yönetilmemesi hava kirliliğinin en temel sebepleridir (Al-Qaysi, 2019). Hava kirliliği, canlı yaşamını doğrudan etkilemesinin yanı sıra atmosferdeki dengeyi bozarak dolaylı olarak da etkilemektedir. Denge değişimine neden olan kirlilik bilim insanları tarafında son 60 yılda yakından izlenmesine rağmen, özellikle nüfus artışının yoğun olduğu, sanayinin hızla geliştiği büyük şehirlerde olması gereken seviyeleri aşmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). Endüstri, üretim tesisleri, motorlu taşıtlar, ısınma ve elektrik üretimi için fosil yakıt kullanımı gibi insan yaşamı için gerekli olan faaliyetlerin yanı sıra yangınlar, toz fırtınaları ve volkanik faaliyetler gibi doğa olaylarından kaynaklanan partikül madde, toz birikimi, ağır metal ve uçucu organik bileşiklerden kaynaklanan emisyonlar hava kirliliğinin büyük bölümünü oluşturmaktadır (Al-Qaysi, 2019).

Uçucu Organik Bileşikler (VOC), uçucu özelliğe sahip oda sıcaklığında kolayca buharlaşabilen, renksiz, kokusuz sıvı ve gaz grubundan oluşurlar (Interpon Powder Coating, 2021). Uçucu organik bileşiklerin (VOC) karbon sayıları genellikle yirmiden azdır ve ağır hidrokarbonlar, karboniller ve halokarbonlardan oluşurlar.

Toplam VOC emisyonlarının büyük bir kısmı biyojenik yani doğal olarak atmosfere salınmaktadır ve bu bileşikler insan faaliyetleri sonucu (antropojenik) atmosfere salınan uçucu organik bileşiklere göre neredeyse on kat daha fazladır. Biyojenik olarak oluşan BVOC'lar genellikle bitki örtüsünden, okyanus ve göllerden, topraktan ve organik maddelerin ayrışmasından meydana gelmektedir. Motorlu taşıt kullanımından kaynaklanan egzoz gazı ve buharlaşan benzin, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, gıda üretim tesisleri, düzenli atık depolama alanlarından oluşan VOC'lar insan faaliyetleri sonucu oluşan VOC emisyon kaynaklarına örnektir (Uzunpınar, 2015).

Partikül kirliliği; havadaki sıvı ve toz parçacıkların karışımı olarak tanımlanmaktadır. Kirliliği oluşturan bu parçacıklar toz, is ve duman formunda olduğunda gözle görülebilecek kadar büyük boyutlarda ve koyu renkli olurlarken; bazı zehirli partiküller gözle görünmeyecek kadar küçük çaplardan oluşurlar ve ancak elektron mikroskobu ile görülebilirler (Sivaslıgil, 2007). Partikül maddeleri oluşturan parçacıklar; aerodinamik çapı 2,5 μm 'den küçük olanlar $\text{PM}_{2,5}$; 10 μm 'den küçük olanlar PM_{10} olarak iki kategoriye ayrılmıştır. Çapı 0,1 μm 'den küçük parçacıklar ultra ince parçacıklar, 1 μm 'den küçük olanlar ince parçacıklar ve 1 μm 'den büyük olanlar ise kaba parçacıklar olarak tanımlanmıştır (Kampa ve Castanas, 2008). Partikül maddeler doğal yollarla veya insan faaliyetleri sonucu oluşurlar. Okyanus ve denizlerde oluşan dalgalar, fırtınalar ve volkan patlamaları doğal partikül oluşumuna neden olurlar (Sivaslıgil, 2007). Fabrikalar, enerji santralleri, atık yakma tesisleri, trafik, inşaat faaliyetleri, madencilik, tarımsal faaliyetler, yangınlar insan faaliyetleri sonucu oluşan partikül madde kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır (Kampa ve Castanas, 2008). İnsan faaliyetleri veya doğal kaynaklardan atmosfere salınan hava kirleticileri, meteorolojik parametrelerdeki değişikliklere bağlı olarak belli bölgelerde toplanabilir, farklı bölgelere taşınabilir, konsantrasyonu değişebilir, farklı reaksiyonlar göstererek yeni çeşitli kirleticiler oluşturabilir. Atmosferde kirletici olarak bulunan gaz ve partikül maddelerin yeryüzüne taşınması kuru veya yağ birikimle gerçekleşebilir (Anıl, 2014).

Bu bağlamda cadde tozlarının ağır metal içeriği çevresel kirliliğin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Özellikle şehirlerde meteorolojik ve topografik etkiler

kirleticilerin atmosferde taşınmasında ve farklı alanlarda çökmesinde etkin rol oynar. Çevreye bilinçsizce bırakılan atıklar ve bu atıkların bileşimindeki hem çevre hem de tüm canlı yaşamı için bir tehdit unsuru olan ağır metaller (Daşdemir, 2015) her bir örnekleme noktasındaki cadde tozlarının kompozisyonunu da etkileyebileceği için hava kirliliği göstergesi olarak da değerlendirilebilir.

Ağır metal terimi fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha yüksek olan metaller terim olarak ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Vanadyum, çinko, kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, nikel, civa, mangan vs. olmak üzere 60'tan fazla metal ağır metal grubuna dahildir (Kahvecioğlu vd., 2004). Ağır metaller yer kabuğunun doğal bileşenleridir, bozunmazlar veya yok edilemezler. Hava yoluyla taşınarak suya ve gıda zincirine geçebilirler (Kampa ve Castanas, 2008). Soluduğumuz havada aerosol veya toz halinde bulunan ağır metaller, rüzgar ile karaya, karadan bitkilere, bitkilerden besin zincirine karışarak ve soluma maruziyeti ile canlı vücuduna alınmaktadır. Endüstriyel atık suların alıcı ortamlara kontrolsüz deşarjı ile hem nehirlere hem de içme sularına karışan ağır metaller bitki ve canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir (Tosyalı, 2006). Ağır metal kirliliği kaynakları genel olarak üretim tesisleri faaliyetleri, yanma ve alıcı ortama deşarj edilen atık sulardır (Kampa ve Castanas, 2008).

2.1. HAVADA BULUNAN BAZI AĞIR METAL KİRLETİCİLER, KULLANIM ALANLARI VE KAYNAKLARI

Günümüz dünyasında çevre sorunları sıralaması yapıldığında hava kirliliği birinci basamakta yer almaktadır. Kirli havanın insanlar üzerinde oluşturduğu sağlık sorunları her yıl milyonlarca insanın ölümüne neden olmaktadır. Ağır metaller insan ölümlerine sebep olan kirli havadaki önemli kirleticilerdendir. Canlılar için besin elementi olarak değerlendirilen çinko, krom, bakır, manganez, demir, nikel gibi ağır metaller de dahil olmak üzere hemen hemen bütün ağır metaller, canlı bünyesinde yüksek konsantrasyonlarda biyobirikim ile sonu ölüme kadar varan ciddi sağlık sorunları oluşturmaktadır (Çömeten, 2019).

İnsanlık tarihinin başlangıcı ile birlikte ağır metaller işlenmeye başlanmış ve doğal döngünün dışında insan faaliyetleri sonucu da atmosfere yayılmıştır. İnsanların süs eşyası, takı ve silah yapımı, beslenme vb faaliyetler için yüzyıllar boyunca işlemeye devam ettiği ağır metallerin kullanımı her geçen yüzyılda artmıştır. İnsanların sanayileşme ile tanışmasından sonra ağır metal içeren yakıtların kullanılması ile birlikte atmosferdeki ağır metal kirliliği en yüksek seviyelere ulaşmış ve bu kirliliğin ilk etkisi olarak Japonya'da ilk zehirlenmeler görülmüştür (Tosyalı, 2006).

Bugün ki ağır metal kirliliklerinin başlıca sebepleri, evsel ısınma sistemlerinde kullanılan yakıtlar, güç istasyonları, motorlu taşıtlar, enerji sektörü, gübre, demir-çelik, şeker, çimento, petrokimya ve metal endüstrileridir (Uğuz, 2007).

Bu kaynaklardan alıcı ortama verilen başlıca ağır metaller aşağıdaki kısaca açıklanmıştır.

Bakır, periyodik cetvelde Cu sembolü ile gösterilen, atom numarası 29, atom ağırlığı 63,546 g/mol olan, 8,93 gr/cm³ yoğunluğa sahip ve doğada katı fazda bulunan bir elementtir (Ünal vd., 2016). Kolay şekillenebilme özelliğine sahip olan bakır, çekme (kopma) ve darbe dayanımı yüksek olmasından dolayı da ısı işleme tabi tutulmadan soğuk haddeleme yöntemi ile kolayca şekillendirilebilmektedir. En yaygın kullanım şekli tel halinde olan bakır, nihai şekil verilebilmesi için rafine fırınlarında saflaştırma işlemine tabi tutulur. Bakır, altın ve gümüşten sonraki en iyi iletken olarak değerlendirilmektedir. Altın ve gümüşe göre doğada bol miktarda bulunması ve maliyetinin düşük olması nedeniyle elektronik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırın endüstride saf bakır olarak kullanılmasının yanı sıra, kalay ve çinko gibi metallerle yaptığı alaşımlarla elde edilen pirinç, bronz gibi alaşım halleri de endüstrinin birçok dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır ve kalay alaşımından elde edilen bronz (tunç), hem saf bakıra göre göze daha hoş gelen bir renge sahip olması hem de daha dayanıklı olması nedeniyle kıymetli süs eşyası, anıt, çan, para vs yapımında da tercih edilmektedir. Bakır alaşımları; madencilik, mekanik dişli yapımı, kimya, kıvılcım çıkarmayan atölye malzemeleri, gemi gövdelerinin kaplanması, korozyon ve ısıya dayanıklı mekanik parçaların yapımı, sofrta takımları, suni ipek yapımı, seramik, sır ve cam endüstrisi, tıp, kaplama alanları, inşaat ve

dekorasyon malzemeleri, kazan, tava gibi mutfak ekipmanları yapımı vs çok geniş kullanım alanına sahiptir (Yazan vd., 2006). Trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde fren balatalarının aşınması, araçlardan kaynaklanan sızıntılar ve dökülmelere başlıca bakır kirliliği kaynaklarıdır (Güney, 2002).

Kurşun, periyodik cetvelde 4A grubuna ait ve Pb simgesi ile gösterilen metalik bir elementtir. Atom numarası 82, atom ağırlığı 207,19 g/mol ve yoğunluğu 11,34 g/cm³'tür. Kaynama noktası 1740°C olan kurşun 327,4 °C'de erir (Özbolat ve Tuli, 2016). 2004 yılına kadar ülkemizde kurşunlu benzin kullanılmış ve buna bağlı olarak trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde kurşun birikiminin de yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz gazında bulunan kurşun yine trafik yoğunluğuna paralel olarak kurşun miktarını artışının ana kaynağıdır (Tosyalı, 2006). Günlük hayatımızda kullandığımız bir çok şeyde, toprakta, suda ve havada farklı konsantrasyonlarda kurşun bulunmaktadır. Endüstri tesislerinin bacaları, egzoz gazları, lehim, akü, boya, elektrik sanayileri ve petrol işleme tesisleri atıkları ile maden ocaklarından antropojenik kaynaklı olarak toprağa kurşun geçişi olmaktadır. Toprak minerallerinin yapısında biriken kurşun, bitki besin elementi sınıfına da girmektedir (Kara ve Ertan, 2018).

Arsenik, insanlığın varoluşundan bu yana zehir olarak kullanımı bilinen ve bugün ki teknolojiye yarı iletkenlerde ve lazer üretiminde kullanılan bir ağır metaldir. Günümüzün büyük endüstriyel faaliyetlerinden madencilikte, kerestelerin dış etkenlere karşı korunmasında ve tarımsal ilaçların üretiminde de arsenik kullanılmaktadır (Uğuz, 2007).

Kadmiyum, periyodik cetvelde Cd simgesi ile gösterilmekte ve canlılar için fazlasıyla toksik olmasının yanında çevre sağlığı açısından bakıldığında da ağır metaller arasında en tehlikeli sınıfa girmektedir. Gümüş beyazı renge sahip olan kadmiyum fiziksel olarak da yumuşak bir yapıdadır ve elektropozitif metal olma özelliğine sahiptir. Atom ağırlığı 112,41 g/mol olan kadmiyumun 8,642 g/cm³ özgül ağırlığı bulunmaktadır. Kadmiyum, çinko (Zn) üretiminde yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Boya endüstrisi, pil üretimi ve plastik sanayii kadmiyumun en önemli kullanım alanlarıdır (Eser, 2018). Galvaniz işleme ve kaplama sanayiinde korozif

özelliik göstermeyen kadmiyum çok tercih edilmektedir. Uçak imalat sürecinde, böcek ilacı ve plastik üretiminde bir nevi kararlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Kurşun üretim sürecinde de yan ürün olarak açığa çıkmaktadır (Kabadayı, 2010). Deniz suyuna dayanıklılığı nedeniyle gemi çeliklerinin kaplamasında, elektronik sanayinde, rafine petrol türevlerinde kullanılan kadmiyum; fosfatlı gübre ve deterjan üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Kocakaya, 2019).

Civa Latince “hydragyros” kelimesinden türetilmiş ve sıvı akışkan gümüş anlamına gelmektedir. Simgesi Hg olan civa periyodik cetvelde 2B grubu geçiş elementleri arasında yer almaktadır. Civanın atom numarası 80, atom kütlesi 200,59 g/mol, donma noktası -38,84°C, kaynama noktası 356,95°C ve yoğunluğu 13,546 g/cm³’tür (Özbolat ve Tuli, 2016). Civa, endüstride metalik, organik ve inorganik formlarda civa bileşikleri olarak kullanılmaktadır. Civa, ilaç, boya ve kağıt endüstrilerinde, laboratuvar çalışmalarında ve bazı metallerin üretimlerinde kullanılmaktadır (Güven vd., 2004). Günümüz teknolojisinde katalizör görevi üstlenen civa, termometre ve barometre gibi ölçü aletlerinde, elektrik, çimento, madencilik ve selüloz üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Civa dolgu malzemesi olarak diş tedavilerinde de önemli rol oynamaktadır (Özbolat ve Tuli, 2016).

Demir, kimyasal bileşimi Fe, atom numarası 26, atom kütlesi 55,85 g/mol, ergime sıcaklığı 1535°C, kaynama noktası 2750°C ve yoğunluğu 7,874 g/cm³ olan bir ağır metaldir (Tuncel vd., 2017). Yeryüzündeki tüm elementler arasında alüminyumdan sonra en çok bulunan element olma özelliğine sahip olan demir, toprak ve kayalarda fazla miktarda bulunmaktadır (Uğuz, 2007). Demir tüm metaller arasında, insanlık tarihi boyunca en çok kullanılan metal olma özelliğini taşımaktadır. Doğada bileşik halinde bulunan demirin dış çekirdeği eriyik demir ve nikelden oluşurken; iç çekirdeği katı demir ve nikelden oluşmaktadır. Kullanım tarihi MÖ 4000 yıllarına dayanan demirin ilk kullanım alanlarının avlanma ve askeri amaçlı yapılan mızrak uçları gibi silahlar ve günlük hayattaki ihtiyaçları karşılayabilmek için yapılan aletler ve süs eşyaları olduğu bilinmektedir. Savunma ve beslenme ihtiyaçlarını karşılayabilmek için demirin kullanımını zamanla bıçak, testere, zincir, makas gibi aletlere dönüşürken, kıymetli takılar da demirden yapılmaya başlanmıştır (Tuncel vd., 2017). Pik demir üretimi ve direkt redüksiyon tesisleri demir cevherinin

kullanıldığı iki önemli endüstri dalıdır. Demir cevheri endüstride parça, sinter ve pelet halde tüketilmektedir. Parça demir cevheri yüksek fırınlara direkt şarj edilirken; toz demir cevheri sinter makinalarında sinterlenerek veya peletlenerek pelet halde kok üretimi ve cüruf eldesinde yardımcı hammaddelerle birlikte kullanılmaktadır (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 2021). Çimento üretiminde kullanılan bazı demir mineralleri de bulunmaktadır. Farklı kullanım alanları bulunan demir türevlerinden biri de demir oksitlerdir. Demir oksitler başta suda çözünebilen farklı renkte boyaların üretimi olmak üzere boya, mürekkep, plastik, lastik, seramik, fayans, harç, tuğla gibi yapı malzemeleri, ilaç, kozmetik ve kağıt sanayiinde de kullanılmaktadır (Tuncel vd., 2017).

Krom, periyodik cetvelde IV-B grubunda yer almakta ve Cr simgesi ile gösterilmektedir. Krom fiziksel olarak sert bir yapıya sahiptir. Atom ağırlığı 51,996 g/mol, ergime sıcaklığı 1907°C ve kaynama sıcaklığı 2672°C'dir. Fiziksel olarak sert bir yapıya sahip olan krom, aşınma ve ısıya dayanıklılık özelliklerinden dolayı sanayi ve endüstride aranan bir elementtir. Krom, sert olmasına rağmen kolayca kırılmaktadır. Havaya karşı yüksek direnç gösterebildiği için kaplandığı yüzeyde nemli ortamlarda bile korozyona engel olmaktadır (Kimya makaleleri, 2021). Krom insan vücudunda insülin dolaşımını sağlayarak karbonhidrat, su ve protein dengesini etkilemektedir. Doğada kolaylıkla bulunabilen krom; havada 0,1 µg/m³'den daha fazla; temiz suda ise ortalama 1 µg/L bulunmaktadır. Toprak genel olarak bünyesinde 2-60 mg/kg arasında krom bulundururken, herhangi bir kirleticiye maruz kalmamış topraklarda bu değer 4 g/kg'a kadar ulaşabilmektedir (Güven vd., 2004). Sanayi ve endüstride çok geniş kullanım alanına sahip olan krom özellikle çelik üretiminde, korozyona dayanıklılığı nedeniyle lehim ve pas engelleycilerin üretiminde, boya, deri ve cam sanayinde kullanılmaktadır (Daşdemir, 2015). Krom yaygın kullanım alanına sahip olması nedeniyle endüstri ve sanayi katı atıkları ve atık suları da fazla miktarda krom içermektedir. Bu nedenle çevre kirliliği üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Pak, 2011). Endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan krom, refrakter madde, seramik, parlaticı kimyasalları, dericilik ve boya maddelerinin yapımında da kullanılmasından dolayı kimya endüstrisinin de fazlaca tercih edilen metalidir (Turan, 2015).

Çinko, beyaza yakın renge yakın kırılma bir yapıya sahiptir ve yeryüzünde bulunma miktarı yaklaşık 130 mg/kg'dır. Çinko blendi (ZnS) ve calamine (ZnCO₃) çinko minerallerinin başında gelmektedir. Daha çok volkanik kayalarda görülen çinko yeryüzünde çok farklı alanlara dağılmıştır. Oksijenle temasında koyu renk alan çinko, hem asitlerle hem de bazlarla tepkimeye girme özelliğine sahip amfoter bir maddedir. Demir ve çelik malzemelerin üzerine çinko kaplayarak yapılan galvanizleme işleminde, alaşımlarda, bataryalarda ve lastik yapımında çinko oksit (ZnO) kullanılmaktadır. Çinko beyazı ya da çin beyazı diye de bilinen çinko oksit, boya pigmenti olarak da kullanılmaktadır. Çinko galvanizleme, demir konstrüksiyon malzemelere göre korozyona daha dayanıklı olması sebebiyle kendine çok önemli ve yaygın kullanım alanı oluşturmuştur. Ergime sıcaklığının yüksek olmaması bazı bileşenler için basınçlı kalıp dökümünde de kullanılmasını sağlamaktadır (Tosyalı, 2006).

Kobalt, periyodik cetvelin geçiş metalleri arasında yer almaktadır ve simgesi "Co"dur. Atom numarası 27, atom kütlesi 58,93 g/mol, yoğunluğu 8,90 g/cm³ olan kobaltın ergime sıcaklığı 1495°C'dir (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 2021). Kobalt endüstride kullanımının yanı sıra askeri alanlarda da geniş kullanım alanına sahip bir metaldir. Jet motor türbinlerinde fazlaca kullanılan kobalt, uygulandığı malzemede manyetiklik oluşturma, korozyona karşı koruma ve mekanik açıdan iyileştirme özellikleri nedeniyle alaşımlarda tercih edilmektedir. Alaşım elementi olarak kullanıldığı diğer malzemeler yüksek hız ve takım çelikleri, elmas takımlar ve kesici uçlardır. Alaşım elementi olarak kullanılmasının yanı sıra katalizör ve boyalarda pigment olarak petrol ve seramik endüstrilerinde, kurutma maddesi olarak da mürekkep ve verniklerde kullanılmaktadır. Başka bir kullanım alanı da pil elektrotları, her türden manyetik malzemeler ve kayıt cihazlarıdır (Kahvecioğlu vd., 2004).

Nikel, periyodik cetvelde geçiş metallerinden biridir ve simgesi "Ni"dir. Atom numarası, atom ağırlığı 58,69 g/mol ve yoğunluğu 8,90 g/cm³ olan nikelin ergime sıcaklığı 1455°C'dir (Eroğlu ve Akgök 2018). Nikel, korozyon oluşumuna izin vermeyen yapısı, sahip olduğu yüksek ısı direnci, sertlik ve mukavemet ile alaşım üretiminde tercih edilmektedir. Paslanmaz çelik üretimi ve korozyona karşı kuvvetli

bakır-nikel gibi alaşımlar nikelin başlıca kullanım alanlarıdır. Elektrolitik kaplama ve alkali pillerde kimyasal katalizör görevini saf nikel üstlenmektedir. Nikelin diğer kullanım alanları, madeni para yapımı, kaynak malzemeleri, mıknatıs, elektrot, makine aksamları ve tıbbi protezler olarak sayılabilmektedir (Güven vd., 2004).

Altın için en iyi kalitede beyazlaştırıcı olan nikel; bakır ile alaşımlandırıldığında mekanik ve işlenebilirlik açısından performansı yüksek, döküm için de çok iyi bir alaşım olma özelliğine sahip bir alaşım elementidir (Tosyalı, 2006).

2.2. HAVADA AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

Çevre kirliliğinde büyük öneme sahip ağır metaller insanlar tarafından oluşturulmaları ve yok edilemez olmaları nedeniyle diğer kirleticilerden farklılık göstermektedirler (Karaçağıl, 2013). Çeşitli faaliyetler sonucu atmosfere salınan ağır metaller, çökme yolu ile toprağa, yüzeydeki su kaynaklarına ve ardından yer altı sularına karışarak ekolojik dengeyi bozmaktadır.

Atmosferde en önemli kirletici ağır metaller arasında bulunan kurşun, partikül boyutunun küçük olması nedeniyle uçucu özellik göstermektedir ve kaynağından çok uzak mesafelere taşınabilmektedir. Metalurjik faaliyetler ve fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan bakır atmosferde birikim göstermektedir. Doğal olarak atmosferde bulunan nikel; yakıtların ve atıkların yanması ile madencilik faaliyetleri sonucunda da atmosferde yayılım göstermektedir (Özkan, 2009). Endüstri tesislerinde krom içeren minerallerin oksidasyon faaliyetleri, fosil yakıtların, ağaç ve kağıt ürünlerinin yanması sonucunda atmosferde altı değerlikli krom kirliliği oluşmaktadır (Okcu vd., 2009).

2.3. HAVADA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞINA TOKSİK ETKİLERİ

İnsanlar çeşitli yollarla çevredeki zararlı maddelere maruz kalmaktadırlar. Zararlı maddeler olarak nitelendirilen ağır metallere maruziyetin gerçekleşmesi için, insanların ve ağır metallerin aynı ortamda bulunması gerekmektedir. Maruziyet

süresi ve maruz kalınan kirleticinin miktarı, toksiteyi doğrudan etkilemektedir (Yaşa, 2019).

Ağır metallerin canlı sağlığı üzerine toksik etkileri kanıtlanmıştır fakat yine de insanlar tarafından birçok alanda ağır metal kullanımı sürdürülmektedir. Örneğin civanın insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinmektedir fakat hala altın madeninin çıkarılmasında kullanılmaya devam edilmektedir. Ağır metaller arasında toksik etkisi en bilinenler civa (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), krom (Cr), manganez (Mn), çinko (Zn) ve arsenik (As)'dir (Yaşa, 2019). Ağır metale maruz kalan insanlarda hedef organ ve sağlık etkileri ile ağır metal kaynakları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Yaşa, 2019).

Çizelge 2.1. Ağır metale maruz kalan hedef organlar ve toksik etkileri.

Metal	Hedef Organ	Birincil Kaynak	Klinik Etkileri
Arsenik	Akciğer, Sinir Sistemi, Deri	Endüstriyel Tozlar, Kirli Suyun Tıbbi Kullanımı	Nazal Septumun Perforasyonu, Solunum Yolu Kanseri, Periferik nöropati: Dermatolar, Deri, Kanser
Kadmiyum	Böbrek, İskelet, Akciğer	Endüstriyel Toz Ve Dumanlar, Kirli Su ve Kirlemiş Gıda	Proteinüri, Glükozüri, Osteomalazi, Aminoasidüri, Amfizem
Krom	Akciğer	Endüstriyel Toz Ve Dumanlar ve Kirlenmiş Gıda	Ülser Solunum Yolu Kanseri
Manganez	Sinir Sistemi	Endüstriyel Toz ve Dumanlar	Santral Ve Periferik Nöropatiler
Kurşun	Sinir Sistemi, Böbrek	Endüstriyel Toz ve Dumanlar, Kirlenmiş Gıda	Periferik nöropati, Merkezi Sinir Sistemi Bozuklukları, Anemi
Nikel	Akciğer, Deri	Endüstriyel Toz ve Aerosol	Kanser
Kalay	Sinir, Akciğer Sistemi	Tıbbi Kullanımlar, Endüstriyel Tozlar	Santral Sinir Sistemi Hastalıkları, Görme Kusurları ve EEG Değişiklikleri, Pnömonokonyoz
Civa	Sinir Sistemi, Böbrek	Endüstriyel Toz ve Dumanlar, Kirlenmiş Sular ve Gıdalar	Proteinüri

Ağır metallerin geçirgenlik özelliği canlı vücudundaki organizmalarda kolaylıkla birikmesine ve yüksek toksisite özelliği göstermesine neden olmaktadır. Vücuttaki birikimi canlı sağlığı üzerinde ciddi sağlık sorunları oluşturmaktadır (Yaşa, 2019).

Canlı sağlığı ile bazı elementlerin ekosistemdeki yayılımı arasında ilişki bulunmaktadır. Var olan bu ilişkinin büyüklüğünün bilinmesi doğanın dengesi ve canlı sağlığı riskleri açısından oldukça önemlidir. Çevredeki ağır metal kirliliği besin zincirine, oradan da insan ve hayvan vücuduna geçebilmektedir. Demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), potasyum (K), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), magnezyum (Mg), manganez (Mn), krom (Cr⁺³), nikel (N), molibden (Mo) ve kobalt (Co) gibi bazı metaller insan ve hayvan metabolizmasında gereklidir ancak olması gereken miktardan daha az veya daha fazla bulunmaları toksik etkiler yaratmaktadır. Aşağıda bazı ağır metallerin sağlık etkilerinden bahsedilmiştir (Sarıkaya, 2019).

Havada asılı halde bulunan bakır tozuna soluma yoluyla maruz kalan insanların karaciğer, böbrek ve beyinlerinde hasarlar görölmektedir. Bakır iğereren mutfak araç ve gereçlerinden yiyecek ve iğerceklere karışan bakırın yutulması ile zehirlenmeler gerçektelemektedir. İç ortam havasında 1 mg/m³'ten fazla bakır bulunması soluma açısından tehlikeli boyutlara ulaşması demektir. Havadaki bakır konsantrasyonunun daha yüksek seviyelere ulaşması insanlarda koma ve hatta ölümlerle sonuçlanabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü iğerme sularındaki sınır değereri de 2 mg/L olarak ağıklamıştir. Gün içerisinde maruz kalınan bakır sınır değereri; kadınlarda 12 mg/gün, erkeklerde 10 mg/gün, 6-10 yaş aralığındaki çocuklar için ise 3 mg/gün olarak belirlenmiştir (Seven vd., 2018).

Çeşitli maruziyet yolları ile vücuda alınan kurşunun, kurşun zehirlenmesi olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine dair tanı konulabilmesi için maruziyet sonrasında kandaki kurşun miktarına bakılması gerekmektedir. Uzun süreli maruz kalma neticesinde vücutta biriken kurşun iştah kaybı ve karın ağrısı gibi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Kurşun maruziyetinin sindirim, emilim ve boşaltım sistemini etkilemesinin yanı sıra; sinir sistemini de etkileyerek duyu ve motor sinirlerde yavaşlama, agresif ve asosyal davranışlar, bellek yitimi gibi nörolojik rahatsızlıklara da sebep olmaktadır. Bununla birlikte kurşunla direkt teması olan kişilerde kemik tümörü ve kemik erimesi de görölmektedir (Özbolat ve Tuli, 2016).

Kanserojenik özelliğe sahip olan metallerden olan arsenik sindirim ve solunum yolları ile vücuda kolaylıkla alınabilirken; deri yolu ile vücuda alınması sınırlıdır.

İnorganik ve organik türleri bulunan arseniğin inorganik türü daha zararlıdır. İnsan vücudunda kanser gibi büyük sağlık sorununa neden olan arsenik, solunduğunda akciğer; ağız yolu ile alındığında cilt, mesane böbrek, karaciğer ve akciğer kanserine neden olmaktadır (Sarıkaya, 2019).

Ortalama 60 kg ağırlığındaki bir insanın haftalık maksimum kadmiyum alım sınır değeri Dünya Sağlık Örgütü tarafından 0,4-0,5 mg/hafta olarak belirlenmiştir. Farklı maruziyet yolları ile vücuda alınan kadmiyumun yaklaşık %3-8 arasındaki miktarı daha çok ciğerlerde ve böbreklerde birikmektedir. Ciğerlerde ve böbreklerde biriken kadmiyum zaman içerisinde vücutta artış göstermektedir. Genellikle elli yaşın üstündeki insanlarda kadmiyum kaynaklı böbrek rahatsızlıklarının görülmesinin sebebi de yaşa bağlı olarak kadmiyum birikmesinin artmasıdır. Kadmiyum zehirlenmesinin böbreklere verdiği hasarı gözler önüne seren en güzel örnek; 1950 yılında Japonya'nın Toyama kentinde pirince karışan yüksek miktarda kadmiyumdan 200 kişinin zehirlenmesi ve bu zehirlenmeye bağlı olarak kalıcı kemik ve böbrek hasarlarının görülmesidir. Akciğer ve prostat kanserleri, kadmiyum zehirlenmesinin en önemli etkileri arasında gösterilmektedir. Bunların yanı sıra kemik erimesi, kansızlık, diş dökülmesi ve koku duyusunun yitirilmesi de önemli etkilerindendir (Asri vd., 1983).

Civa maruziyetinin sağlığa etkisi ani ve şiddetli olabileceği gibi zamana yayılarak uzun süre sonra da ortaya çıkabilmektedir. Vücutta hiçbir etki göstermediği durumlarla da karşılaşılabilir. Doğrudan civa ile teması olmayan kişilere yapılan idrar ve kan testlerinde de civa ile karşılaşmak mümkündür. Hava ve su gibi alıcı ortamların belli bölgelerinde yoğun miktarda bulunan civa, bu bölgelerde yetişen bitkilerin bünyesinde depolanmakta ve bu bitkilerle beslenen insan ve hayvanlarda civa zehirlenmeleri görülmektedir. Çevresel faktörler ve gıdalarla dolaylı yoldan civaya maruz kalan insanlar, endüstriyel faaliyetlerde ve dış dolgularında kullanılan civaya doğrudan da maruz kalabilmektedirler. Maruz kalınan civanın miktarı, maruziyet şekli ve süresi civanın vücuttaki etkisini etkilemektedir. Civa vücutta karaciğer, böbrek ve kemikte depolanabildiği gibi; idrar, ter, dışkı, tükürük ve hayvanlarda süt ile dışarıya atılabilmektedir. Maruz kalınan metalik ve metil civa kana karışarak beyinde birikir ve nörolojik sağlık problemlerine neden

olmaktadır. İnorganik civa bileşikleri de böbreklerde birikerek çalışma faaliyetlerini engellemektedir (Kılıç vd., 2015).

Demir, canlı yaşamı için besin elementi sınıfına girmektedir. Demirin yeterli dozda alınması, zeka gelişimini, kan yapısını ve bağışıklığı güçlendirirken; eksikliği ise kansızlığa neden olmaktadır (Sarıkaya, 2019). Demirin akut zehirlenme etkisi gösterebilmesi için vücutta bulunması gereken miktar 20-60 mg/kg arasında değişiklik göstermektedir. Bunun yanı sıra ağız yolu ile vücuda alınan demirin toksik etki göstererek öldürücü olabilmesi için de vücutta 200-250 mg/kg miktarında bulunması gerekmektedir (Seven vd., 2018).

Krom bileşiklerinin insan vücuduna geçişi deri, solunum ve sindirim yoluyla gerçekleşmektedir. Kromun deri yolu ile vücuda geçişi yaralar üzerinden gerçekleşmektedir. Kromun geçiş yaptığı yara türleri genellikle sıyrık ve derinin gerilmesi sonucu oluşan çatlak türleridir. Tırnak dipleri, el üstü, el bileği gibi bölgelerde krom maruziyeti sonucu oluşan bu yaralarda “kromat ülserleri” oluşmaktadır. Bu tür yaralarda kromun kronik maruziyeti ile de korozif etkiler görülmekte ve “krom delikleri” denen delikler oluşmaktadır. Atmosferde bulunan krom bileşiklerinin gözlerde korneaya etkisinin olduğu bilinmektedir. Ağız yoluyla yüksek miktarda kroma maruz kalındığı durumlarda sarı renkli mukoza oluşumu, yutmada zorluk, karın ağrısı, sarı ve yeşil renklerde kusma, kanlı ishal, dolaşım sisteminde yavaşlama, böbrek yetmezliği ve koma gibi ciddi sağlık etkileri görülmektedir (İlhan, 2002).

Çinko da demir gibi canlılar için besin elementi sınıfına girmektedir. Vücutta enzim faaliyetlerinde ve enzim yapısında rol almak vücuttaki temel görevidir. Bu görevinin dışında RNA, DNA, protein sentezi, insülin hareketliliği, A vitamini kullanımı ve hücrelere taşınması, vücutta oluşan yaraların iyileşmesi ve hücre çoğalmasına etkisi gibi görevleri de bulunmaktadır. Bunların yanında tat alma duyusunu ve bağışıklık sistemini güçlendirme, davranış bilimlerini geliştirme, fetüs de ve çocuklarda büyüme faaliyetleri ve kanda yağ taşınması gibi faydaları da bulunmaktadır (Seven vd., 2018).

Çinkonun yeterli düzeyde alınması ile görülen olumlu sağlık etkilerinin yanında yeterli miktarda alınmadığı durumlarda fiziksel gelişim güçleşmekte ve cücelik görülmektedir. Aynı zamanda vücuttaki çinko yetersizliği ile cinsel organ gelişmelerinde gecikme, hastalıklara karşı bağışıklık düşüklüğü, vücutta oluşan yaraların kapanmasında yavaşlama, tat ve koku duyularında aksaklıklar görülmektedir (Akdeniz vd., 2016).

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından yapılan araştırmalara göre kobaltın insan sağlığına karsinojen etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalar kobalt içeren tozlara solunum yoluyla maruz kalan işçilerde akciğer kanseri riskinin yüksek olduğunu da göstermektedir. Kobaltın sağlık açısından etkilerine dair yapılan bir diğer araştırma da insan vücudunda DNA hasarına neden olduğu bulunmuştur (Boğa, 2007).

Nikel, toksik etkileri olduğu bilinen elementler arasında orta sınıf zehirleyici özelliği taşımaktadır. Çevrede doğal olarak varlığı bilinen nikel; insan faaliyetleri sonucu da yayılım göstermektedir. Bazı metallere kıyasla organik nikelin toksik etkisi, inorganik nikelere göre daha yüksektir. Çeşitli maruziyet yolları ile insan vücuduna geçen nikel, dolaşım sistemini ciddi oranda etkilemekte ve aynı zamanda kanserojen etki göstermektedir (Kahvecioğlu vd., 2004).

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. KARABÜK İLİNİN TANITIMI VE ÖRNEKLEME NOKTALARININ BELİRLENMESİ

Karabük ilinin adı, coğrafi sınırları içerisinde sık rastlanan ve kara çalılık anlamına gelen “Kara” ve “Bük” sözcüklerinin birleşiminden doğmuştur. Bölgede yaşamını sürdüren Türkmen toplumunun Karabük ismini almalarının da sebebi bu olmuştur. Bugün Türkiye’de 14 farklı mevkiinin Karabük ismini taşımasının sebebi olarak da Karabük ismini taşıyan topluluğun bu bölgelere göç etmesinden kaynaklandığı görüşü de bulunmaktadır (Karabük İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021).

Şehir, Karabük ismini aldıktan sonra 1937 yılına kadar Safranbolu ilçesine bağlı Öğlebeli Köyü’nden geçen Ankara-Zonguldak demiryolu üzerinde 13 haneden oluşan bir mahalle olarak bilinmektedir. Mahallenin demiryolu geçidi üzerinde bulunması ve kömür rezervine yakın olması bir avantaj olarak görülmüş ve 3 Nisan 1937 yılında Mustafa Kemal Atatürk’ün verdiği talimat ile İsmet İnönü tarafından Karabük Demir Çelik Fabrikası’nın temelleri atılmıştır.

6 Haziran 1995 tarihinde Çankırı’ya bağlı olan Ovacık ve Eskipazar ilçeleri ile Zonguldak’a bağlı olan Yenice, Safranbolu ve Eflani ilçeleri birleştirilerek Karabük’e bağlanmış ve Karabük Türkiye’nin 78. ili olarak kayıtlara geçirilmiştir (T.C. Karabük Valiliği, 2021).

Karabük, Demir Çelik Fabrikası’nın kurulması ile birlikte küçük bir mahalle olmasına rağmen sanayileşmeyle birlikte hızlı bir gelişme göstermiş ve kentleşme adımlarını hızlıca atmıştır. Demir-Çelik Fabrikası’nın yanı sıra şehirde birçok haddehane ve dökümhane de kurulmuştur. Bugün hala varlığını sürdüren bu

işletmelere ek olarak kurulan tekstil, mermer, orman ürünleri, çimento sanayi tesisleri şehrin geçim kaynağı olmuş ve ekonomisinin temelini imalat sanayisi üzerine kurmasını sağlamıştır (Karabük İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021).

3.1.1. Karabük İlinin Konumu

Karabük, Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde, 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleri ile 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 4145 km² olan şehir kuzeyinde Bartın, kuzeydoğu ve doğusunda Kastamonu, güneydoğusunda Çankırı, güneybatısında Bolu ve batısında Zonguldak illeriyle komşudur (Karabük Belediyesi, 2021).

3.1.2. Karabük İlinin Coğrafi Yapısı

Karabük, geniş düzlüklerin bulunmadığı, coğrafi olarak engebeli bir coğrafik yapıya sahiptir. Geniş düzlükleri bulunmamasına rağmen vadi eteklerine yoğunluk gösteren nüfusa, tarımsal faaliyetler için uygun alanlar bulunmaktadır. Şehrin Merkez ilçesinde 2000 m yüksekliğinde Keltepe; Eskipazar ilçesinde 1700 m yüksekliğinde Hodulca Dağı; Eflani ilçesinde 1043 m yüksekliğinde Tepe Dağı; Ovacık ilçesinde 1400 m yüksekliğinde Kıraç Tepesi, Safranbolu ilçesinde 1750 m yüksekliğinde Sarıçiçek Tepesi ve Yenice ilçesinde 1400 m yüksekliğinde Keçikıran Tepesi önemli yükseltileridir.

İl'in yüzölçümünün %65'ini (271.403 ha) ormanlar ve %22'sini (93.020 ha) tarım alanları oluştururken geriye kalan %13'lük (50.077 ha) kısmını meralar, yerleşim yerleri ve diğer alanlar oluşturmaktadır.

Şehrin kuzeyindeki dağlardan kaynaklanan ve akış yönü şehir olan derelerin taşıdığı kil, kum, çakıl taşı vb maddeler alüvyal dolgular oluşturmuştur. Şehri çevreleyen ve şehre havza özelliği kazandıran dağlar, Kuzey Anadolu Dağları'nın bir kolu olduğu için kıvrımlı yapıya sahip olmakla birlikte 2000 m yüksekliği aşmamaktadır. Merkez ilçedeki ortalama yükseklik 250-500 m arasında değişiklik gösterirken; Safranbolu ilçesinde ortalama yükseklik 600 m'ye çıkmaktadır. Üzerinden geçen küçük

akarsularla parçalanmış bir plato görüntüsüne sahip olan Eflani ilçesinin ortalama yüksekliği 1130 m'dir. Vadilerle parçalanmış plato ve düzlüklerden oluşan Ovacık ilçesinin aksine Eflani ilçesi engebeli ve yüksek bir yapıya sahiptir. Geniş düzlük ve tarım alanlarının bulunmadığı şehirde ovalar genellikle Araç ve Soğanlı Çayı'nın kenarlarında bulunmaktadır (Karabük İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021).

3.1.3. Karabük İlinin İklimi

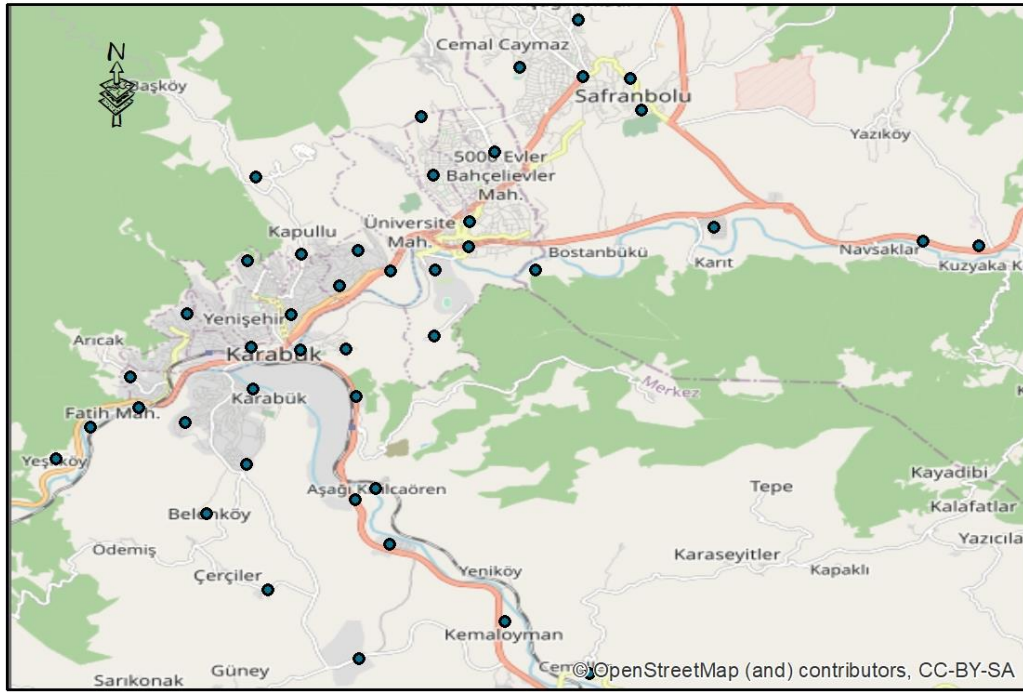
Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Karabük'te, Karadeniz ikliminin özellikleri görülmesine rağmen kıyıdan uzak olması sebebiyle Karadeniz'de görülen nemli havaya çok sık rastlanmamaktadır. Bu nedenle de Karadeniz Bölgesi'nin karasal iklime geçiş güzergahında kalmaktadır ve karasal iklim etkileri daha çok görülmektedir. En düşük sıcaklık ortalama 2,60°C iken en yüksek sıcaklık ortalama 23,10°C'dir ve yıllık ortalama sıcaklık 13,20°C'dir. 11 Ağustos 1970 tarihinde şehirde en yüksek sıcaklık 44,10°C; 25 Ocak 1974 tarihinde de -15,10°C en düşük sıcaklık olarak ölçülmüş ve tarihe geçmiştir.

Bulunduğu coğrafi bölgeden kaynaklanan iklim etkisiyle neredeyse dört mevsim yağış görülen ilde, Temmuz, Ağustos aylarında kurak dönemler görülmektedir ve bu aylar yılın en az yağış alan aylarıdır. Karadeniz ikliminin özelliklerine göre yağış miktarı azdır ve yıllık ortalama yağış miktarı 487,7 mm'dir. Eflani, Ovacık ve Yenice ilçelerindeki yıllık ortalama yağış miktarı, şehir ortalamasına göre daha yüksektir. Şehirde en fazla yağışın görüldüğü mevsimler ilkbahar ve yaz aylarıdır. Karabük'teki hakim rüzgar yönü güneybatıdır ve yıllık ortalama rüzgar hızı 0,8 m/sn'dir (Karabük İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2021)

3.1.4. Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi

Bu çalışmada hava kirliliğinin göstergesi olarak değerlendirilen cadde tozlarının ağır metal içeriğinin belirlenmesi için örnekleme noktaları Karabük Merkez ve Safranbolu ilçeleri sınırları içerisinde belirlenmiştir.

Karabük il merkezindeki kent meydanı merkez alınarak çevresinde yer alan yaklaşık 90 km²'lik bir alanda 43 örnekleme noktası belirlenmiştir. Örnekleme noktaları arasında kuşbakışı ortalama 1 km mesafe bırakılmıştır. Örnekleme yapılacak noktaların zeminlerinin asfalt, beton, kaldırım taşı vs olmasına dikkat edilmiştir. Örnekleme noktalarının koordinatları, GPS (Global Positioning System) ile tespit edilip coğrafi koordinat sisteminde kaydedilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı.

3.2. ÖRNEKLEME VE ANALİZ

3.2.1. Örneklerin Toplanması

Çalışma Karabük ili kent merkezi ile Safranbolu ilçesi merkez ve köylerinden toplanan 43 adet numune üzerinde yürütülmüştür. 16 numune trafiğin yoğun olduğu; 20 numune trafiğin az olduğu hatta hemen hemen hiç olmadığı mahalle ve köylerden; 7 numune de sanayi bölgelerinden toplanmıştır. Örnekleme noktalarının koordinatları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnekleme noktalarının koordinatları, karayolu ve sanayi tesislerine olan uzaklıkları, ana kirlenici kaynakları.

N. No	Mahalle/Köy	Enlem	Boylam	Anayoldan Uzaklık (m)	Sanayi Tesisinden Uzaklık (m)
1	Arıcak	41.175111	32.580825	270	3600
2	Fatih	41.181229	32.587470	210	2800
3	Soğuksu	41.191115	32.595357	590	1800
4	Fatih	41.185091	32.596916	135	1700
5	Atatürk	41.203343	32.606344	150	380
6	Kayabaşı	41.182227	32.605962	0	1500
7	Belenköy	41.164589	32.610005	40	2000
8	Kapullu	41.229814	32.619601	0	3100
9	Şirinevler	41.213593	32.617995	0	2400
10	Ergenekon	41.196732	32.618653	30	630
11	Karabük	41.188676	32.619013	0	300
12	Aydınlıkevler	41.174130	32.617877	100	1300
13	Çerçiler	41.149657	32.621922	800	1800
14	Kapullu	41.214866	32.628496	15	1500
15	Yeşil	41.203140	32.626427	0	1400
16	Öğlebeli	41.196207	32.628344	100	250
17	Kapullu	41.215542	32.639417	580	650
18	Kurtuluş	41.208693	32.635913	280	870
19	Öğlebeli	41.196497	32.637167	460	500
20	Kılavuzlar	41.187228	32.639087	30	130
21	Zopran	41.167290	32.638968	5	100
22	Zopran	41.136428	32.639682	0	0
23	Kurtuluş	41.211527	32.645716	0	0
24	Zopran	41.169469	32.642983	420	520
25	Zopran	41.158529	32.645616	100	0
26	Bulak	41.241604	32.651715	0	3000
27	5000 Evler Cumhuriyet	41.230272	32.654134	0	1800
28	Kılavuzlar	41.211867	32.654549	700	450
29	Kılavuzlar	41.199045	32.654342	0	1200
30	100.Yıl	41.221197	32.661222	0	1300
31	100.Yıl	41.216321	32.661001	0	1100
32	Emek	41.251169	32.670824	0	4400
33	5000 Evler Bahçelievler	41.234640	32.666032	0	2700
34	Kılavuzlar	41.211751	32.674038	550	2100
35	Cemaller	41.143604	32.667995	100	850
36	Aşağıtokathı	41.260356	32.682202	100	1800
37	Atatürk	41.249286	32.683119	0	600
38	Cemaller	41.133448	32.684337	0	620
39	Hacıhalil	41.249032	32.692373	0	1500
40	Musalla	41.242788	32.694433	200	1200
41	Karıt	41.220064	32.708592	230	0

42	Kuzyakaköseler	41.216459	32.760040	200	0
43	Kuzyakaköseler	41.217422	32.749274	0	190

Çalışma kapsamında örneklerin toplandığı Karabük kent merkezi ve Safranbolu ilçe merkezi trafiğin yoğun olarak değerlendirildiği bölgelerdir. Bu bölgelerde gün içerisinde genel olarak yoğun bir trafik bulunmaktadır. Trafiğin az yoğun olduğu alanlar ise anayol güzergahında ancak kent merkezinin dışındaki alanlardır. Trafik yoğunluğunun çok düşük olduğu alanlar merkezden uzak mahalle ve köy içleridir. Ayrıca organize sanayi bölgeleri ve haddehane yakınlarından da örnekler toplanmıştır.

Örnekler 2020 yılı Ağustos ayında iki gün süren bir çalışma ile toplanmıştır. Toplanan numunelerin kuru olması gerekliliğinden dolayı numunelerin toplanması için Ağustos ayı tercih edilmiştir. Örnekler toplanırken plastik süpürge ve faraş kullanılmıştır. Toplanan her örnek kilitli poşetlere doldurulmuş ve etiket ile tanımlama yapılmıştır. Toplanan numuneler serin ve kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Örneklerin Hazırlanması

Etiketlenerek tanımlama yapılan numuneler laboratuvara getirilmiştir. Numunelerin analize hazır hale getirilebilmesi için bir adet 100 mesh'lik (150 micron) çelik elek, plastik fırça, hassas terazi, kağıt havlu ve 30 cc'lik plastik saklama kapları kullanılmıştır.

Çelik elek içerisine bir adet numune poşeti boşaltılmış ve titratör çalıştırılmıştır. Eleme işlemi yapılırken bir adet plastik saklama kabı hassas terazi içine yerleştirilerek kapağı kapatılmış ve darası alınmıştır. Eleme işlemi tamamlanan örnek, plastik bir kaşık yardımıyla hassas terazi içerisindeki saklama kabına alınmıştır. Hassas teraziden alınan örnek dolu saklama kabının kapağı kapatılarak asetatlı kalem yardımıyla kap üzerine de örnek numarası yazılmıştır.

Tartımı yapılan örneklerin birbirlerine karışmaması için her tartım sonrasında çelik elek zarar görmeyecek şekilde plastik fırça ve kağıt havlu kullanılarak temizlenmiştir.

Her örnekten 2'şer gr'lık üç örnek hazırlanmıştır. Tartım işlemi tamamlanan örnekler 43 örneğin bir arada bulunabileceği üç adet plastik saklama kabına yerleştirilmiştir. Hazırlanan örneklerden bir serisi şahit numune olarak saklanmıştır.

3.2.3. Çalışmada Kullanılan Cihazlar

ICP-MS, çözeltide hızlı ve hassas eser element tayininde kullanıma uygundur. Tayin sınırının düşük olması, basit spektra ve izotop oranlarına uygunluğu ICP-MS'i benzerlerinden ayıran özellikleridir. Bilinen birçok elementin tayin edilebilme sınırı ng/L mertebesinde olmasına rağmen, ICP-MS'in multielement tayin yapabilme özelliği sayesinde, örneklerde nitel analizler ve izotop oranlarının belirlenmesinin yanı sıra Fe, Al, Zn, Cu gibi metalik elementler başta olmak üzere neredeyse periyodik cetveldeki tüm elementlerin farklı örneklerdeki nicel ve yarı-nicel tayinlerinde oldukça sık kullanılmaktadır. Diğer metotlar ile kıyaslandığında çalışma aralığı oldukça geniş olması nedeniyle çok sayıda element için kalibrasyon grafikleri oluşturulmasına ve bu sayede aynı anda farklı konsantrasyonlarda birden fazla elementin tayinine olanak sağlamaktadır. Metodu diğerlerinden ayıran önemli bir özelliği de elementlerin kütle spektrumlarının basit ve elemente özel nitelik taşımasıdır (Uğuz, 2007).

3.2.4. Ağır Metal Analizlerinin Yapılması

Elenmiş sokak tozu numuneleri gece boyunca 105°C'de kurutulmuş, ardından numuneler (0.25 g) 2 ml hidroflorik asit (HF) (Merck suprapure), 2 ml hidrojen peroksit (H₂O₂) (Merck Suprapure), 4 ml nitrik asit (HNO₃) (Merck Suprapure) ve 1 ml perklorik asit (HClO₄) (Merck Suprapure) karışımı ekstraksiyon işleminde kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi 1200 W mikrodalga fırında (Milestones Microwave Digestion) 200°C'de 20 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga

fırından çıkarılan numuneler 45 dakika soğutulmuş ve 50 ml hacme ulaşana kadar ultra saf su (18.3 MΩ) eklenerek çözelti analize hazır hale getirilmiştir.

Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Co, Cr, Cd, Ni, Mo, Pb, V, Sb, As, Si, Bi, Sn, Sc, Ag ve Ti olmak üzere 21 element endüktif olarak analiz edilmiştir. Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Si, Ti Endüktif Eşleşmiş Optik Emisyon Spektrometri (ICP-OES, Perkin Elmer Avio 200) cihazı ile ve diğerleri Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometre (ICP-MS, Thermo Scientific, X Series 2) cihazı ile analiz edilmiştir.

3.2.5. Metal Kirliliği Düzeyinin Değerlendirilmesi

Coğrafi birikim, kirlilik indeksi ve kirlilik yükleme indeksi hesaplamak için arka plan konsantrasyon değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak farklı kullanım yapılarından dolayı arazilerin yapısı değiştiği için arka plan örnekleme temininde zorluk çekilmektedir (Verma vd., 2020). Bundan dolayı minimum analiz sonuçları arka plan değeri olarak kullanılmıştır (Chan vd., 2001). Bu çalışmada minimum değerler arka plan değeri olarak kullanılmıştır.

3.2.5.1. Coğrafi Birikim İndeksi (Geo-accumulation index)

Coğrafi birikim indeksi, kirli bir toprak örneğindeki konsantrasyonla kirlenmemiş (arka plan) örnek konsantrasyonu karşılaştırarak kontaminasyon seviyesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Çizelge 3.2 coğrafi birikim indeksinin derecelendirme standardını göstermektedir. İndeks şu şekilde hesaplanır:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{1,5 \times C_{i_{background}}} \quad (3.1)$$

C_i = Örnekte ölçülen i elementinin konsantrasyonu

$C_{i_{background}}$ = Kirlenmemiş (arka plan) örnekte ölçülen i elementinin konsantrasyonu

Çizelge 3.2. Coğrafi birikim indeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları

İndeks Değeri	Değerlendirme
$I_{geo} \leq 0$	Kontamine olmamış
$0 < I_{geo} \leq 1$	Kontamine olmamış ila orta derecede kontamine
$1 < I_{geo} \leq 2$	Orta derecede kontamine
$2 < I_{geo} \leq 3$	Orta derecede kontamine ila ağır kontamine
$3 < I_{geo} \leq 4$	Ağır kontamine
$4 < I_{geo} \leq 5$	Ağır kontamine ila aşırı derecede kontamine
$I_{geo} \geq 5$	Aşırı derecede kontamine

Litolojik varyasyonlara bağlı olarak arka plan verilerinde faktör 1,5 kullanılır. Şist ve toprağın dünya ortalamasındaki metal seviyeleri genellikle arka plan verisi olarak kullanılır (Jiya vd., 2019).

3.2.5.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment factor)

Zenginleştirme faktörü çok sık kullanılan yöntemlerden biridir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{Al}}\right)_{\text{örnek}}}{\left(\frac{C_i}{C_{Al}}\right)_{\text{referans toprak}}} \quad (3.2)$$

$(C_i)_{\text{örnek}}$ çalışmada ölçülen i elementinin konsantrasyonu, $(C_{Al})_{\text{örnek}}$ çalışmada ölçülen örneğin Al konsantrasyonu, $(C_i)_{\text{referans toprak}}$ referans topraktaki i elementinin konsantrasyonu, $(C_{Al})_{\text{referans toprak}}$ referans topraktaki Al konsantrasyonunu ifade etmektedir. Referans element olarak Fe, Mn, Li ve Al kullanılabilir (Balık ve Tunca, 2015).

Çizelge 3.3. Zenginleştirme faktörü değerlendirme/derecelendirme standartları

İndeks Değeri	Değerlendirme
$EF < 2$	Toprağa göre çok az zenginleştiği
$2 \leq EF < 5$	Toprağa göre orta derece zenginleştiği
$5 \leq EF < 20$	Toprağa göre çok zenginleştiği

$20 \leq EF < 40$	Toprağa göre yüksek zenginleştiği
$EF \geq 40$	Toprağa göre en yüksek zenginleştiği

3.2.5.3. Ekolojik Risk İndeksi (Ecological risk index)

Belirli bir bölgedeki belirli bir kirleticinin potansiyel ekolojik riskini (RI) nicel olarak ifade etmek için ekolojik risk faktörü (*ERI*) aşağıdaki gibi belirlenir ve Çizelge 3.4'e göre değerlendirilir. Daha sonra potansiyel ekolojik risk hesaplanır ve Çizelge 3.5'e göre değerlendirilir.

$$C_{if} = C_i / C_0 \quad (3.3)$$

$$ERI = TRI \times C_{if} \quad (3.4)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n ERI \quad (3.5)$$

C_{if} = Kirlilik faktörü

C_i = Çalışmada ölçülen *i* elementinin konsantrasyonu

C_0 = Yerkabuğunda ölçülen *i* elementinin konsantrasyonu ($Ni=18,6$, $Cd=0,102$, $As=2$, $Pb=17$, $Cr=35$, $Zn=52$ mg/kg) (Wedepohl, 1995)

TRI = Belirli bir madde için toksik tepki faktörü ($Cr = 2$, $Zn = 1$, $Cd=30$, $Ni=5$, $Pb=5$, $As= 10$)

Çizelge 3.4. Ağır metallerin neden olduğu ekolojik risk dereceleri için kriterler

İndeks Değeri	Değerlendirme
$ERI < 40$	Düşük ekolojik risk
$40 \leq ERI < 80$	Orta düzeyde ekolojik risk
$80 \leq ERI < 160$	Önemli ekolojik risk
$160 \leq ERI < 320$	Yüksek ekolojik risk
$ERI \geq 320$	Çok yüksek ekolojik risk

Çizelge 3.5. Ağır metallerin neden olduğu potansiyel ekolojik risk dereceleri için kriterler

İndeks Değeri	Değerlendirme
---------------	---------------

$RI < 150$	Düşük potansiyel ekolojik risk
$150 \leq RI < 300$	Orta düzeyde potansiyel ekolojik risk
$300 \leq RI < 600$	Önemli potansiyel ekolojik risk
$RI \geq 600$	Çok yüksek potansiyel ekolojik risk

3.2.5.4. Kirlilik İndeksi (Pollution index)

Bir metalin kirlilik seviyesi kirlilik indeksi (PI_i) ile değerlendirilir. Değerlendirme için analizi yapılan örnekteki *i* elementinin konsantrasyonu (C_i) ile kirlenmemiş (arka plan) örnekte ölçülen *i* elementinin konsantrasyonu (C_{i_{background}}) arasındaki oran hesaplanır ve Çizelge 3.6. kullanılarak yorumlanır (Jiya vd., 2019).

$$PI_i = C_i / C_{i_{background}} \quad (3.6)$$

Çizelge 3.6. Tek faktörlü kirlilik endeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları

İndeks Değeri	Değerlendirme
$PI_i < 1$	Temiz olduğu
$1 \leq PI_i < 2$	Potansiyel kirliliği olduğu
$2 \leq PI_i < 3$	Hafif kirliliği olduğu
$PI_i \geq 3$	Ağır kirliliği olduğu

3.2.5.5. Entegre Kirlilik İndeksi (Integrated pollution index)

Entegre kirlilik indeksi (IPI) bir elementin kirlilik indekslerinin (PI) ortalama değeri olarak tanımlanır ve Çizelge 3.7'ye göre değerlendirilir (Malkoc vd., 2010).

Çizelge 3.7. Entegre kirlilik indeksi değerlendirme standartları

İndeks Değeri	Değerlendirme
$IPI \leq 1$	Düşük kirlilik düzeyi
$1 < IPI < 2$	Orta kirlilik düzeyi
$IPI \geq 2$	Yüksek kirlilik düzeyi

3.2.5.6. Kirlilik Yükleme İndeksi (Pollution loading index)

Tomlinson vd. (1980) tarafından ortaya konan kirlilik yükleme indeksi hesaplamasında C_f kontaminasyon faktörünü n ise çalışılan toplam metal sayısını ifade etmektedir.

$$C_{fi} = C_i / C_{i_{background}} \quad (3.7)$$

$$PLI = (C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn})^{1/n} \quad (3.8)$$

Çizelge 3.8. Kirlilik yükleme indeksinin değerlendirme/derecelendirme standartları

İndeks Değeri	Değerlendirme
PLI=0	Kirlenmemiş (arka plan)
0<PLI≤1	Kirlenmemiş
1<PLI≤2	Orta derecede kirlenmemiş
2<PLI≤3	Orta derecede kirlenmiş
3<PLI≤4	Orta ila yüksek derecede kirlenmiş
4<PLI≤5	Yüksek derecede kirlenmiş
PLI>5	Çok yüksek derecede kirlenmiş

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ İSTATİSTİKSEL VE MEKANSAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanından 2020 Ağustos ayında 43 noktadan cadde tozu numuneleri toplanmıştır. Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Co, Cr, Cd, Ni, Mo, Pb, V, Sb, As, Si, Bi, Sn, Sc, Ag ve Ti olmak üzere 21 element endüktif olarak analiz edilmiştir. Al, Fe, Ba, Mn, Zn, Sr, Si, Ti Endüktif Eşleşmiş Optik Emisyon Spektrometri (ICP-OES, Perkin Elmer Avio 200) cihazı ile ve diğerleri Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometre (ICP-MS, Thermo Scientific, X Series 2) cihazı ile analiz edilmiştir.

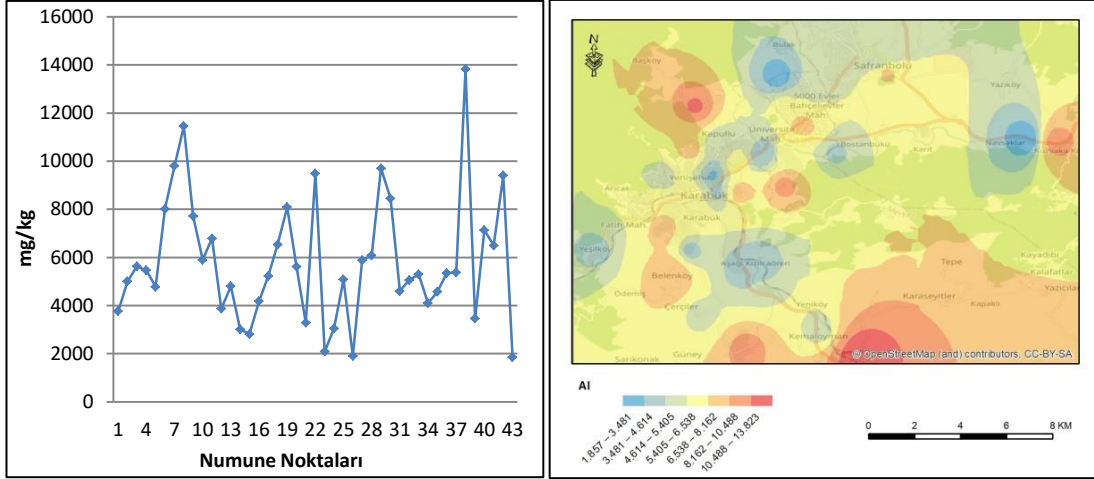
Çizelge 4.1. Parametrelere ait değerlerin istatistiksel özeti.

Parametre	Örnek Sayısı	Birim	Ort	SS	Ortanca	Geo. Ort.	Min.	Maks.
Al	43	mg/kg	5.813	2.585	5.351	5.275	1.857	13.823
Fe	43	mg/kg	22.906	38.963	10.118	9.691	178,40	222.856
Ba	43	mg/kg	35,34	23,41	29,47	30,66	12,90	136,36
Mn	43	mg/kg	523,28	805,00	288,76	242,61	11,56	4.273
Zn	43	mg/kg	198,75	156,55	180,25	155,47	0,00	941,98
Sr	43	mg/kg	46,77	15,48	43,24	44,53	21,90	101,78
Co	43	mg/kg	2,41	2,41	2,12	1,80	0,08	6,37
Cr	43	mg/kg	25,38	31,47	17,94	11,54	0,21	167,07
Cd	43	mg/kg	0,46	0,35	0,39	0,31	0,02	1,32
Ni	43	mg/kg	11,20	4,88	10,41	10,09	3,19	22,48
Mo	43	mg/kg	0,11	0,11	0,09	0,06	0,002	0,45
Pb	43	mg/kg	7,32	10,26	5,06	3,67	0,12	56,88
V	43	mg/kg	21,22	58,90	0,41	1,26	0,003	359,05
Sb	43	mg/kg	0,34	0,40	0,25	0,09	0,00006	1,48
As	43	mg/kg	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000002	0,01
Si	43	mg/kg	30.746	71.690	10.026	6.689	342,22	446.706
Bi	43	mg/kg	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Sn	43	mg/kg	6,79	4,24	6,65	5,19	0,36	16,59
Sc	43	mg/kg	0,03	0,002	0,002	0,002	0,000002	0,01
Ag	43	mg/kg	0,14	0,07	0,14	0,13	0,07	0,32
Ti	43	mg/kg	451,06	525,44	339,95	308,08	10,09	3.168

N.D: Belirlenememiştir.

Çalışma alanındaki 43 noktadan alınan cadde tozu örneklerinde ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Numune alınan noktalar arasında kalan alanlardaki konsantrasyonları tahmin etmek ve bu konsantrasyonların bölgesel yoğunlaşmalarını gösterebilmek amacıyla ArcGIS 10.8 Coğrafi Bilgi Sistemi programı kullanılarak kirlilik haritaları çıkarılmıştır.

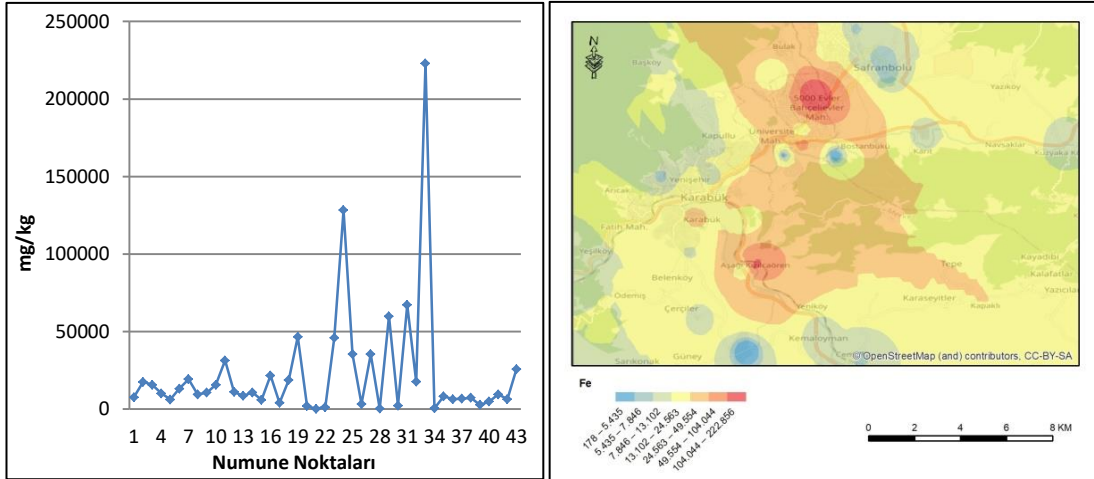
Çalışma alanı cadde tozları Al bakımından değerlendirildiğinde 1.857-13.823 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Al değeri 5.813 mg/kg olarak bulunmuştur. Al konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 38. nokta iken en az olduğu nokta ise 43. noktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Numune noktaları Al konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Ağır metal analizi yapılan cadde tozu örneklerinde alüminyum (Al) elementini kirlilik haritası üzerinde incelediğimizde kirliliğin tek bir kaynaktan değil, farklı bölgelerde çeşitli kaynaklardan oluştuğu görülmüştür. En yüksek konsantrasyonun görüldüğü nokta yoğun trafik akışının olduğu örnekleme noktasıdır. Al içerikli otomobil parçalarının aşınması yüksek Al konsantrasyonuna neden olabilir. Kirlilik kaynağı olarak küçük ölçekli sanayi siteleri ve tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü düşünülen alanlarda kullanılan zirai ilaçlardan kaynaklandığı düşünülebilir.

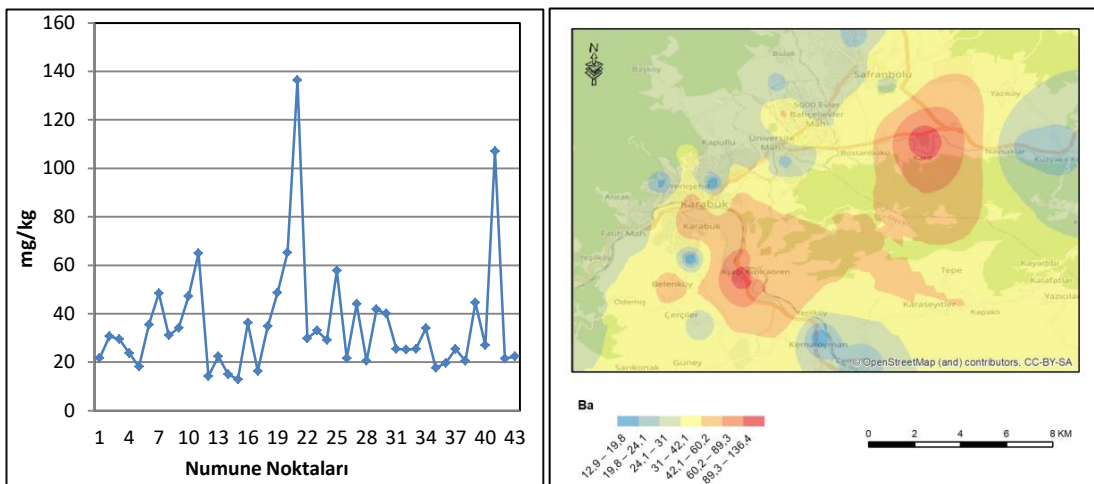
Çalışma alanı cadde tozları Fe bakımından değerlendirildiğinde 178,40-222.856 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Fe değeri 22.906 mg/kg olarak bulunmuştur. Fe konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 33. nokta iken en az olduğu nokta ise 21. noktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Numune noktaları Fe konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Fe ve Ti konsantrasyonların en yüksek görüldüğü nokta orta ölçekli trafiğin olduğu yerleşim yeri içerisinde gözlemlenmiştir. Örneklerin neredeyse tamamında Fe konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar çalışma alanımızın Fe içeriği bakımından zengin olduğunu göstermektedir.

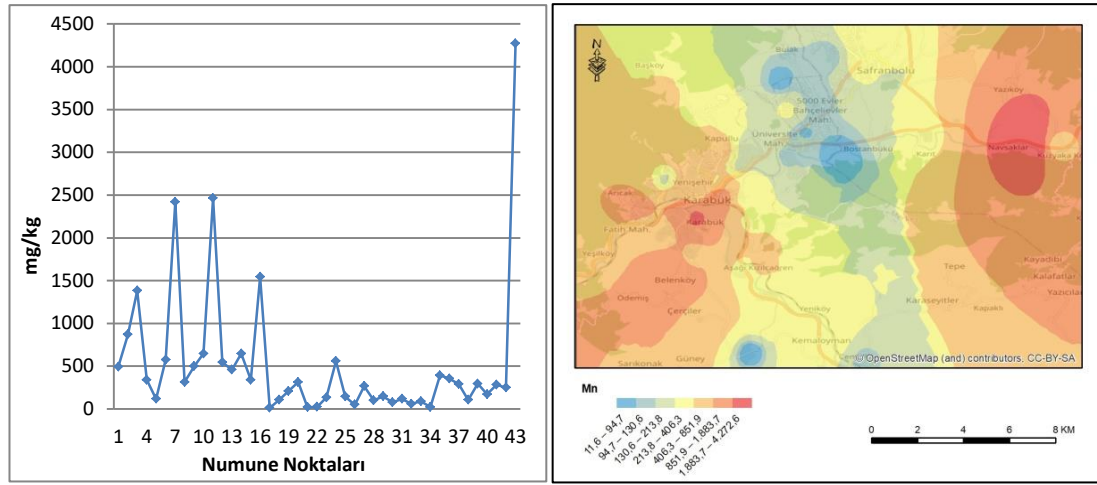
Çalışma alanı cadde tozları Ba bakımından değerlendirildiğinde 12,90-136,4 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Ba değeri 35,34 mg/kg olarak bulunmuştur. Ba konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 21. nokta iken en az olduğu nokta ise 15. noktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Numune noktaları Ba konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Xiufeng vd. (2004) Çin'in yarı kurak bölgesindeki Baotoucity şehrinin sanayi tesisi meydanlarından alınan toz örneklerinde baryum (Ba), kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), manganez (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb), vanadyum (V) ve çinko (Zn); şehir parklarından alınan toz örneklerinde arsenik (As) ve kadmiyum (Cd) araştırılmıştır. Toplam 26 numunede inceleme yapılmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek Co konsantrasyonu sanayide makina fabrikası parkında tespit edilmiş ve kobalt kirliliği paslanmaz çelik ve alaşımların üretiminde kullanılması ile ilişkilendirilmiştir. Ba, Cr, Pb ve V kirlilik kaynağı olarak çelik eritme tesisi ve termik santralden kaynaklanan emisyonlar gösterilmiştir. (Han vd., 2017).

Çalışma alanı cadde tozları Mn bakımından değerlendirildiğinde 12,56-4.273 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Mn değeri 523,3 mg/kg olarak bulunmuştur. Mn konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta ise 17. noktadır (Şekil 4.4).

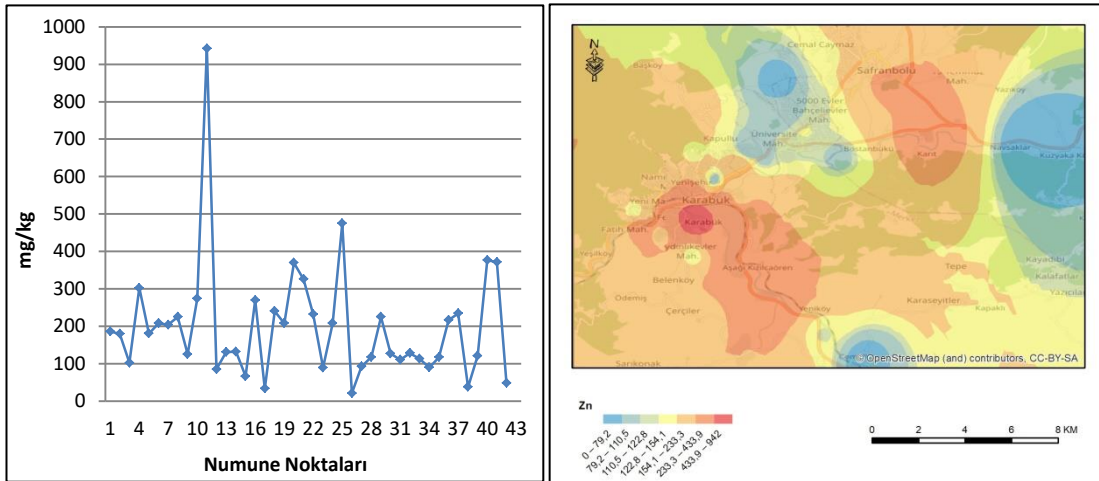


Şekil 4.4. Numune noktaları Mn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Zn bakımından değerlendirildiğinde 0,00-942 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Zn değeri 199 mg/kg olarak bulunmuştur. Zn konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 11. nokta iken en az olduğu nokta ise 26. noktadır (Şekil 4.5).

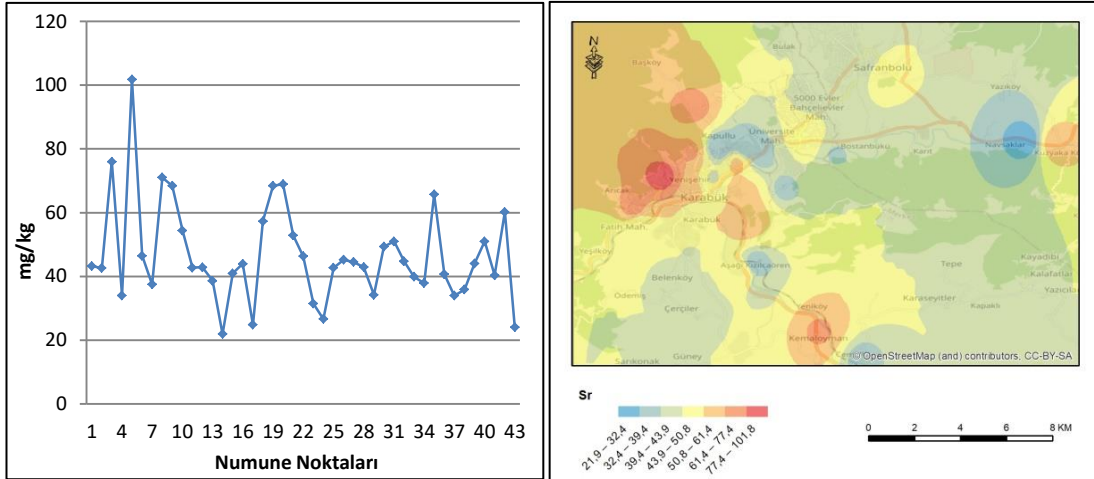
Sezgin vd.'nin (2004) yaptığı çalışmada İstanbul'da Topkapı'dan Avcılar'a kadar yaklaşık 18 km'lik E-5 karayolu güzergahı üzerinde belirlenen 14 alanda 22 farklı

noktadan 22 cadde tozu örneği toplanmış ve tozlarda Pb, Cu, Mn, Zn, Cd ve Ni konsantrasyonları tespit edilmiştir. Toprakta bol miktarda bulunduğu bilinen Mn, yapılan çalışmadaki analiz sonuçlarındaki Mn konsantrasyonu yüksekliğini açıklamaktadır. Küçük ve orta ölçekli sanayi tesislerinin bulunduğu alanlarda ve yoğun trafik görülen yerlerde Pb ve Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.



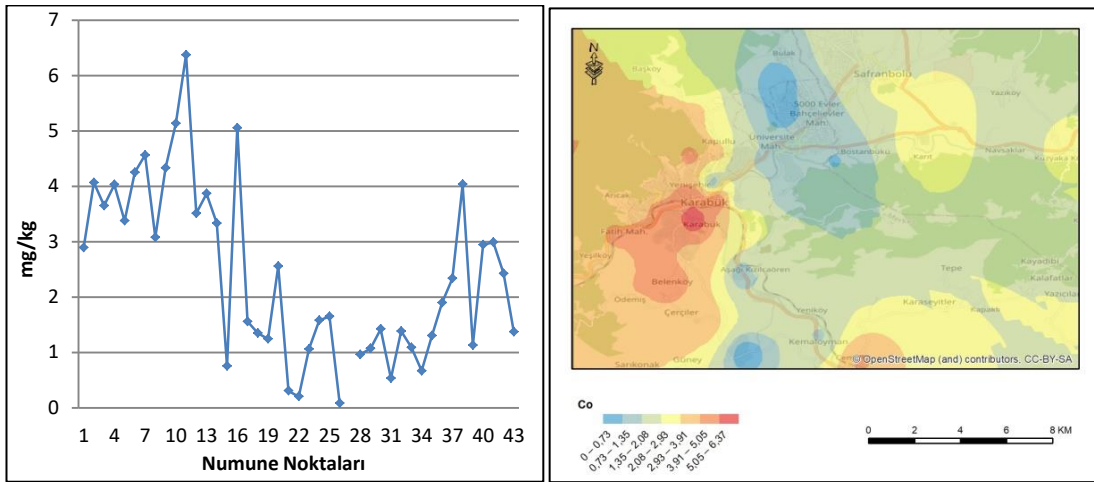
Şekil 4.5. Numune noktaları Zn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Sr bakımından değerlendirildiğinde 21,90-101,8 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Sr değeri 46,77 mg/kg olarak bulunmuştur. Sr konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 5. nokta iken en az olduğu nokta ise 14. noktadır (Şekil 4.6).



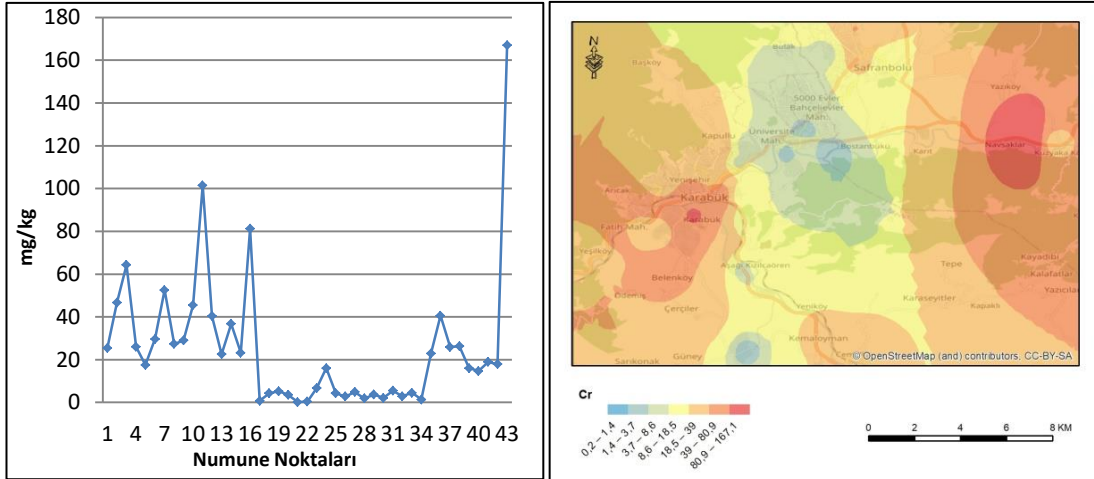
Şekil 4.6. Numune noktaları Sr konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Co bakımından değerlendirildiğinde 0,08-6,37 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Co değeri 2,41 mg/kg olarak bulunmuştur. Co konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 11. nokta iken en az olduğu nokta ise 26. noktadır (Şekil 4.7).



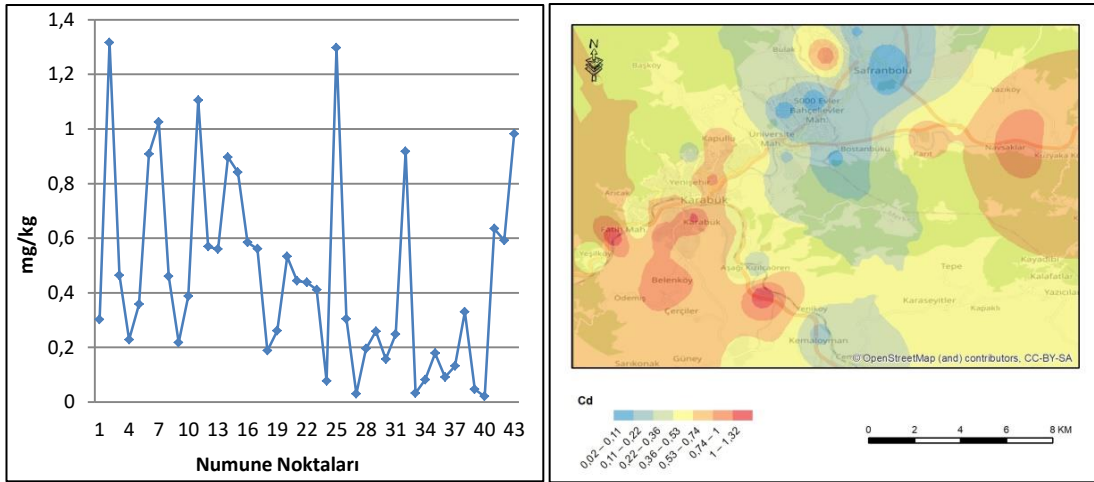
Şekil 4.7. Numune noktaları Co konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Cr bakımından değerlendirildiğinde 0,21-167 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Cr değeri 25,4 mg/kg olarak bulunmuştur. Cr konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta ise 21. noktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Numune noktaları Cr konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

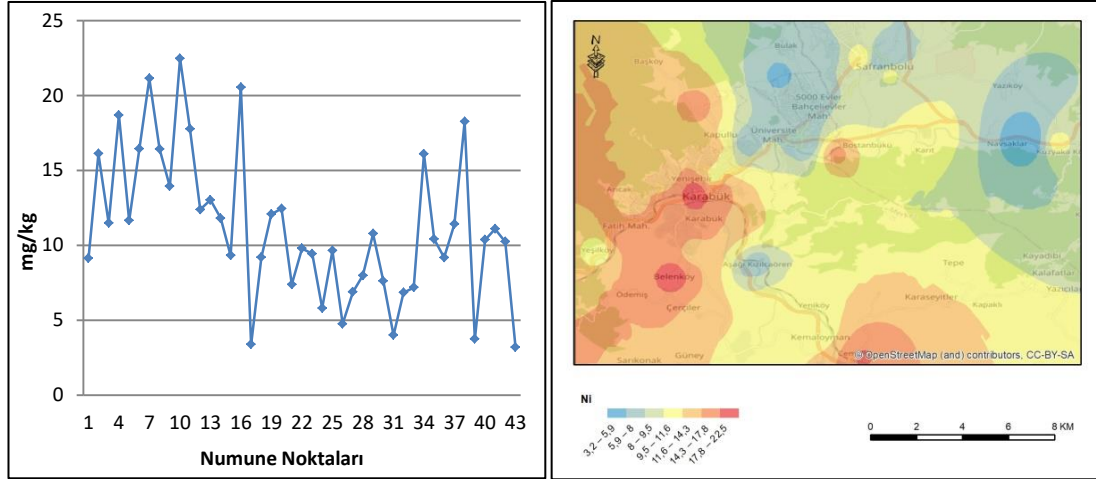
Çalışma alanı cadde tozları Cd bakımından değerlendirildiğinde 0,02-1,32 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Cd değeri 0,46 mg/kg olarak bulunmuştur. Cd konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 2. nokta iken en az olduğu nokta ise 40. noktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Numune noktaları Cd konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışmamızdaki Cd ve Cr kirlilik haritalarından elde edilen sonuçlara göre en yüksek konsantrasyonlar sanayi bölgesine yakın noktadan elde edilmiştir. Bu sonuçlar Suryawanshi vd.'nin (2016) çalışması ile Cd ve Cr kontaminasyon kaynakları ile paralellik göstermektedir.

Çalışma alanı cadde tozları Ni bakımından değerlendirildiğinde 3,19-22,48 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Ni değeri 11,20 mg/kg olarak bulunmuştur. Ni konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 10. nokta iken en az olduğu nokta ise 43. noktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Numune noktaları Ni konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Suryawanshi vd. (2016) Hindistan'ın Delhi kentindeki farklı faaliyet bölgelerinden alınan dokuz yol tozu örneğinin analizi sonucunda özellikle Ni, Cd ve Cr konsantrasyonlarının en yüksek olduğu bölgenin sanayi bölgesi olduğu ve kirlilik sebebinin endüstri kaynaklı olduğu sonucuna varmışlardır.

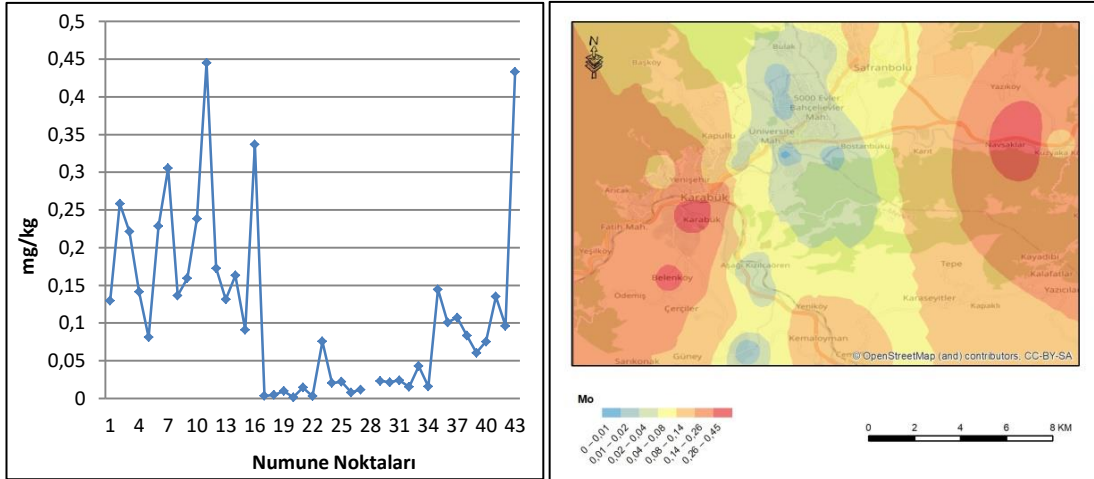
Al-Khashman (2004) tarafından Ürdün'ün Karak Sanayi Sitesi Bölgesi'nde toz, sokak tozu ve toprak örneklerinin olduğu 15 farklı numune Fe, Cu, Zn, Ni ve Pb ağır metalleri açısından incelenmiştir. En yüksek Pb, Zn ve Cu konsantrasyonu otomobil servis sahasında; en yüksek Fe değeri çelik ve alüminyum endüstrilerine en yakın noktada; en yüksek Ni konsantrasyonu araç servis sahasında tespit edilmiştir. Alınan örneklerin bir çoğunda Fe içeriği yüksek konsantrasyonlarda gözlemlenmiştir. Bu durum çalışma alanındaki toprağın Fe içeriği bakımından zengin olduğunun göstergesi olarak yorumlanmıştır. Ni konsantrasyonunun yüksekliği trafik ve antropojenik faaliyetler ile ilişkilendirilmiştir. Yüksek Pb konsantrasyonu trafikte kurşunlu benzin kullanımı; Cu konsantrasyonu ise araçların mekanik aşınması ve bölgedeki gümüş işçiliği ile ilişkilendirilmiştir. Zn konsantrasyonunun yüksek oluşu,

araçlarda kullanılan yağlama yağlarından, motorlu taşıtların lastiklerinden ve karbüratördeki çinkodan kaynaklandığı düşünülmektedir. (Al-Khashman, 2004).

Tüzen'in (2003) çalışmasında Ocak-Aralık 2001 döneminde Tokat'ta düşük ve yüksek yoğunluklu tramvay yolları, benzin istasyonları, otoparklar ve otobüs terminallerinin yakınında bulunan ölçüm noktalarında 20 sokak tozu örneği alınmıştır. Alınan 20 örneğe, trafikten etkilenmeyen uzak bölgelerden kontrol numuneleri alınmıştır. Sokak tozu örneklerindeki Pb, Ni, Cd, Zn, Mn, Cu, Co ve Cr ağır metal seviyeleri, dünya genelindeki ortalama içeriklerin altında bulunmuştur. Bununla birlikte, benzin istasyonları, otoparklar ve otobüs terminalinde ağır metal seviyeleri daha yüksek bulunmuş ve trafik yoğunluğuna göre konsantrasyonların değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

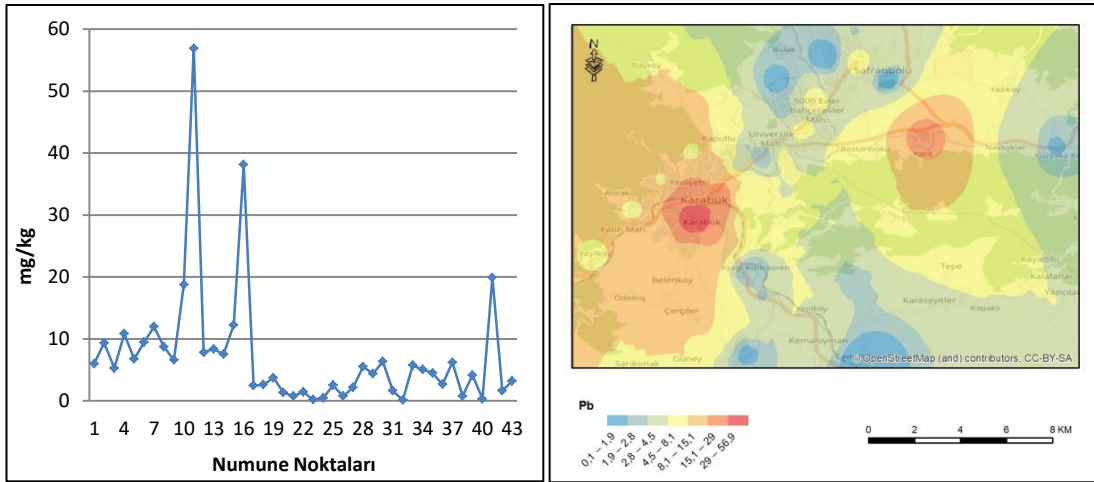
Çalışma alanında en yoğun trafiğin olduğu noktada en yüksek Ni konsantrasyonu gözlemlenmiştir. Suryawanshi vd.'nin (2016) çalışması ile paralellik göstermeyen değer, Al-Khashman'ın (2004) Ürdün'de yaptığı çalışma ile uygunluk göstermektedir.

Çalışma alanı cadde tozları Mo bakımından değerlendirildiğinde 0-0,4 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Mo değeri 0,1 mg/kg olarak bulunmuştur. Mo konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 11. nokta iken en az olduğu noktalar ise 17,18,20 ve 22. noktalardır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Numune noktaları Mo konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Pb bakımından değerlendirildiğinde 0,12-56,88 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Pb değeri 7,32 mg/kg olarak bulunmuştur. Pb konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 11. nokta iken en az olduğu nokta ise 32. noktadır (Şekil 4.12).



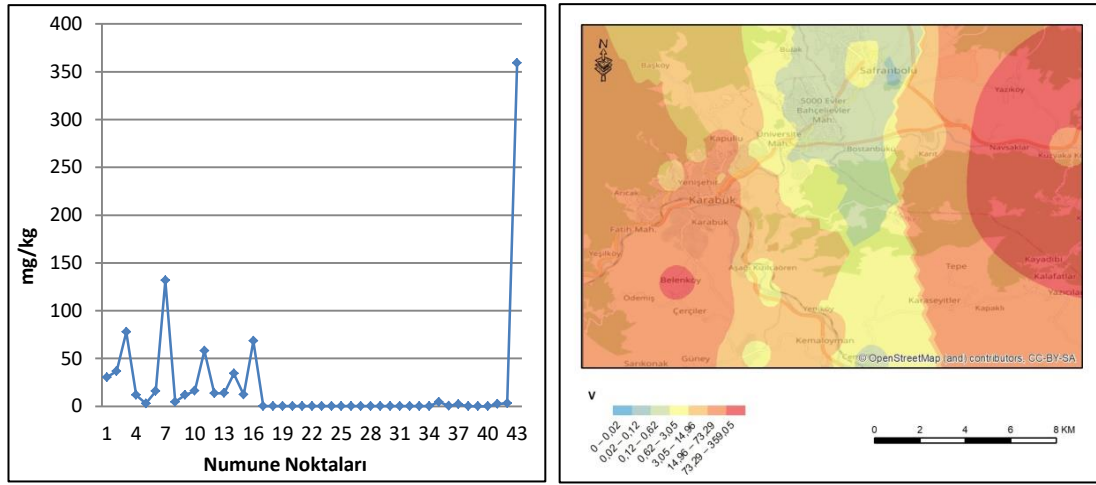
Şekil 4.12. Numune noktaları Pb konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Bu çalışmada sanayi bölgelerine en yakın ve trafik akışının yoğun olduğu noktada kurşun (Pb), çinko (Zn), kobalt (Co) ve molibden (Mo) konsantrasyonlarının en yüksek olduğu görülmüştür. Sezgin vd.'nin (2004) yaptığı çalışma, bizim çalışmamızda görülen Mn ve Zn konsantrasyonlarındaki değişimi desteklemektedir. Xiufeng vd.'nin (2017) yaptığı çalışma Co kirlilik kaynağı olarak paslanmaz çelik ve

alaşım endüstrisini göstermekte ve çalışmamızdaki Co kirlilik kaynağı ile uyumlu görünmektedir.

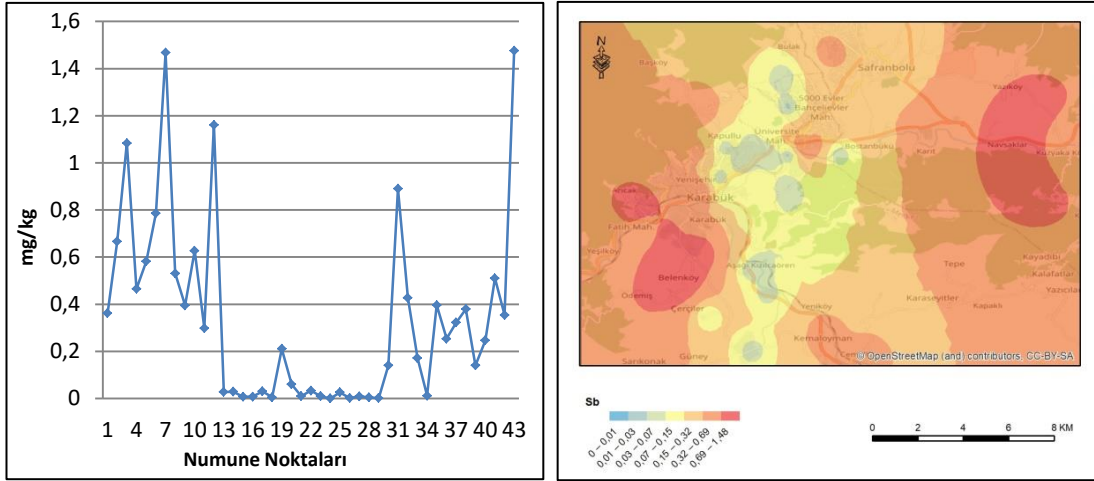
Elik (2003) tarafından yapılan çalışmada Sivas ilinde ve çevresinde bulunan yedi bölgeden toplanan sokak tozu örneklerinde kurşun (Pb), çinko (Zn), nikel (Ni), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) ağır metal içerikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ağır metal konsantrasyonları arka plan değerlerine göre bir kaç kat daha yüksek tespit edilmiştir. Değerlendirmelerine göre kirlilik kaynakları motorlu taşıt emisyonları ve sanayiden kaynaklı emisyonlardır.

Çalışma alanı cadde tozları V bakımından değerlendirildiğinde 0,003-359 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama V değeri 21,22 mg/kg olarak bulunmuştur. V konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta ise 40. noktadır (Şekil 4.13).



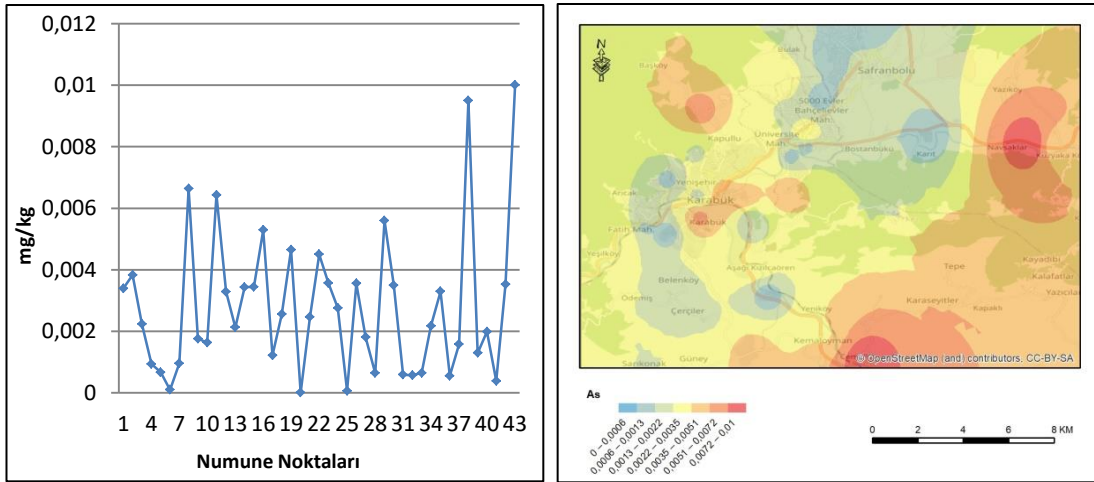
Şekil 4.13. Numune noktaları V konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Sb bakımından değerlendirildiğinde 0,00006-1,48 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Sb değeri 0,34 mg/kg olarak bulunmuştur. Sb konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu noktalar ise 24, 26, 28 ve 29. noktalardır (Şekil 4.14).



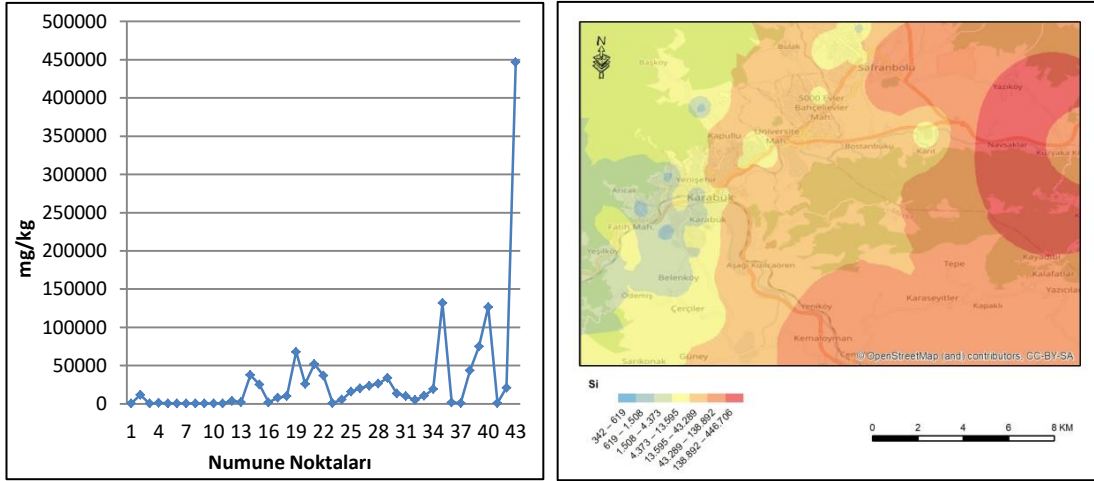
Şekil 4.14. Numune noktaları Sb konsantrasyonları ve kirlilik haritası

Çalışma alanı cadde tozları As bakımından değerlendirildiğinde 0,000002-0,01 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama As değeri 0,003 mg/kg olarak bulunmuştur. As konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta 20. noktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Numune noktaları As konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

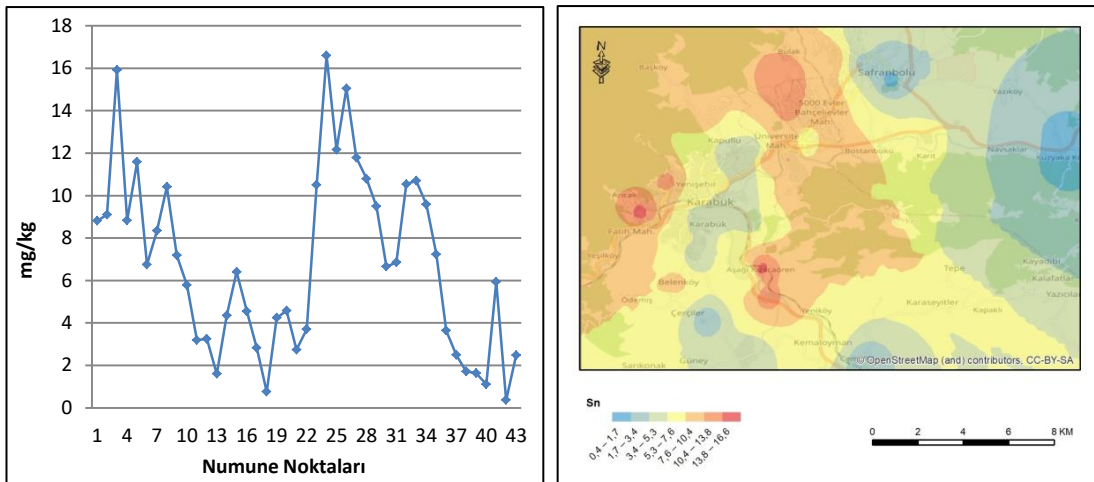
Çalışma alanı cadde tozları Si bakımından değerlendirildiğinde 342-446.706 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Si değeri 30.746 mg/kg olarak bulunmuştur. Si konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta ise 9. noktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Numune noktaları Si konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Bi bakımından değerlendirildiğinde 43 noktanın analiz sonucunda Bi konsantrasyonu tespit edilememiştir.

Çalışma alanı cadde tozları Sn bakımından değerlendirildiğinde 0,36-16,59 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Sn değeri 6,79 mg/kg olarak bulunmuştur. Sn konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 24. nokta iken en az olduğu nokta ise 42. noktadır (Şekil 4.17).

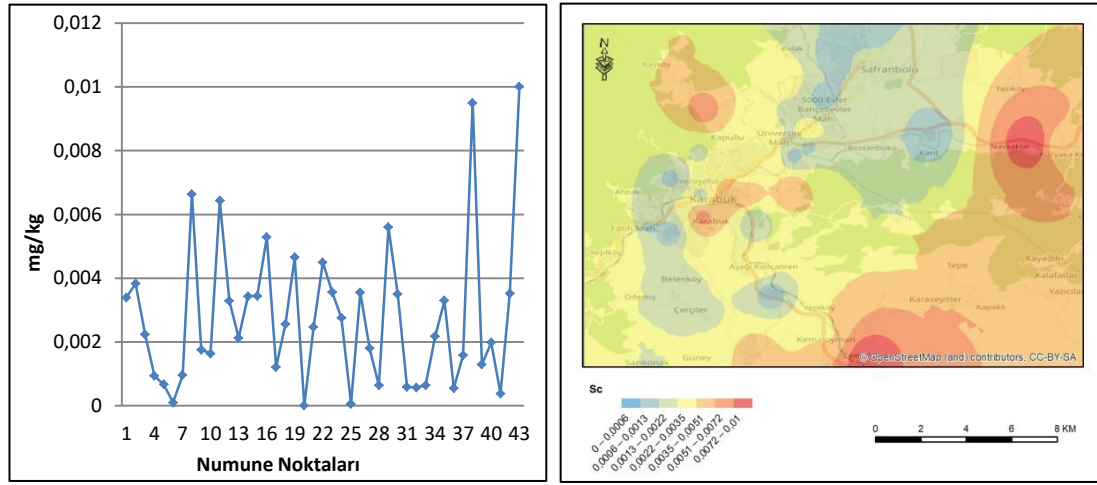


Şekil 4.17. Numune noktaları Sn konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Sanayi tesislerine yakın ve yoğun trafiğin görüldüğü alanda Ba ve Sn konsantrasyonu en yüksek değerlere ulaşmıştır. Xiufeng vd'nin (2017) yaptığı çalışma Ba kirlilik

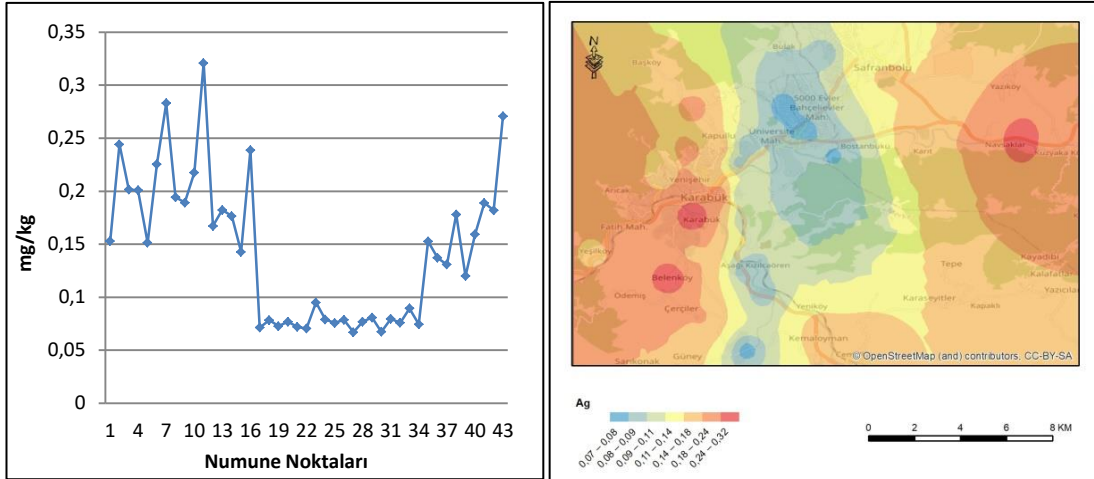
kaynağını çalışmamıza paralel olarak endüstri emisyonları olarak değerlendirmektedir (Han vd., 2017).

Çalışma alanı cadde tozları Sc bakımından değerlendirildiğinde 0,0000016-0,01 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Sc değeri 0,0028 mg/kg olarak bulunmuştur. Sc konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 43. nokta iken en az olduğu nokta 20. noktadır (Şekil 4.18).



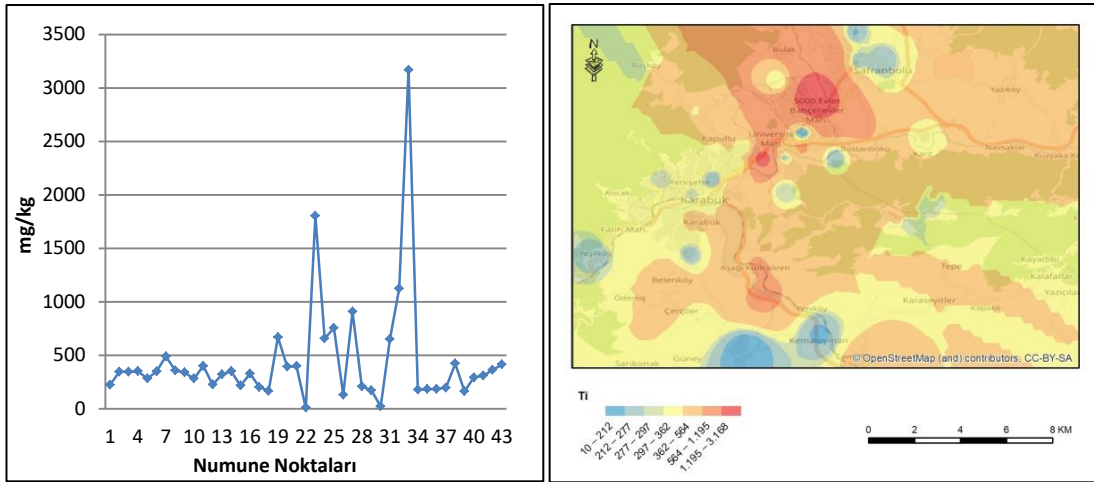
Şekil 4.18. Numune noktaları Sc konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Ag bakımından değerlendirildiğinde 0,067-0,321 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Ag değeri 0,144 mg/kg olarak bulunmuştur. Ag konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 11. nokta iken en az olduğu nokta ise 27. noktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Numune noktaları Ag konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

Çalışma alanı cadde tozları Ti bakımından değerlendirildiğinde 10,09-3.168 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yapılan analiz sonucunda 43 noktanın ortalama Ti değeri 451,1 mg/kg olarak bulunmuştur. Ti konsantrasyonunun en fazla olduğu nokta 33. nokta iken en az olduğu nokta ise 22. noktadır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Numune noktaları Ti konsantrasyonları ve kirlilik haritası.

4.2. AĞIR METALLERİN KİRLİLİK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

4.2.1. Coğrafi Birikim İndeksi (Geo-accumulation index)

Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile coğrafi birikim indeksi hesabı yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3.2'ye göre değerlendirilmiştir.

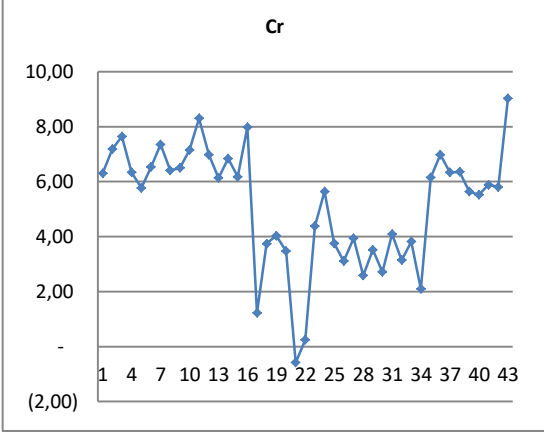
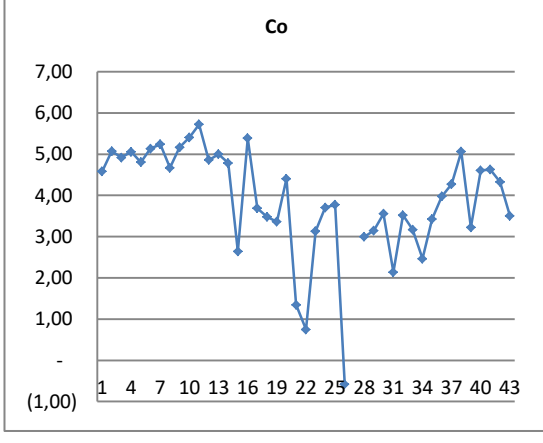
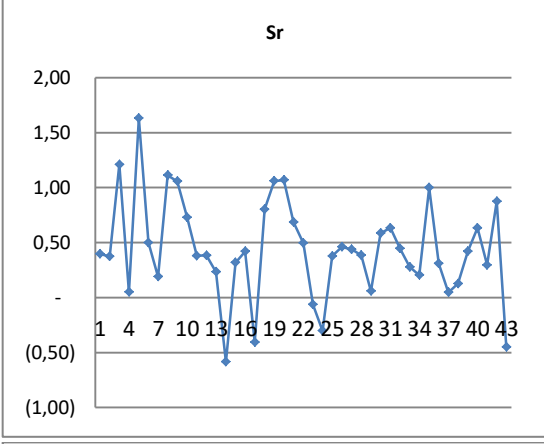
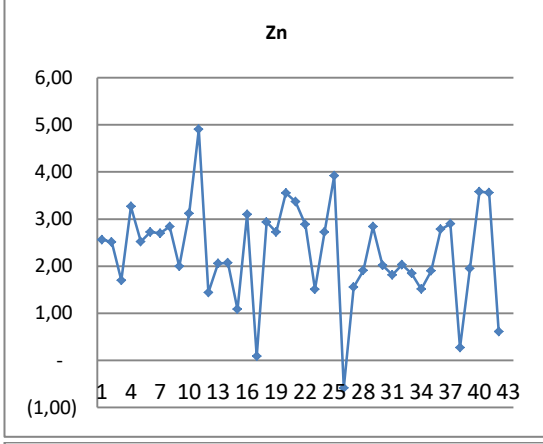
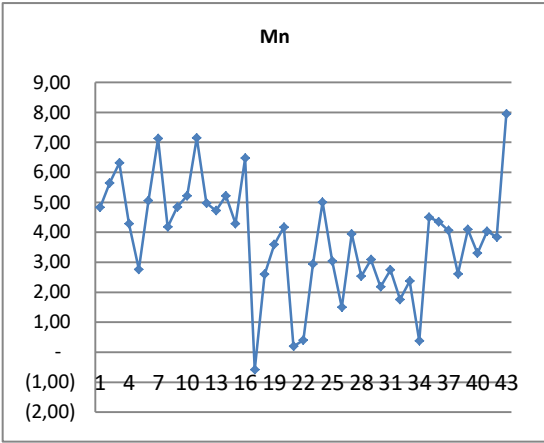
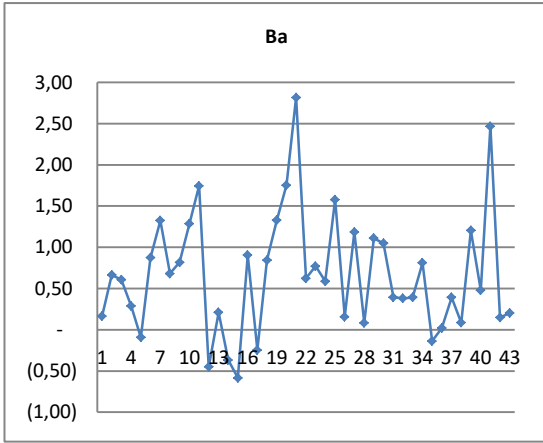
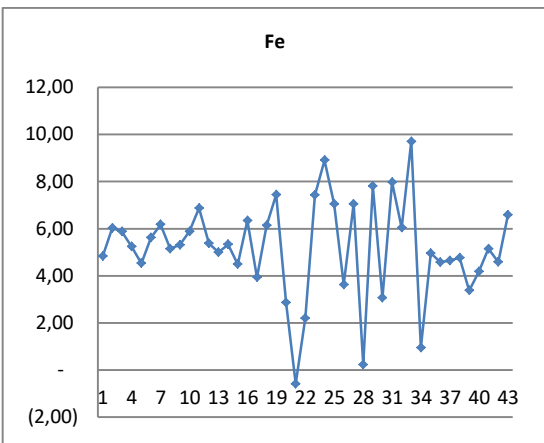
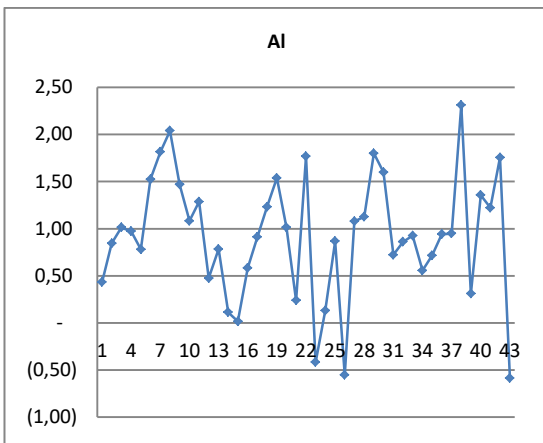
Tüm örnekleme noktaları göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre Sr ve Ag parametreleri için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş ve orta derecede kontamine olmuştur. Çalışma alanı, Al, Ba ve Ni parametreleri için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre 43 nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş, orta derecede kontamine olmuş ve orta derecede kontamine ile ağır kontamine olmuştur. Zn ve Sn parametreleri için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş, orta derecede kontamine ile ağır kontamine olmuş, ağır kontamine ve ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine olmuştur. Sb, Sc ve As parametreleri için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine ve aşırı derecede kontamine olmuştur. V parametresi için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, ağır kontamine olmuş, ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine ve aşırı derecede kontamine olmuştur. Ti parametresi için yapılan coğrafi birikim indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş, ağır kontamine olmuş, ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine ve aşırı derecede kontamine olmuştur. Fe parametresi için yapılan hesaplamaya göre çalışma alanı 43 nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş, orta derecede kontamine ile ağır kontamine olmuş, ağır kontamine olmuş, ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine ve aşırı derecede kontamine olmuştur. Kalan diğer parametreler için yapılan hesaplamaya göre çalışma alanı 43

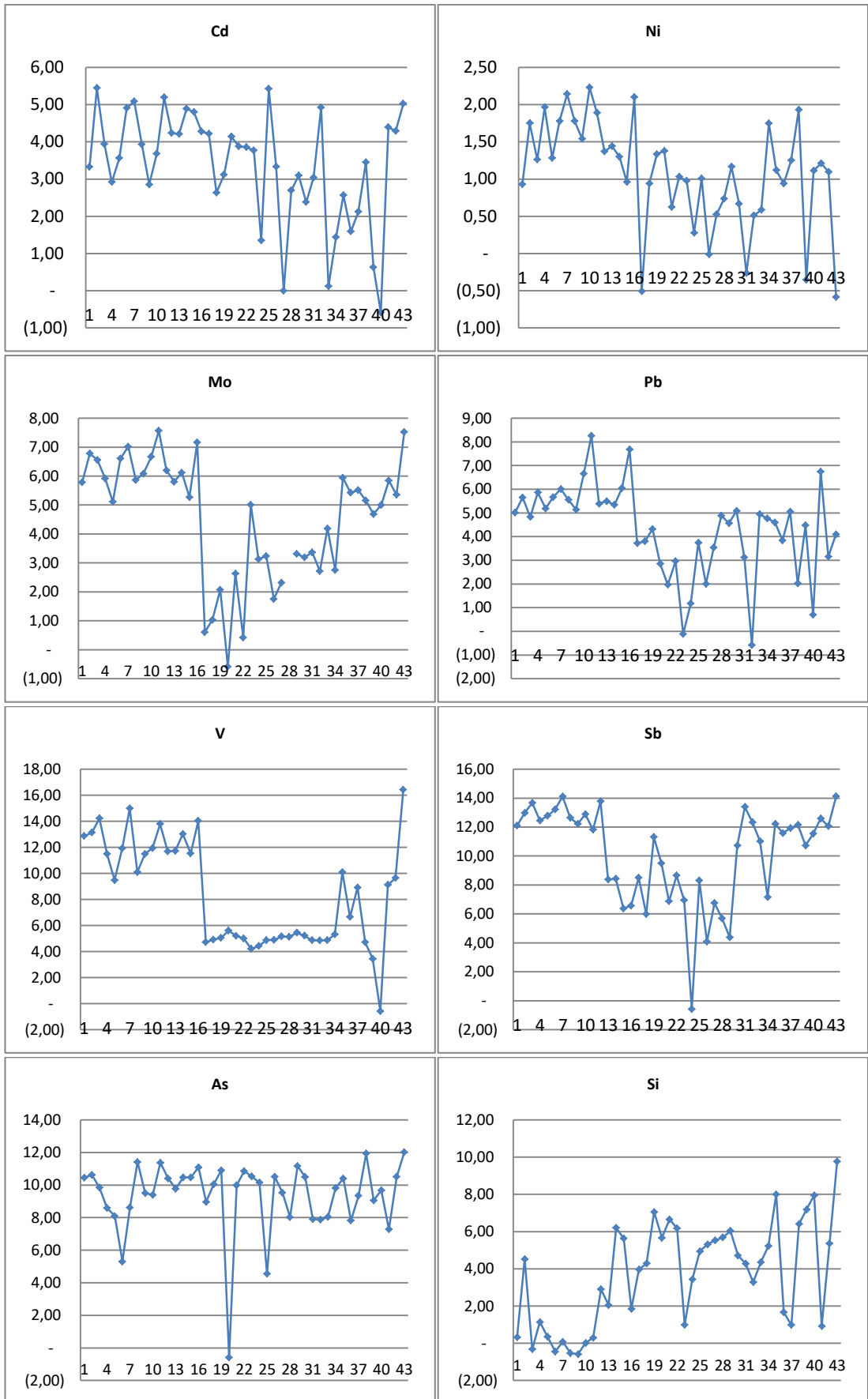
nokta için kontamine olmamış, kontamine olmamış ila orta derecede kontamine olmuş, orta derecede kontamine olmuş, orta derecede kontamine ile ağır kontamine olmuş, ağır kontamine olmuş, ağır kontamine ile aşırı derecede kontamine ve aşırı derecede kontamine olmuştur. Her bir parametre için kontamine derecesine ait değerlendirmeler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Buna göre coğrafi birikim indeksi hesaplamaları çalışma alanındaki cadde tozlarında Sr, Ag, Al, Ba ve Ni parametreleri etkisinin düşük olduğu ancak V, Sb, As ve Sc parametreleri yüksek coğrafi birikim indeksi değerine sahip olduğu için antropojenik kaynaklar ile cadde tozlarında kontaminasyon gösterdiği söylenebilir.

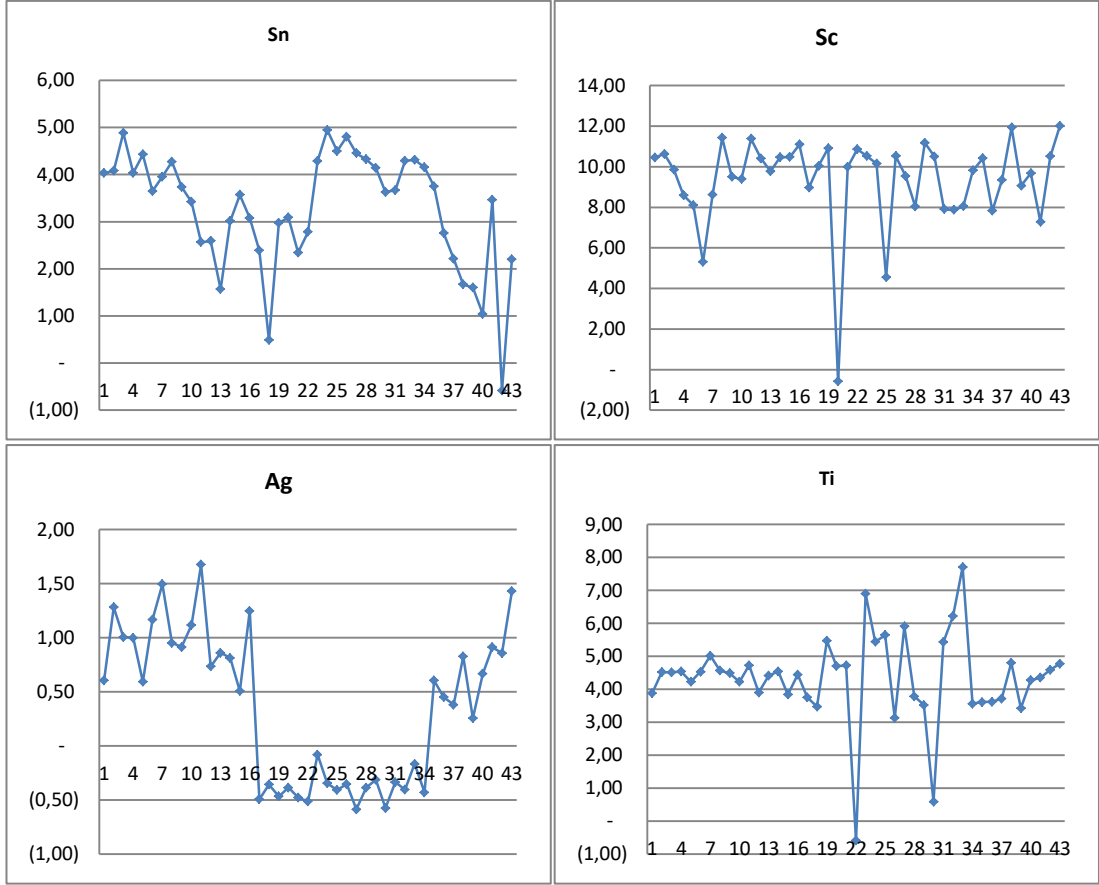
Çizelge 4.2. Coğrafi birikim indeksi (geo-accumulation index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.

Parametre	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} \geq 5$
Al	3	21	17	2			
Fe	1	2		2	4	10	24
Ba	6	25	10	2			
Mn	1	3	2	8	6	13	10
Zn	1	3	12	17	8	1	
Sr	5	32	6				
Co	1	1	1	4	14	12	9
Cr	1	1	1	3	8	3	26
Cd	2	2	3	7	13	11	5
Ni	5	12	23	3			
Mo	1	2	2	5	5	2	25
Pb	2	1	2	4	7	9	18
V	1				1	11	30
Sb	1					2	40
As	1					1	41
Si	4	8	3	2	3	6	17
Bi							
Sn	1	1	4	9	12	16	
Sc	1					1	41
Ag	18	16	9				
Ti	1	1			13	19	9

Her bir parameter için ve her bir nokta için hesaplanan coğrafi birikim indeksi değerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



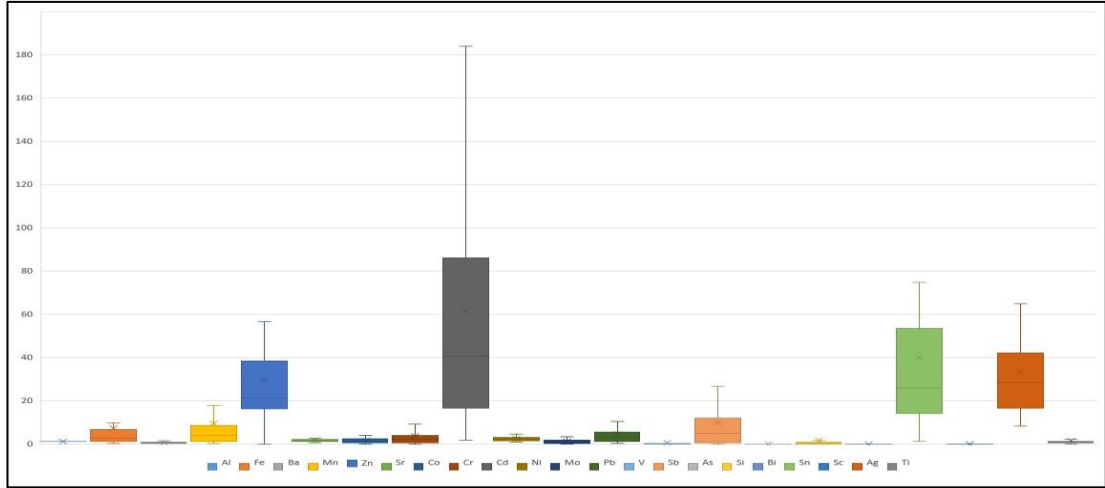




Şekil 4.21. Hesaplanan coğrafi birikim indeksi değerleri.

4.2.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment factor)

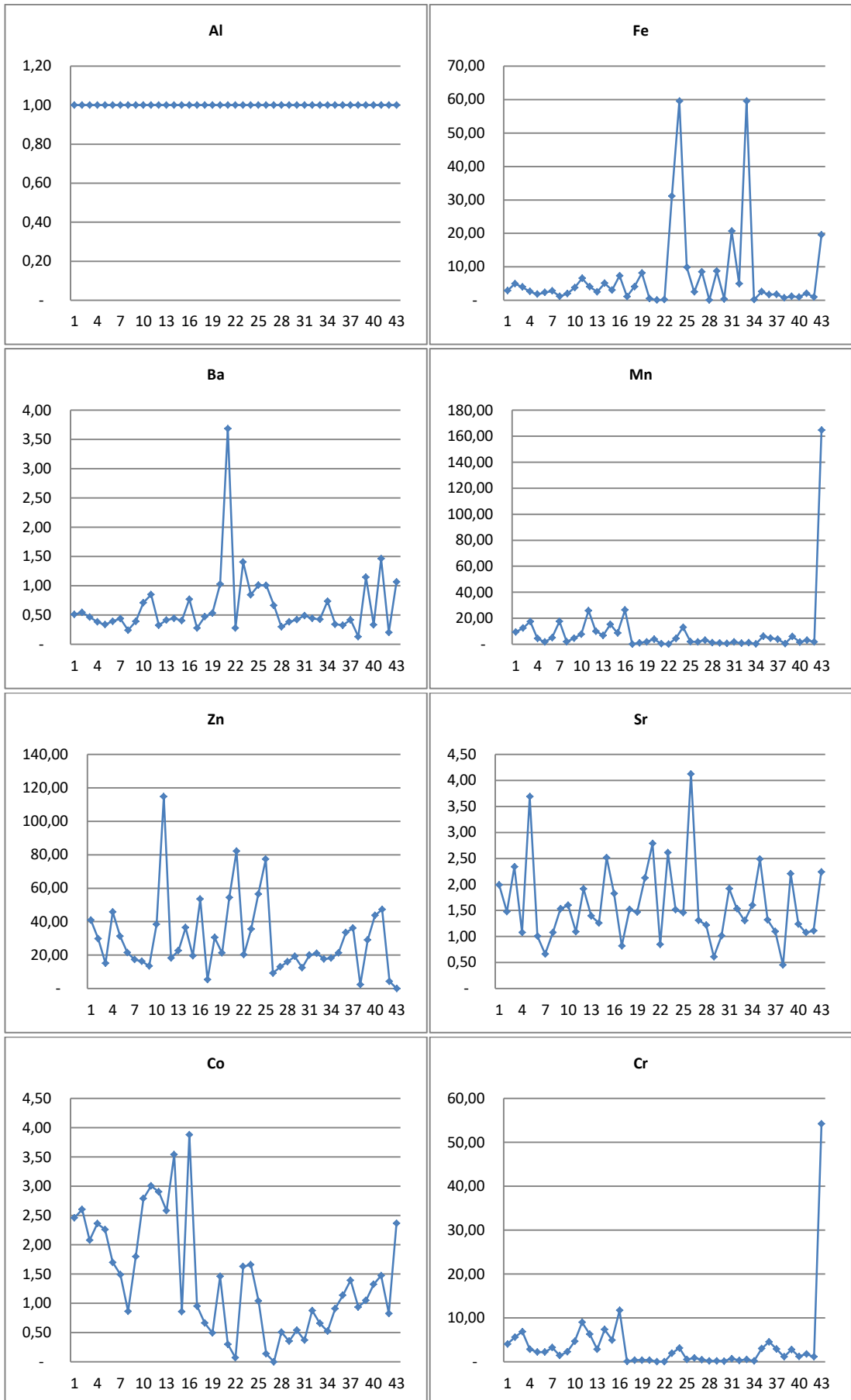
Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile zenginleştirme faktörü hesabı yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve Çizelge 3.3'e göre değerlendirme yapılmıştır.

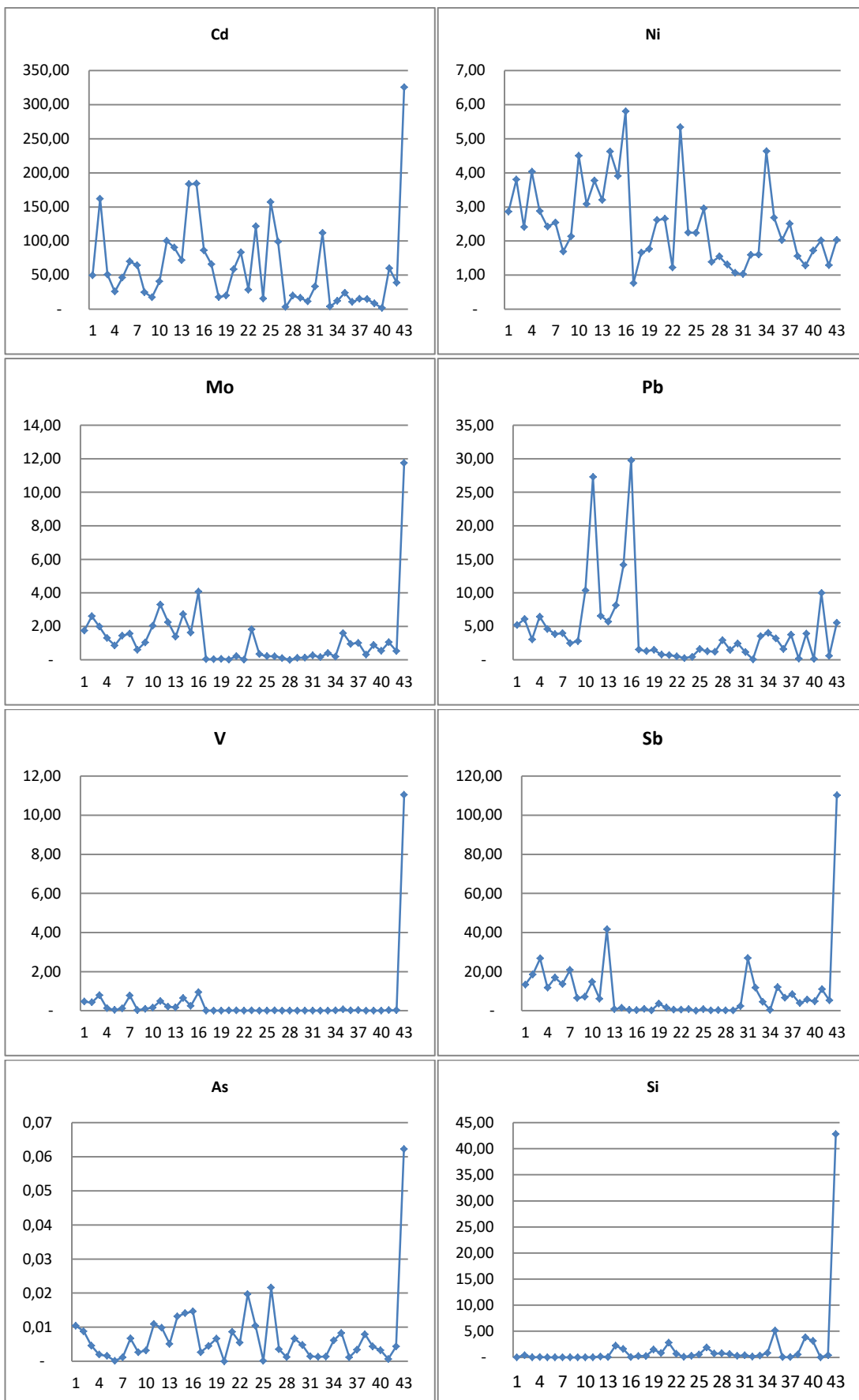


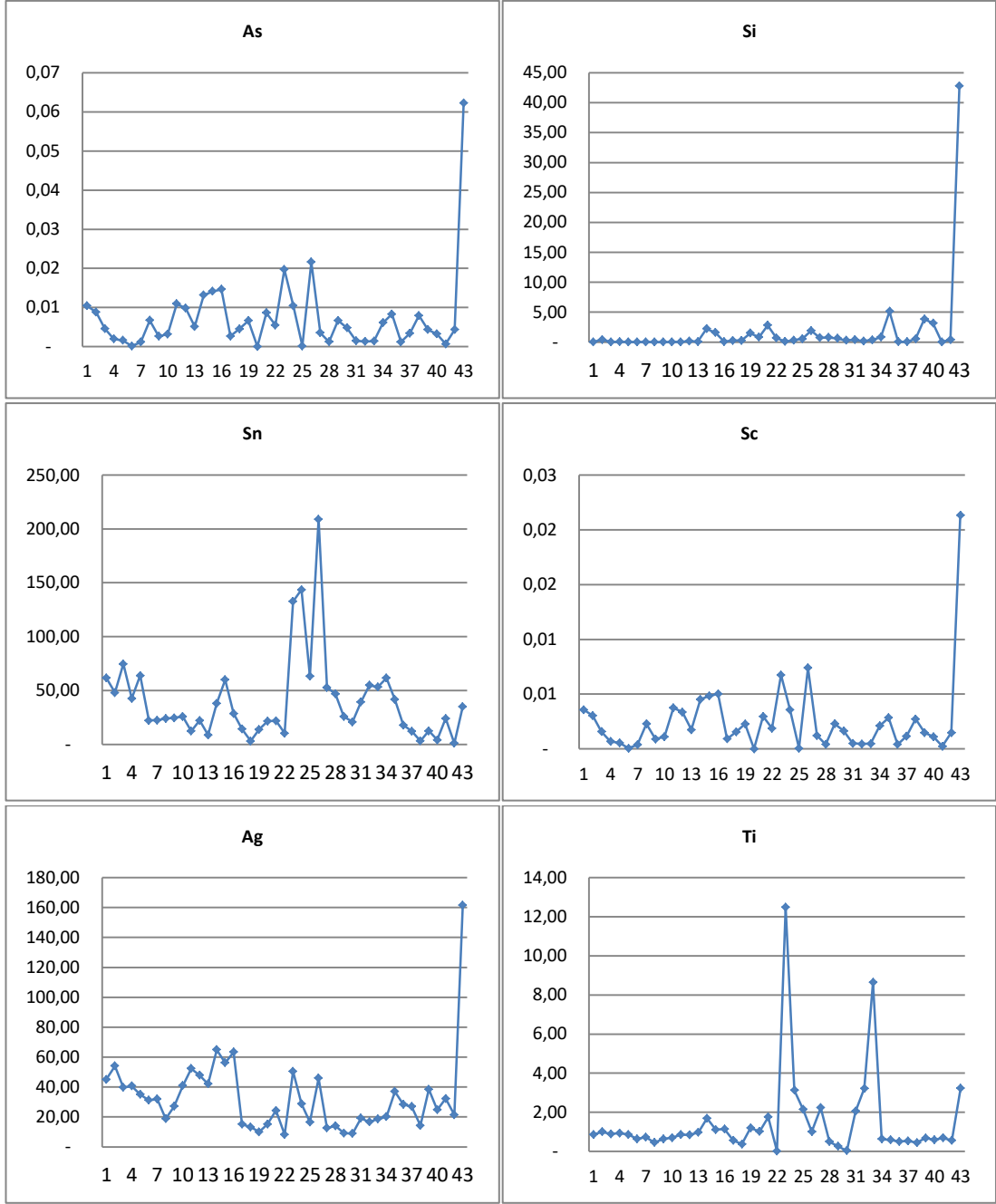
Şekil 4.22. Hesaplanan zenginleştirme faktörü değerleri.

Bu çalışmada 43 örnekleme noktası için değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmede As ve Sc parametreleri için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az zenginleşmiştir. Ba, Sr ve Co parametreleri için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az ve orta derecede zenginleşmiştir. Ni, Mo ve Ti parametreleri için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az, orta derecede ve çok zenginleşmiştir. Zn parametresi için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre orta derecede, çok, yüksek ve en yüksek zenginleşme göstermiştir. Cr ve Si parametreleri için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az, orta derece, çok ve en yüksek zenginleşme göstermiştir. Pb parametresi için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az, orta derecede, çok ve yüksek zenginleşme göstermiştir. V parametresi için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az ve çok zenginleşme göstermiştir. Ag parametresi için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok, yüksek ve en yüksek zenginleşme göstermiştir. Fe, Mn, Cd, Sb ve Sn parametreleri için yapılan zenginleştirme faktörü hesaplamalarına göre çalışma alanındaki 43 nokta toprağa göre çok az, orta derecede, çok, yüksek ve en yüksek zenginleşme göstermiştir.

Hesaplanan EF değerlerinden, 2'den küçük olan noktalardaki her parametre için bölgenin jeolojik yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Zenginleştirme faktörü $2 \leq EF < 5$, $5 \leq EF < 20$, $20 \leq EF < 40$ aralığında ve 40'tan büyük olan her bir parametre için toprak dışında başka kaynaklardan da toprağa karıştığı söylenebilir.







Şekil 4.23. Hesaplanan zenginleştirme faktörü değerleri.

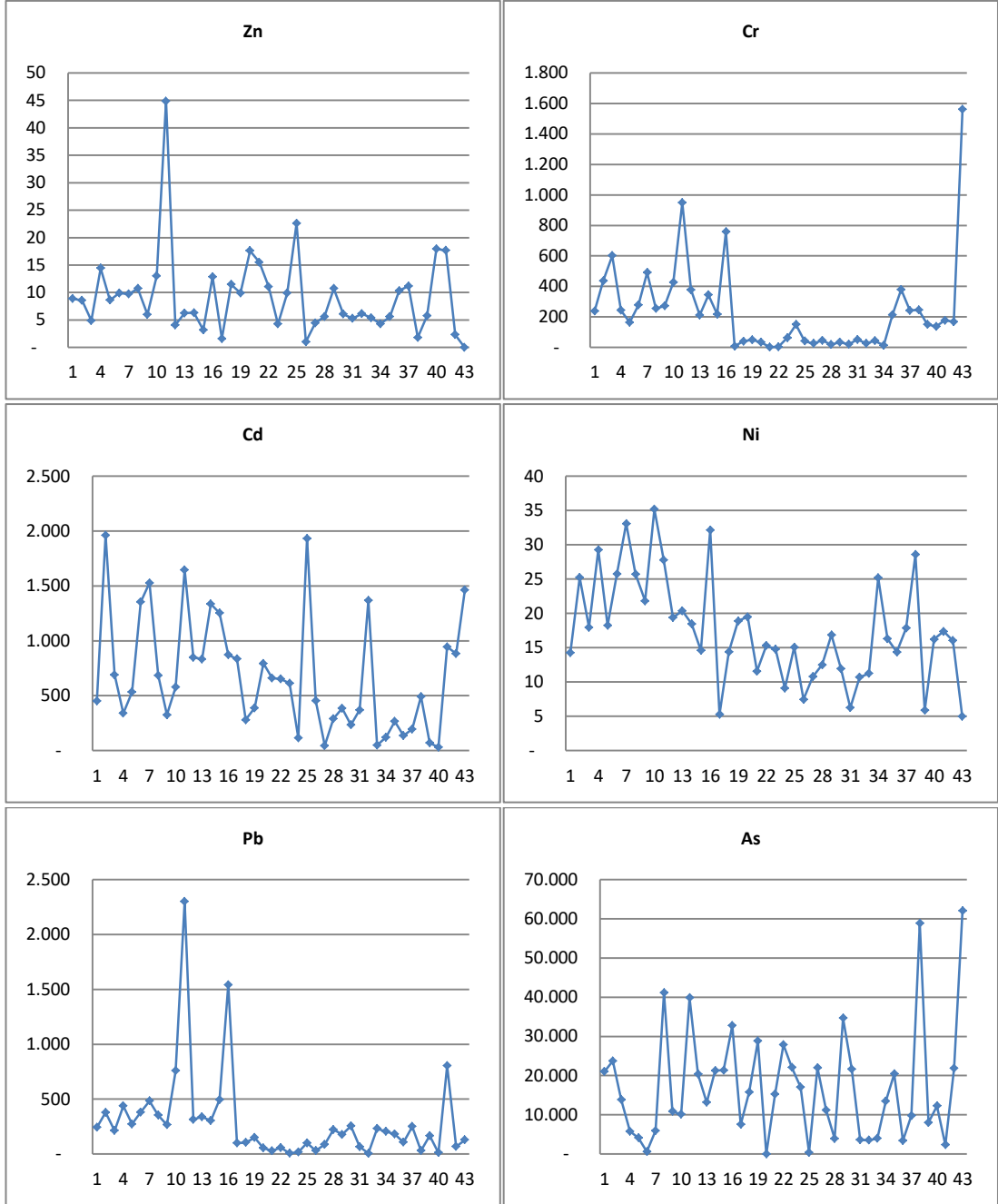
4.2.3. Ekolojik Risk İndeksi (Ecological risk index)

Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile ekolojik risk indeksi hesabı yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve Çizelge 3.4'e göre değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Ekolojik risk indeksi (ecological risk index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.

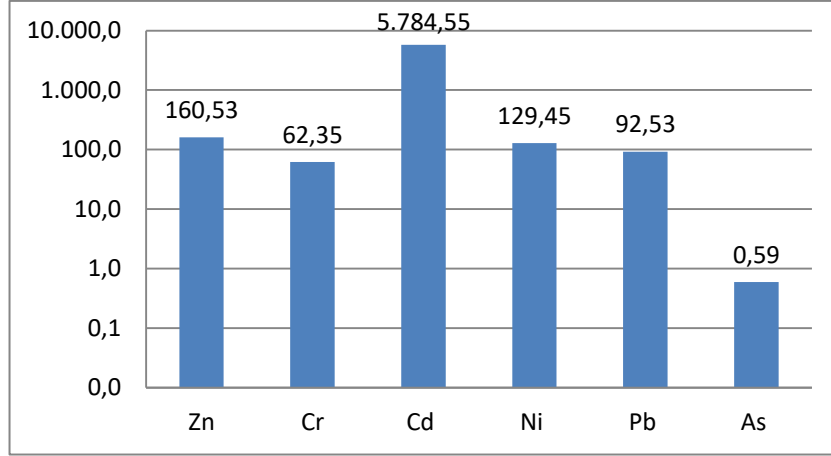
Parametre	$ERI < 40$	$40 \leq Eri < 80$	$80 \leq Eri < 160$	$160 \leq Eri < 320$	$Eri \geq 320$
Zn	42				
Cr	43				
Cd	8	9	11	12	3
Ni	43				
Pb	43				
As	43				

Yapılan hesaplamalara göre Zn, Cr, Ni Pb ve As parametreleri için ekolojik risk indeksi bütün noktalarda 40'tan küçük iken Cd için sadece 8 noktada küçük olduğu yani düşük ekolojik riske sahip olduğu görülmüştür. Ancak Cd parametresinin 9 noktada orta düzeyde ekolojik riske, 11 noktada önemli ekolojik riske, 12 noktada yüksek ekolojik risk eve 3 noktada çok yüksek ekolojik riskli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.24. Hesaplanan ekolojik risk indeksi değerleri.

Yapılan hesaplamalara göre bütün noktalar gözönünde bulundurulduğunda bulundurulduğunda potansiyel ekolojik risk indeksi Cd (5784,55), Zn (160,53), Ni (129,45), Pb (92,53), Cr (62,35) ve As (0,59) olarak belirlenmiş olup Şekil 4.25'te grafikte logaritmik ölçekte gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Zn, Cr, Cd, Ni, Pb ve As parametreleri için hesaplanan potansiyel ekolojik risk indeksi değerleri.

4.2.4. Kirlilik İndeksi (Pollution index)

Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile kirlilik indeksi hesabı yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve Çizelge 3.6'ya göre değerlendirme yapılmıştır.

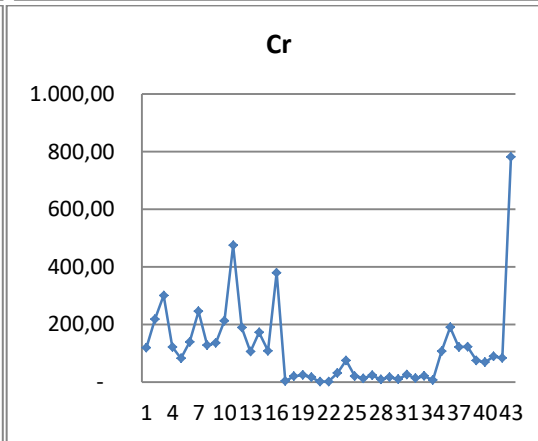
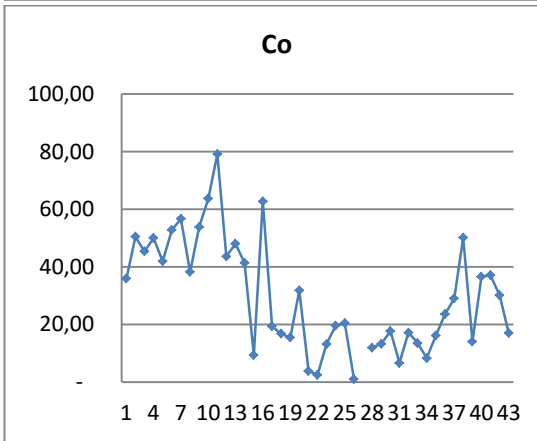
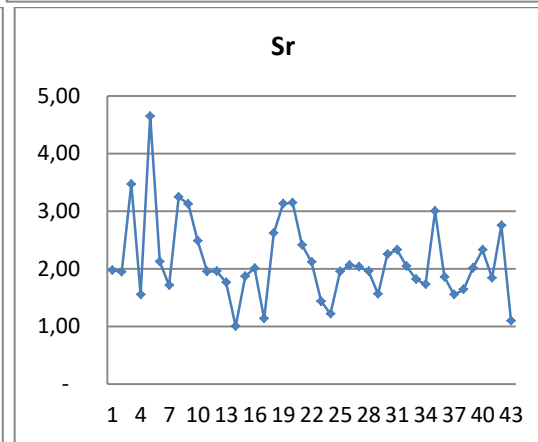
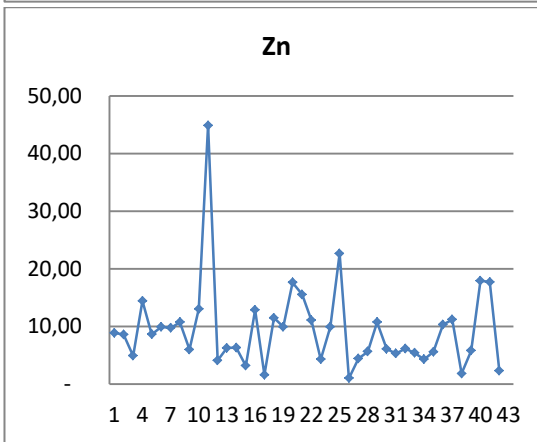
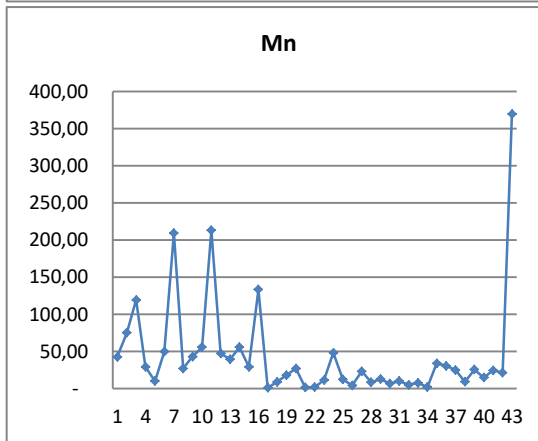
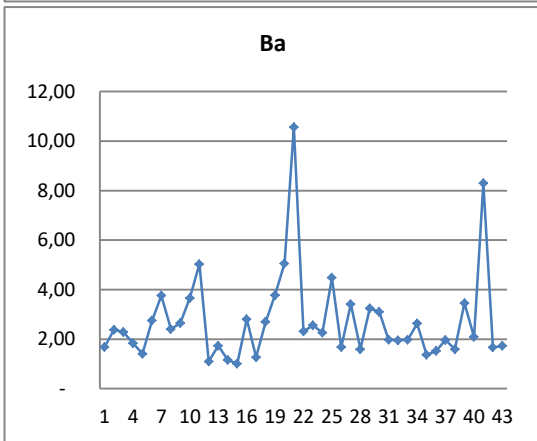
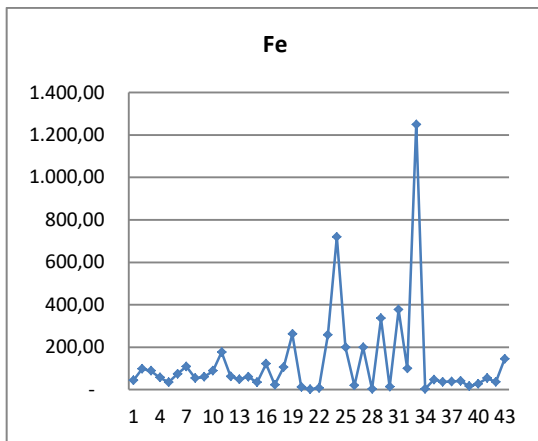
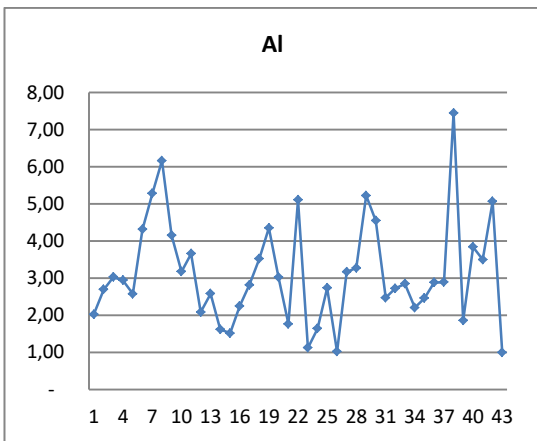
Çizelge 4.4. Kirlilik indeksi (pollution index) değerlendirme aralıklarında örnek adetleri.

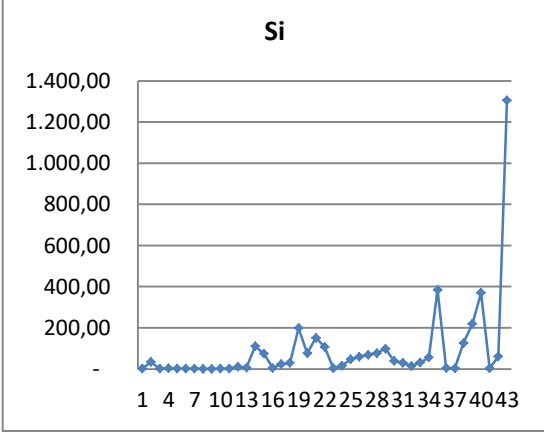
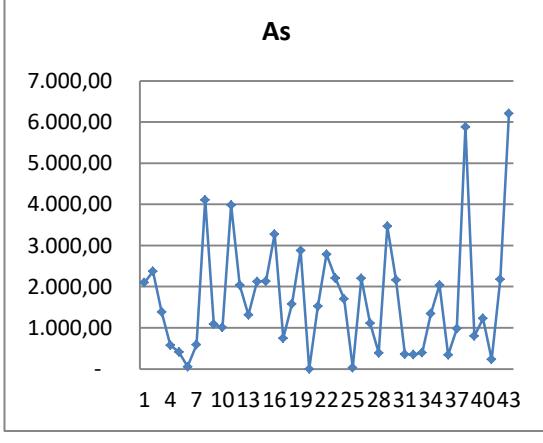
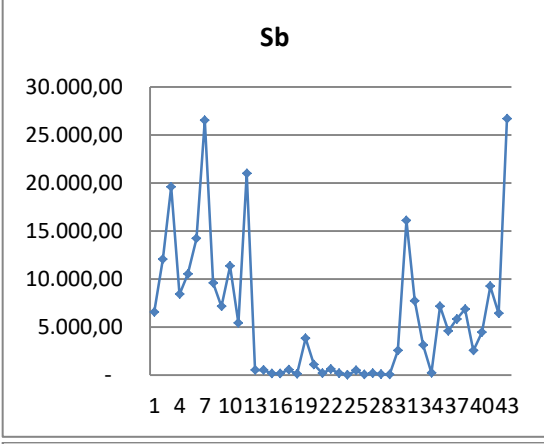
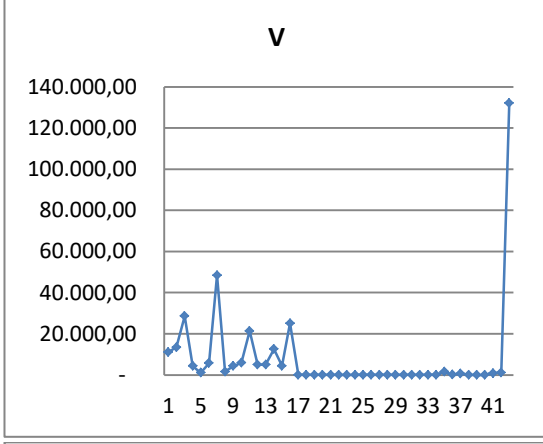
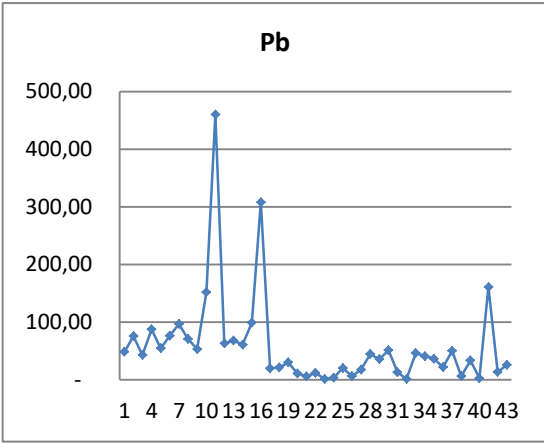
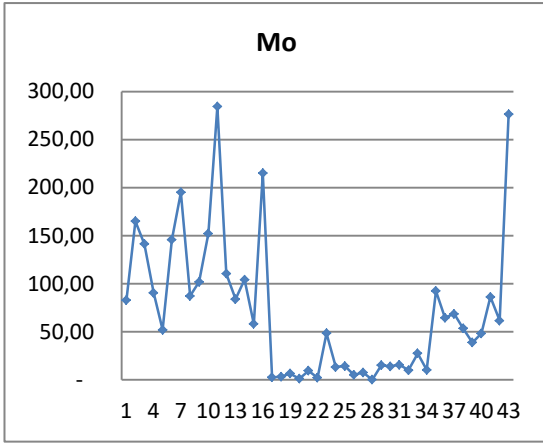
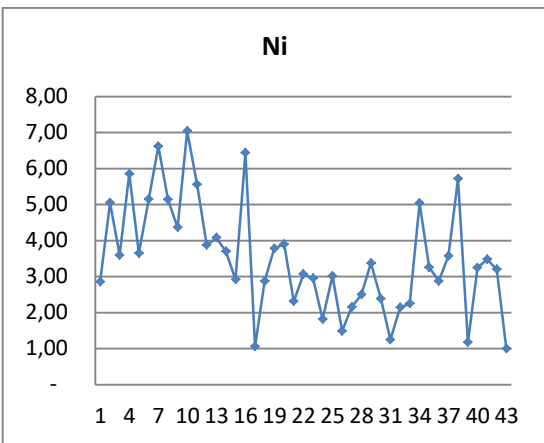
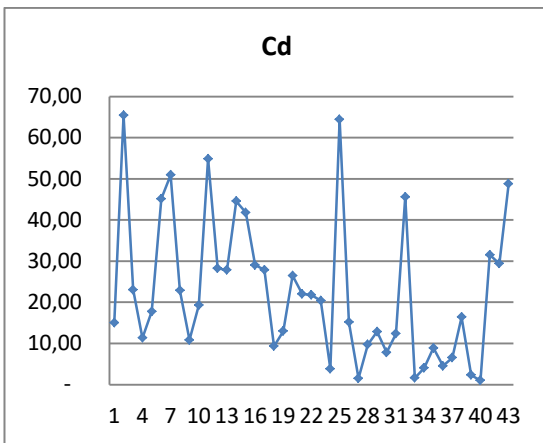
Parametre	$Pli < 1$	$1 \leq Pli < 2$	$2 \leq Pli < 3$	$Pli \geq 3$
Al		8	16	19
Fe		2	1	40
Ba		19	12	12
Mn		4		39
Zn	1	3	1	38
Sr		22	15	6
Co	1	1	1	40
Cr		2		41
Cd			1	39
Ni		6	11	26
Mo	1	1	2	39
Pb		2	1	40
V		1		42
Sb		1		42
As		1		42
Si		9	3	31

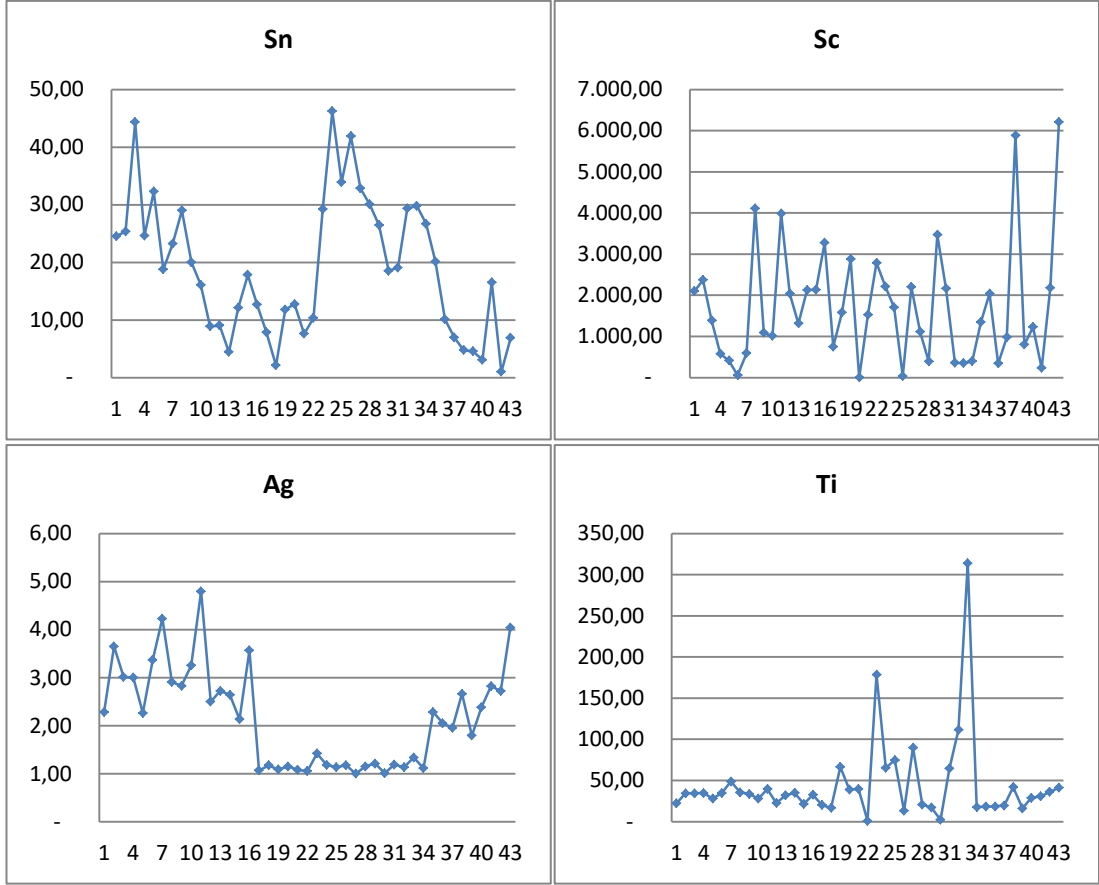
Sn		1	1	41
Sc		1		42
Ag		20	14	9
Ti		1	1	41

Çalışma alanından elde edilen verilere göre yapılan kirlilik indeksi hesaplamalarında Mn, Cr, V, Sb, As ve Sc parametreleri çeşitli noktalarda $1 \leq P_{li} < 2$ ve $P_{li} \geq 3$ aralıklarında; Al, Fe, Ba, Sr, Cd, Ni, Pb, Si, Sn, Ag ve Ti parametreleri $1 \leq P_{li} < 2$, $2 \leq P_{li} < 3$ ve $P_{li} \geq 3$ aralıklarında; Zn, Co ve Mo parametreleri $P_{li} < 1$, $1 \leq P_{li} < 2$, $2 \leq P_{li} < 3$ ve $P_{li} \geq 3$ aralıklarında değerler almıştır (Çizelge 4.4).

Buna göre, Zn, Co ve Mo parametreleri birer noktada temiz iken diğer noktalarda potansiyel kirli, hafif kirli ve ağır kirli olarak değerlendirilebilir. Diğer parametreler ise potansiyel kirli, hafif kirli ve ağır kirli tespit edilmiştir. Antropojenik kaynaklı çevresel faktörlerin sebep olduğu düşünülebilir. Her bir parameter ve her bir nokta için hesaplanan kirlilik indeksi değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir.





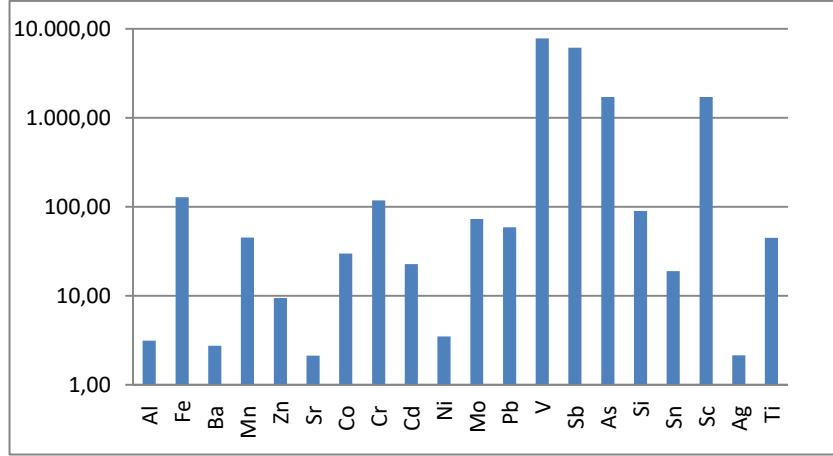


Şekil 4.26. Hesaplanan kirlilik indeksi değerleri.

4.2.5. Entegre Kirlilik İndeksi (Integrated pollution index)

Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile entegre kirlilik indeksi hesabı yapılmış, grafik oluşturulmuş ve Çizelge 3.7' ye göre değerlendirme yapılmıştır.

Çalışma alanında yapılan entegre kirlilik indeksi hesaplamalarına göre tüm parametrelerde $IPI \geq 2$ olduğu için antropojenik nedenlerden dolayı yüksek derecede entegre kirlilik indeksi görülmüştür.

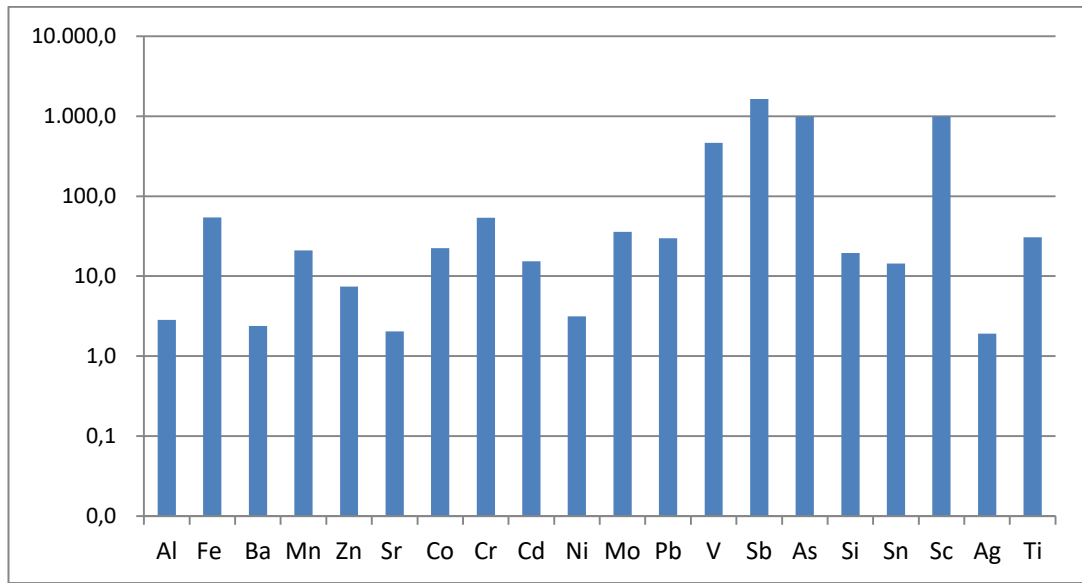


Şekil 4.27. Entegre kirlilik indeksi değerleri.

4.2.6. Kirlilik Yükleme İndeksi (Pollution loading index)

Elde edilen veri setindeki parametrelere ait konsantrasyon değerleri ile kirlilik yükleme indeksi hesabı yapılmış, kirlilik grafiği oluşturulmuş ve Çizelge 3.8'e göre değerlendirme yapılmıştır.

Tüm örnekleme noktaları göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre Zn, Co ve Mo parametreleri için yapılan kirlilik yükleme indeksi hesaplamalarına göre çalışma alanı 43 nokta için kirlenmemiş (arka plan) düzeydedir. Çalışma alanı, 43 nokta için yapılan kirlilik yükleme indeksi hesaplamalarına göre Ag parametresi için orta derecede kirlenmemiş; Al, Ba ve Sr parametreleri için orta derecede kirlenmiş; Ni parametresi için orta ile yüksek derecede kirlenmiş; Fe, Mn, Cr, Cd, Pb, V, Sb, As, Si, Sn, Sc ve Ti parametreleri için çok yüksek derecede kirlenmiştir.



Şekil 4.28. Kirlilik yükleme indeksi değerleri.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Karabük ili sınırları içerisinde belirlenen çalışma alanından alınan örneklerden elde edilen sonuçlara göre, kirlilik oluşturan elementlerin konsantrasyonları arasında kirlilik oluşturan elementlerin konsantrasyonu Si>Fe>Al>Mn>Ti>Zn>V>Ba>Cr>Sr>Pb>Sn>Ni>Co>Cd>Sb>Mo>Ag>As=Sc>Bi büyükten küçüğe bu şekilde sıralanmıştır. Sanayi ve trafik faaliyetlerinin etkin olduğu bazı bölgelerde konsantrasyonların yüksek olduğu görülmüştür. Cadde tozlarında ağır metal kirliliği seviyesinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

1. Toprakta da bol miktarda bulunan major elementlerden Al, Fe ve Ti konsantrasyonları trafik akışının yoğun ve orta ölçekli olarak görüldüğü şehirlerarası karayolu üzerindeki örnekleme noktasında en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Sc, şehirlerarası karayolundaki örnekleme noktasında en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Dolayısıyla yoğun trafik akışının olduğu bölgelerde bu elementlere ait kirliliğe, araçların ve trafiğin etkili olacağı sonucuna varılabilir.
2. Baryum (Ba) endüstri bölgesine yakın alanda ve yoğun trafiğin görüldüğü noktada en yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir.
3. Manganez (Mn), krom (Cr), vanadyum (V), antimon (Sb) ve silisyum (Si) elementleri yoğun trafik akışının olduğu aynı noktada en yüksek konsantrasyonda görülmüştür.
4. Çinko (Zn), kobalt (Co), molibden (Mo), kurşun (Pb) ve gümüş (Ag) elementleri endüstri bölgesine yakın ve yoğun trafik akışının olduğu aynı

zamanda yerleşim yeri içerisinde bulunan aynı noktada en yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir.

5. Stronsiyum (Sr), sanayi bölgesinden uzakta, trafik akışının az olduğu ve yerleşim yeri içerisinde en yüksek konsantrasyona ulaşmıştır.
6. Kadmiyum (Cd), analiz sonuçlarına göre endüstri bölgesinden uzakta, yerleşim yeri içerisinde, orta ölçekli trafiğin olduğu bir noktada en yüksek konsantrasyondadır.
7. Nikel (Ni), şehir merkezinin en yoğun trafiğinin görüldüğü noktada en yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir.
8. Kalay (Sn), örnekleme noktaları arasında endüstri bölgesine yakın bir noktada en yüksek değerine ulaşmıştır.
9. Arsenik (As) ve skandiyum (Sc) ağır metalleri tarım arazilerine yakın örnekleme noktalarında en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Ayrıca trafik ve sanayiye yakın örnekleme noktalarında da yüksek düzeyde görülmüştür.
10. Cd, Sn, Ag ve Zn ağırmetalleri en yüksek zenginleştirme değerine sahiptir. Bu elementler açısından Al zenginleştirme faktörüne göre çok yüksek ve aşırı yüksek düzeyde kirletildiği söylenebilir. Sc, As ve V elementleri açısından da minimal düzeyde kirlilikten söz edilebilir.
11. Sb, As, Sc ve V elementleri coğrafi birikim indeksi açısından değerlendirildiğinde aşırı kirli bir çevreyi gösterirken; Ag, Sr ve Ba elementleri için kirlenmemiş ila orta derecede kirlenmiş bir çevreyi göstermektedir.
12. V, Sb, As ve Sc elementleri kirlilik indeksleri en yüksek düzeyde kirliliği gösterirken; Ag ve Ba elementleri orta düzeyde kirliliği göstermektedir.

13. Cd çok yüksek potansiyel ekolojik risk; Zn orta düzeyde potansiyel ekolojik risk; Cr, Ni, Pb ve As düşük potansiyel ekolojik risk göstermektedir.
14. Bu çalışmada toprakta da bol miktarda bulunan major elementler en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Ayrıca trafik başta olmak üzere sanayinin de etkili olduğu alanlarda konsantrasyonların yüksek olduğu görülmüştür. Ancak bazı elementler için tarım alanları bazıları için ise yerleşim yerlerinde en yüksek düzeyde kirlenici konsantrasyonları ile karşılaşmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere farklı kirlenici kaynakları farklı elementleri etkilemektedir. Kaynağında partikül maddenin önlenmesine yönelik çalışmaların artırılması önem kazanmaktadır. Ayrıca herkesin kullandığı sosyal donatı alanlarında, tozların taşınmasını ve çökmesini azaltmak için genel temizlik faaliyetlerinin yanı sıra şehir planlamasında yeşil planlama uygulamalarına ağırlık verilmesi kirlilik düzeyinin azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O. ve Akan, E., “İnsan sağlığı ve beslenme fizyolojisi açısından çinkonun önemi”, *Akademik. Gıda*, 14 (3): 307–314 (2016).
- Al-Khashman, O. A., “Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan”, *Atmospheric Environment*, 38 (39): 6803–6812 (2004).
- Al-Qaysi, N. H. H., “Air pollution modeling of Turkey wide by geographic information system”, Ph. D. Thesis, *Selcuk University The Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Konya, 1-6 (2019).
- Anıl, İ., “Yaş ve kuru birikim örnekleme ve analizi ile Büyükçekmece hava kalitesinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 5 (2014).
- Asri, F. Ö., Sönmez, S. ve Çıtak, S., “Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 7 (1): 151–159 (1983).
- Balık, İ. ve Tunca, E., “Sedimentteki metal kirliliğini değerlendiren yöntemler üzerine bir derleme”, *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, 1 (1): 37–47 (2015).
- Boğa, A., “Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları”, *Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı*, Adana (2007).
- Chan, L. S., Ng, S. L., Davis, A. M., Yim, W. W. S. and Yeung, C. H., “Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated seabed sediments of Penny’s Bay, Hong Kong”, *Marine Pollution Bulletin*, 42 (7): 569–583 (2001).
- Çömeten, H., “Trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin izlenmesinde sarıçam (pinus sylvestris l.) ibrelerinin biyomonitor olarak kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu, 4-35 (2019).
- Daşdemir, A. E., “İstanbul Avrupa Yakası otoban kenarlarındaki tarım arazilerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1 (2015).
- Elik, A., “Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas”, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (1–2): 145–156 (2003).
- Eroğlu, G. ve Akgök, Y. Z., “Dünyada ve Türkiye’de nikel”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 1 (2018).
- Eser, S. Ç., “Farklı kadmiyum kaynakları ile biochar uygulamasının türünde kadmiyum alımına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, 5 (2018).

Güney, M., “Heavy metal determination in roadside soils and highway dust from the major highways of Istanbul”, M. Sc. Thesis, *Boğaziçi University BS. In Civil Eng.*, Istanbul, 46 (2002).

Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G. ve Timur, S., “Metallerin çevresel etkileri-II” *Metalurji Dergisi*, 136, 47–53 (2004).

Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G. ve Timur, S., “Metallerin çevresel etkileri-III”, *Metalurji Dergisi*, 136: 47-53 (2004).

Han, X., Lu, X., Qinggeletu and Wu, Y., “Health risks and contamination levels of heavy metals in dusts from parks and squares of an industrial city in semi-arid area of China”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (886): 1-12 (2017).

İlhan, M. N., “Krom ve bileşiklerinin zararlı sağlık etkileri ve korunma”, *Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi.*, 5–7 (2002).

İnternet: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Hava kirliliği ile ilgili bilgi notu”, <https://181.csb.gov.tr/hava-kirliligi-ile-ilgili-bilgi-notu-duyuru-365102> (2021).

İnternet: Interpon Powder Coating, “VOC nedir?”, <https://www.interpon.com/tr/makale/voc-nedir> (2021).

İnternet: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, “Doğal Elementler”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/dogal-elementler> (2021).

İnternet: Kimya makaleleri, “Krom nedir, özellikleri nelerdir, nerelerde kullanılır?”, <https://www.makaleler.com/krom-nedir-ozellikleri-nelerdir-nerelerde-kullanilir> (2021).

İnternet: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, “Kobalt”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/kobalt> (2021).

İnternet: Karabük İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, “Karabük ve Tarım”, <https://karabuk.tarimorman.gov.tr/Menu/26/Karabuk-Ve-Tarim> (2021).

İnternet: T.C. Karabük Valiliği, “Karabük Tanıtım”, <http://www.karabuk.gov.tr/karabuk-tarihi> (2021).

İnternet: Karabük Belediyesi, “Karabük’ün konumu”, https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i_id=39 (2021).

İnternet: Karabük İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, “Coğrafya”, <https://karabuk.ktb.gov.tr/TR-63702/cografya.html> (2021).

Jiya, M. J., Bala, J. D., Mustapha, H. I., Kutu, I. A., Musa, E. T., Yerima, Y. I., Daniel, E. S. and Akos, M. P., “Heavy metals concentration in the dumpsite soils

using geo-accumulation index and ecological risk assessment”, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21 (3): 7–17 (2019).

Kabadayı, F., “Samsun şehir tozlarında ağır metal ve türlerinin tayini”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 17 (2010).

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., “Metallerin Çevresel Etkileri-I”, *Metalurji Dergisi*, 136: 47-53 (2004).

Kampa, M. and Castanas, E., “Human health effects of air pollution”, *Environmental Pollution*, 151(2): 362–367 (2008).

Kara, E. E., ve Ertan, K., “Toprakta ağır metal kirliliğinin insan sağlığına etkileri ve çözüm önerileri”, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11 (1): 56–62 (2018).

Karaçağıl, D., “İstanbul’da belirlenmiş sahil şeritlerinde toprak kalitesi ve ağır metal kirliliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi*, İstanbul, 4-5 (2013).

Kılıç, Ö., Kılıç, A. M., Altın, M. ve Yılmaz, M., “İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından civanın irdelenmesi”, *Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, Adana, 289–300 (2015).

Kocakaya, M., “Muğla şehir merkezinden alınan toprak numunelerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 2-7 (2019).

Malkoc, S., Yazıcı, B. and Koparal, A.S., “Assessment of the levels of heavy metal pollution in roadside soils of Eskisehir, Turkey”, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29 (12): 2720–2725 (2010).

Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M. ve Pehluvan, M., “Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri”, *Alınları*, 17 (B): 14–26 (2009).

Özbolet, G., ve Tuli, A., “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri”, *Archives Medical Review Journal*, 25 (4): 502–521 (2016).

Özkan, G., “Endüstriyel bölge komşuluğunda kıyısız kırsal alandaki hava kalitesi; Muallimköy’de partikül maddede ve topraktaki ağır metal kirliliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 18 (2009).

Pak, O., “Kırklareli sınırları içerisindeki otoban kenarlarında bulunan tarım arazilerinde bazı ağır metal kirliliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 9 (2011).

Sarıkaya, H. K., “Giresun yöresindeki sülfürlü maden sahalarından kaynaklı ağır metal kirliliğinin ve sağlık risklerinin değerlendirilmesi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Trabzon, 221 (2019).

Seven, T., Can, B., Darende, B. N. ve Ocak, S., “Hava ve toprakta ağır metal kirliliği”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2): 91–103 (2018).

Sezgin, N., Ozcan, K., Demir, G., Nemlioglu, S. and Bayat, C. “Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway”, *Environment International*, 29 (7): 979–985 (2004).

Sivaslıgil, A., “Gebze-Dilovası’nda partikül madde kirliliği; kirlетici kaynakların dökümü ve partikül madde kanserojenik PAH analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 15-16 (2007).

Suryawanshi, P. V., Rajaram, B. S., Bhanarkar, A. D. and Chalapati Rao, C. V., “Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India”, *Atmosfera*, 29 (3): 221–234 (2016).

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. and Jeffrey, D. W., “Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index”, *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33 (1–4): 566–575 (1980).

Tosyalı, K., “Araç egzozlarından kaynaklanan ağır metallerin tayini”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-11 (2006).

Tuncel, S., Arı, N., Yoleri, B. ve Şahiner, M., “Dünyada ve Türkiye’de Demir”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 1-5 (2017).

Turan, Ö., “İstanbul ili Anadolu Yakasında seçilen noktalarda ağır metal kirliliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi*, İstanbul, 11 (2015).

Tüzen, M., “Investigation of heavy metal levels in street dust samples in Tokat, Turkey”, *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, 21 (3): 513–521 (2003).

Uğuz, U., “Karabük Demir Çelik İşletmeleri (Kardemir)’in çevrede oluşturduğu ağır metal birikiminin biyomonitör olan karayosunları (mosses) üzerinden araştırılması”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 2-16 (2007).

Uzunpınar, E. S., “Source apportionment of volatile organic compounds in Ankara atmosphere”, M. Sc. Thesis, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*, 4-5 (2015).

Ünal, İ. H., Tuncel, S., Yücel, M. B., Yoleri, B. ve Arslan, M., “Türkiye ve Dünyada bakır”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 1 (2016).

Verma, A., Kumar, R. and Yadav, S., “Distribution, pollution levels, toxicity, and health risk assessment of metals in surface dust from Bhiwadi industrial area in North India”, *Human and Ecological Risk Assessment*, 26 (8): 2091–2111 (2020).

Wedepohl, K. H., “The composition of the continental crust”, *Geochimica et*

Cosmochimica Acta, 59 (7), 1217–1232 (1995).

Yaşar, S., “Kocaeli atmosferinde ağır metal kirliliğinin likenler kullanılarak izlenmesi”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 11 (2019).

Yazan, H. A., Akar, A., ve Özmerih, L., “Bakır ve bakır ürünleri kullanım alanları”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 43–47 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Gülşah DANIŞMAZ; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Demir-Çelik Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında Sinop Üniversitesi Harita Kadastro Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2010 yılında mezun oldu. Mezuniyet tarihinden 2013 yılına kadar Harita Kadastro Teknikeri olarak özel sektörde çalıştı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yeniden öğrenime başladı ve 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kardemir A.Ş.'de Çevre Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.