

**DÜZCE İLİNDE EV TOZLARINDA ÖLÇÜLEN ESER ELEMENT
DÜZEYLERİNİN VE SAĞLIK RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Merve BELLİKLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN

Doç. Dr. Zehra BOZKURT

DÜZCE, 2024

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DÜZCE İLİNDE EV TOZLARINDA ÖLÇÜLEN ESER ELEMENT
DÜZEYLERİNİN VE SAĞLIK RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

Merve BELLİKLİ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra BOZKURT

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra BOZKURT

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Fatih TAŞPINAR

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Seda ASLAN

Kocaeli Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 17/01/2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

17 Ocak 2024

Merve BELLİKLİ

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Zehra BOZKURT'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmama ev tozu numunesi vererek katkı sağlayan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (DÜBAP) 2021.06.02.1255 numaralı yüksek lisans tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan maddi destekten dolayı Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP) ve analizlere katkılarından dolayı Düzce Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'na (DUBİT) teşekkürlerimi sunarım.

17 Ocak 2024

Merve BELLİKLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
HARİTA LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER.....	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	15
2. HAVA KİRLİLİĞİ	18
2.1. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI	18
2.1.1. Doğal Kaynaklar	18
2.1.2. Yapay (Antropojenik) Kaynaklar	19
2.2. KİRLETİCİLER.....	19
2.2.1. Organik Kirleticiler	19
2.2.1.1. Uçucu organik kirleticiler.....	19
2.2.1.2. Kalıcı organik kirleticiler.....	21
2.2.2. İnorganik Kirleticiler.....	23
2.3. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ	24
2.3.1. İç Ortam Kirletici Kaynakları	26
2.3.2. İç Ortam Kirleticileri.....	26
2.3.2.1. Karbon monoksit (CO).....	26
2.3.2.2. Azot oksitler (NO _x)	26
2.3.2.3. Tütün dumanı	26
2.3.2.4. Asbest.....	27
2.3.2.5. Formaldehit (HCHO).....	27
2.3.2.6. Partikül Madde	27
2.3.2.7. Radon.....	28
2.3.2.8. Ozon.....	29
2.3.2.9. Karbon dioksit (CO ₂)	29
2.3.2.10. Uçucu Organik bileşikler.....	29
2.3.2.11. Canlı partikül madde	29
2.4. ESER ELEMENTLER.....	30
2.4.1. Eser Element Kaynakları	31
2.4.2. Eser Elementlerin Sağlığa Etkileri	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. ÇALIŞMA ALANI.....	34
3.2. ÖRNEKLEME NOKTALARININ SEÇİMİ VE ÖRNEK TOPLAMA.....	35
3.3. ANKET ÇALIŞMASI.....	36
3.4. ÖRNEKLEME, EKSTRAKSİYON VE ANALİZ	38
3.4.1. Örneklerin Toplanması	38

3.4.2. Ekstraksiyon ve Analiz	38
3.5. ELEMENTLER İÇİM KİRLİLİK DEĞERLENDİRMESİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ	42
3.5.1. Zenginleştirme Faktörü	42
3.5.2. Kolerasyon Analizi	43
3.5.3. Kümeleme Analizi	44
3.5.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları.....	44
3.6. SAĞLIK RİSKİ DEĞERLENDİRİLMESİ YÖNTEMİ	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4.1. EV TOZUNDAKİ ESER ELEMENT SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
4.2. İÇ ORTAM TOZLARINDA ÖLÇÜLEN ELEMENT SEVİYELERİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	51
4.3. ELEMENTLERİN ZENGİNLEŞTİRME FAKTÖRLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	65
4.4. ELEMENTLERİN KOLERASYON ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	69
4.5. ELEMENTLERİN KÜMELEME ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	71
4.6. ELEMENTLERİN KONSANTRASYON DAĞILIM HARİTALARI	74
4.7. SAĞLIK RİSKİ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	86
5. SONUÇ	89
6. KAYNAKLAR	92
7. EKLER	104
7.1. EK 1: ANKET ÇALIŞMASI	104
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Ev tozu.....	40
Şekil 3.2. Ev tozu eleme işlemi.....	40
Şekil 3.3. Ev tozu tartım işlemi.....	41
Şekil 3.4. Mikrodalga çözünürleştirici (Milestones Microwave Digestion).....	41
Şekil 3.5. ICP-OES cihazı.....	42
Şekil 4.1. Düzce ili ev tozlarının element içeriklerinin benzer çalışmalar ile grafiksel olarak karşılaştırılması (mg/kg).	54
Şekil 4.2. Elementlerin ortalama zenginleşme faktörleri sıralaması.	66
Şekil 4.3. Elementlerin kümeleme analizi sonucunda elde edilen dendogram grafiği. ..	73

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan evlerin özellikleri.	37
Çizelge 3.2. QA/QC parametreleri.	39
Çizelge 3.3. Risk modelinde kullanılan parametreler ve referans değerler.	47
Çizelge 4.1. Ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin istatistiksel değerlendirmesi.	49
Çizelge 4.2. Yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip olan evler.	50
Çizelge 4.3. Düşük kirletici konsantrasyonlara sahip olan evler.	50
Çizelge 4.4. Düzce ili ev tozlarının element içeriklerinin benzer çalışmalar ile karşılaştırılması (mg/kg).	53
Çizelge 4.5. Ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren korelasyon katsayıları.	70
Çizelge 4.6. Kanserojen olmayan elementler için risk değerlendirme sonuçları.	87
Çizelge 4.7. Kanserojen elementler için risk değerlendirme sonuçları.	88

HARİTA LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Harita 3.1. Düzce ili ve ilçeleri.....	35
Harita 3.2. Örnekleme noktaları örnekleme noktaları ve Düzce ilinde bulunan önemli endüstriyel tesisler.....	36
Harita 4.1. a) Li, b) Na, c) Mg, d) K, e) Ca, f) Ti, g) Cr, h) Mn elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.....	77
Harita 4.2. a) Fe, b) Co, c) Ni, d) Cu, e) Zn, f) As, g) Se, h) Sr elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.....	81
Harita 4.3. a) Zr, b) Mo, c) Ag, d) Cd, e) Sb, f) Ba, g) Hg, h) Pb elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.....	85



KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devleti
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CPM	Canlı Partikül Madde
EF	Zenginleştirme Faktörü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
HCB	Heksaklorobenzen
HI	Tehlike İndeksi
HQ	Tehlike Katsayısı
IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
ICP/OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi
KOAH	Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
PAH	Kalıcı Organik Bileşikler (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)
PBB	Polibromlu Bifeniller
PCB	Poliklorlu Bifeniller
PTFE	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinilklorür
SPSS	Sosyal Bilimler İstatiksel Paket Programı
UAB	Uçucu Organik Bileşikler
UFP	Ultra ince partiküler
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
Vb.	Ve benzeri
Vs.	Vesaire

SİMGELER

%	Yüzde
Σ	Toplam
μm	Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
Ace	Asenaften
Acy	Asenaftilen
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Ant	Antrasen
a-PAH	Alkillenmiş Polisiklik Aromatik hidrokarbon
As	Arsenik
Ba	Baryum
BaA	Benz[a]antrasen
BaP	Benzo[a]piren
BbF	Benzo[b]floranten
BgPe	Benzo[ghi]perilen
BkF	Benzo[k]floranten
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Chr	Krizen
CO	Karbonmonoksit
Co	Kobalt
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cr(III)	Krom (III)
Cr(VI)	Krom(VI)
Cu	Bakır
DBA	Dibenz[a,h]antrasen
DNA	Deoksiriboz nükleik asit
Fe	Demir
Fle	Floren
FR	Floranten
g	Gram
Ha	Hektar
HCHO	Formaldehit
HClO ₄	Perklorik Asit
HF	Hidrojenflorür
Hg	Civa
HNO ₃	Nitrik Asit
IDP	İndeno[1,2,3-Cd]Piren
K	Potasyum
Km	Kilometre
Kg	Kilogram
Li	Lityum
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
mL	Mililitre

mm	Milimetre
Mn	Manganez
Mo	Molibden
MΩ	Megaohm
Na	Sodyum
Nap	Naftalen
Ni	Nikel
nm	Nanometre
NO ₂	Azotdioksit
NO _x	Azotoksitler
n-PAH	Nitratlanmış Polisiklik Aromatik hidrokarbon
O ₃	Ozon
OH	Hidroksil
o-PAH	Oksijenli Polisiklik Aromatik hidrokarbon
Pb	Kurşun
Phe	Fenantren
PM	Partikül Madde
PM ₁	Çapı 1 µm'den küçük partikül madde
PM ₁₀	Çapı 10 µm'den küçük partikül madde
PM _{2.5}	Çapı 2.5 µm'den küçük partikül madde
ppm	Parts Per Million
Pyr	Piren
Ra	Radyum
Rn	Radon
Sb	Antimon
Se	Selenyum
SO ₂	Kükürtdioksit
SO _x	Kükürtoksitler
Sr	Stronsiyum
Ti	Titanyum
U	Uranyum
V	Vanadyum
W	Watt
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum

ÖZET

DÜZCE İLİNDE EV TOZLARINDA ÖLÇÜLEN ESER ELEMENT DÜZEYLERİNİN VE SAĞLIK RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

Merve BELLİKLİ

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Zehra BOZKURT

Ocak 2024, 104 sayfa

Düzce ili, coğrafi konumu, topoğrafik özellikleri, önemli çevresel kirlilik kaynaklarının (evsel, endüstriyel ve trafik) iç içe bulunması gibi nedenlerle çevre kirliliği açısından risk altındadır. Bu nedenle, ilde kirlenici parametrelerin izlenmesi ve sebep olabileceği olumsuz etkilerin araştırılması önemli ve gereklidir. Bu çalışmada, Düzce ili kent merkezi ve ilçelerinde yer alan 30 adet konuttan toz numuneleri toplanmış ve Li, Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Ba, Hg ve Pb elementlerinin konsantrasyon düzeyleri belirlenmiştir. Çalışmada, toz numunelerinin elementel analizleri indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) (Perkin Elmer AVIO 200) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz edilen elementlerin, hesaplanan aritmetik ortalama değerleri $Ca > K > Fe > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Sr > Cu > Cr > Ni > Pb > Zr > Mo > Co > Li > Cd > Ag > Se > Sb > As > Hg$ şeklinde sıralanmaktadır. Çalışmada, toksik elementlere maruziyetten kaynaklanan sağlık riskinin değerlendirilmesinde ABD Çevre Koruma Kurumu'nun (USEPA) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, tehlike indeksi (HI) değerleri emniyet sınırının altında olmasına rağmen, hem HI hem de kanser riski seviyelerinin kümülatif kirlilik açısından önemli seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Düzce ilinde ev tozlarının elementel içeriği ulusal ve uluslararası mevcut çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirildiğinde, Düzce ili için elde edilen konsantrasyon seviyelerinin, benzer çalışmalara göre nispeten düşük olduğu görülmüştür. Antropojenik faaliyetlerin ev tozlarındaki element konsantrasyonları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla her bir element için zenginleşme faktörleri (EF) hesaplanmıştır. Çalışmada, iç ortam kirlenici kaynaklarının belirlenebilmesi amacıyla, korelasyon analizi ve kümeleme analizi gibi istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, kirlenicilerin örnekleme noktalarına göre nasıl değiştiğinin anlaşılabilmesi için elementlerin konsantrasyon dağılım haritaları hazırlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, iç ortamların trafik, endüstri ve yanma gibi dış ortam kirlenici kaynaklarından etkilendiği anlaşılmıştır. Ayrıca, pişirme, sigara içilmesi, evlerde kullanılan duvar boyaları, zemin kaplamaları ve temizlik malzemeleri gibi çeşitli ürünlerin kullanılmasının da iç ortam tozlarının elementel içeriğine etki ettiği anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Düzce, Eser Element, Ev Tozu, Kirlilik Dağılım Haritaları, Sağlık Riski Değerlendirmesi

ABSTRACT

DETERMINATION OF LEVELS AND HEALTH RISKS OF TRACE ELEMENTS MEASURED IN HOUSE IN DUZCE PROVINCE

Merve BELLİKLİ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Environmental Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Zehra BOZKURT

January 2024, 104 pages

Düzce province is at risk regarding environmental pollution due to its geographical location, topographic features, and leading ecological pollution sources (domestic, industrial, and traffic). Therefore, it is essential to monitor pollutants in the province and investigate any adverse effects they may cause. In this study, dust samples were collected from 30 houses in the city center and districts of Düzce and the concentration levels of the elements Li, Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Ba, Hg and Pb were determined. In the study, elemental analyzes of dust samples were carried out using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) (Perkin Elmer AVİO 200) device. The order of arithmetic mean values of the analyzed elements are $Ca > K > Fe > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Sr > Cu > Cr > Ni > Pb > Zr > Mo > Co > Li > Cd > Ag > Se > Sb > As > Hg$. In the study, the US Environmental Protection Agency (USEPA) method was used to assess the health risks based on exposure to toxic elements. Although the hazard index (HI) values recorded in the study were below the safety limit, it was determined that both HI and cancer risk levels were significant in terms of cumulative pollution. It was seen that the concentration levels obtained for Düzce province were relatively low compared to similar studies, when the elemental content of house dust in Düzce province was evaluated by comparing it with national and international existing studies. Enrichment factors (EF) were calculated for each element to evaluate the impact of anthropogenic activities on element concentrations in house dust. In the study, statistical analysis methods such as correlation analysis and clustering analysis were used to determine indoor pollutant sources. Additionally, concentration distribution maps of the elements were prepared to understand how pollutants change according to sampling points. As a result of the evaluations, it has been understood that indoor environments are affected by outdoor pollutant sources such as traffic, industry and combustion. In addition, it has been understood that indoor pollutant sources such as cooking, smoking, and the use of household products such as wall paints, floor coverings and cleaning materials affect the elemental content of indoor dust.

Keywords: Düzce, Health Risk Assessment, House Dust, Pollution Distribution Maps, Trace Element

1. GİRİŞ

Çevre, canlıların yaşamları boyunca etkileşim içinde buldukları fiziksel, kimyasal, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel bir sistemdir. Çevre kirliliği, kirleticiler olarak tanımlanan maddelerin hava, su, toprak gibi doğal yaşam alanlarında dengenin bozulmasına neden olduğu için tüm ekosistemi etkilemektedir [1]. Günümüzde, teknolojinin ilerlemesi ve sanayinin hızla gelişmesiyle birlikte artan nüfus sonucunda ortaya çıkan çarpık kentleşme, artan trafik ve evsel ısınma kaynaklı emisyonlar çevre sorunlarına neden olmaktadır [2]. Hava kirliliği, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olan önemli çevre sorunlarından biridir [3].

Hava kirliliği; havanın doğal bileşiminde değişikliğe neden olan katı, sıvı ve gaz halde bulunan çeşitli maddelerin, insan ve diğer canlıların sağlığına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktarda ve sürede atmosferde bulunması sonucunda havanın doğal bileşiminin bozulması olarak tanımlanabilir [4],[5]. Hava kirliliği, dış ortam ve iç ortam hava kirliliği olarak incelenmektedir. İç ortam ve dış ortam havasında, kirleticilerinin ortamdaki miktarının artması, solunan havanın kalitesini azaltmaktadır [4]. Kentsel alanlar, yüksek nüfus yoğunluğu ve ekonomik gelişme ile karakterize edilmektedir. Çeşitli kaynaklardan çıkan kirleticiler emisyonlar bu alanların hava kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Geçmişte, hava kirliliğinin başlıca nedenleri endüstriyel faaliyetler ve evsel ısınma iken, günümüzde hareketliliğin hızla artmasının bir sonucu olarak, başlıca kentsel hava kirleticileri karayolu trafiğinden kaynaklanmaktadır [6]. Hava kirliliği sorununun etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi, günümüz toplumlarında insan ve doğanın uyumunun sağlanabilmesi açısından önemli konularından biri haline gelmiştir [7]. İnsanların hayatta kalabilmesi için temiz havaya ihtiyacı vardır, ancak bu dünyanın birçok yerinde lüks haline gelmiştir [8].

Su, toprak ve havanın çeşitli element iyonları ve bileşikleri ile kirlenmesi evrensel çevre problemleri arasında yer almaktadır. Antropojenik faaliyetler sonucu oluşan sanayi faaliyetleri, fosil yakıtların yanması, madencilik faaliyetleri, tarımsal faaliyetler, toprak ve kayaçların aşınması gibi doğal süreçler çevresel eser element konsantrasyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Sanayi alanında yaşanan gelişmeler sonucunda kirleticiler ve

toksik maddelerin çevreye vermiş olduğu kirlilik yükü hızla artarak doğada birikim yapmaktadır [4]. Günümüzde çevre kirliliğinin artması, çeşitli ortamlarda bulunan eser elementlerin konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Artan çevresel element miktarları, bu maddelerin besin zincirine (solunum, dermal temas, yutma vs.) girerek canlı organizmalar üzerinde toksik etkiler göstermesine neden olmaktadır [9],[10]. Bazı elementlere, canlı organizmalarda yaşam fonksiyonlarının düzenli bir şekilde yürütülebilmesi için eser miktarda da olsa gerek duyulmaktadır. Bununla birlikte, bazı elementlerin ise çeşitli ortamlarda, Dünya Sağlık Örgütü ve Sağlık Bakanlığı gibi kurum ve kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde bulunması insan sağlığı üzerinde toksik etkilere neden olmaktadır [4].

Toz, içeriğinde organik ve inorganik birçok madde bulunan kompleks bir yapıya sahip, çapı 100 µm'den küçük partiküller maddeler olarak tanımlanmaktadır. İç ortam tozu, iç ortam ve/veya dış ortam kaynaklı olabilir. İç ortam toz kaynakları; sigara içme, tütsü yakma, bina ve mobilya malzemeleri, çeşitli tüketici ürünleri ve bina sakinlerinin faaliyetlerinden kaynaklı olarak gelen dış ortam kaynakları olarak sıralanabilir. İç ortam tozu, iç ortamlarda biriken ağır metaller gibi çevresel kirlleticiler için bir depo görevindedir ve insanların metallere maruz kalmasının önemli yollarından biridir. Çoğu insan zamanının büyük bir bölümünü iç ortamlarda geçirdiğinden, iç ortamlarda ağır metal kontaminasyonu araştırılması gereken bir konudur. Ağır metaller, özellikle biyolojik olarak birikebildikleri için biyokimyasal mekanizmalar üzerinde etkili olmaktadır [11].

Evlerdeki tozlarda bulunan kirleticiler seviyeleri ve bileşimi; evin bulunduğu bölgenin konumu, iklimi, evin yaşı, evde yaşayan insan sayısı, evde gerçekleşen faaliyetler, sigara içilip içilmemesi, evin temizleme rutini gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu tozlar statik elektriklenmenin etkisiyle bir araya toplanarak pamukçuklar oluşturmakta ve bu pamukçukların içinde ev tozları, insan saçı, kılı ve derisi, halı ve giysi lifleri, kumaş parçaları, boya parçacıkları, örümcek ağları ve tüy gibi birçok iç ve dış ortam kirleticisi bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca ev tozlarının içerisinde toz akarları, mantarlar ve diğer parazitler de bulunmaktadır [12],[13].

Eser elementlerin, iç ortam kaynakları, sigara içme, bina ve mobilya malzemeleri, dekoratif boyalar, kozmetik ürünler, ev aletleri, kauçuk halı altlıkları ve halı pigmentleri, aşınmış inşaat malzemeleri, pişirme ve ısıtma faaliyetleri olarak sıralanabilir [9],[12],[13]. Dış ortam kaynakları ise; inşaat aktiviteleri, endüstriyel faaliyetler, kömür

ve fosil yakıt yanması, madencilik, motorlu taşıtlar, yol tozunun ve doğal jeokimyasal işlemlerle toprak parçacıklarının yeniden süspansiyon olarak tanımlanmaktadır [9],[14].

Düzce ili coğrafi konumu, topoğrafik özellikleri, evsel, endüstriyel ve trafik gibi önemli çevresel kirlilik kaynaklarının iç içe bulunması gibi nedenlerle çevre kirliliğinin yoğun olarak gözlemlendiği bir ildir. Bu nedenle, Düzce ilinde kirlenici parametrelerin izlenmesi ve sebep olabileceği olumsuz etkilerin araştırılması önemli ve gereklidir.

Düzce ilinde, dış ortam kirliliğinin araştırılmasına yönelik çalışmalar mevcut olmakla birlikte, konutlarda iç ortam kirliliğinin araştırılmasına yönelik çalışma bulunmamaktadır [15],[16],[17],[18]. Bu nedenle, planlanan çalışma kanser de dahil olmak üzere çeşitli olumsuz sağlık risklerine sahip olan bu kirlenicilerin Düzce ilindeki seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir ildir. İç ortam hava kirliliği, iç ortamların insanların vakitlerinin çoğunu geçirdikleri alanlar olması sebebi ile dış ortam hava kirliliği kadar önemlidir. İç ortamlar için, iç ortamlara özel farklı kirlilik kaynakları olmakla birlikte en önemli kirlilik kaynağı dış ortam havasıdır. Kirlenicilerin insan sağlığı üzerindeki etkileri incelendiğinde insanların vakitlerinin çoğunu evlerinde geçirdiği düşünülürken iç ortamların kirlenici maruziyetine katkı açısından önemi bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmanın Düzce ilinde belirlenen evlerin iç ortamlarını kapsayacak şekilde yapılmış olması kritik öneme sahiptir. Bu tez çalışmasında Düzce ili ve ilçelerini temsil edecek şekilde belirlenen 30 adet konuttan toz numuneleri alınarak ev tozlarında bulunan eser element seviyeleri belirlenmiştir. Böylece, bölgede yaşayanlar için önemli kirlenicilerden olan eser elementler için kirliliğin boyutu anlaşılabilir, olası sağlık etkileri araştırılmış ve çalışma kapsamında elde edilen veriler ile tez çalışması hazırlanmıştır. Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (DÜBAP) 2021.06.02.1255 no'lu Yüksek lisans tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

2. HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği; bir veya birden fazla türden kirleticinin atmosferde insan, bitki ve hayvan yaşamına, ticari ve kişisel eşyalara ve çevre kalitesine zarar verebilecek konsantrasyonlarda ve sürede bulunmasıdır. Toz, duman, (yapay) sis, buhar, partiküller maddeler, gazlar ve (kötü) kokulu maddeler havada bulunan kirleticilere örnektir [5].

Hava kirleticilerin sağlığa etkileri akut, kronik (kanser hariç) ve kanser olabilmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, hava kirliliğinden öncelikle kardiyovasküler ve solunum sistemlerinin etkilendiğini göstermektedir. Genel olarak hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri hastane kayıtlarında mortalite ve morbidite oranlarının artması ile ilişkili olabilmektedir. Çok sayıda epidemiyolojik çalışma, hava kirliliğindeki artışların, özellikle kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıklarından kaynaklanan günlük ölüm oranlarıyla bağlantılı olduğunu göstermiştir. Kentsel kirlilik, astım da dahil olmak üzere solunum yolu hastalıkları nedeniyle acil servis ve hastane ziyaretlerinin sayısında artışa neden olabilmektedir [19].

Hızlı kentleşme ve yoğun antropojenik faaliyetler, kentleri kimyasal emisyonların odağı haline getirerek, çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır [20]. Araç trafiğinden (egzoz, lastik ve fren balatası aşınma parçacıkları), endüstriyel kaynaklardan (çeşitli endüstriyel faaliyetler, termik santraller, belediye katı atık yakma, vb.) ve inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan çeşitli emisyonlar hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır.

Ulusal sağlık istatistikleri, kronik solunum yolu hastalıklarının üçüncü önde gelen ölüm nedeni olduğunu ve Türkiye'de toplam 10 ölümden 1'inden solunum yolu hastalıklarının sorumlu olduğunu göstermektedir. Türkiye'de kanser türleri arasında en yüksek insidans ve ölüm oranı akciğer kanserinde görülmüştür [19].

2.1. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI

Hava kirliliğine sebep olan kaynaklar, temel özelliklerine bağlı olarak doğal kaynaklar ve yapay (antropojenik) kaynaklar olarak iki (2) guruba ayrılmaktadır [5],[21].

2.1.1. Doğal Kaynaklar

Hava kirliliği, insan aktiviteleri sonucunda oluşmasının yanı sıra doğal ortamlarda gerçekleşen süreçlerin bir sonucu olarak da ortaya çıkmaktadır. Bu süreçlerin sonucunda

atmosfere milyonlarca ton kirletici salınımı olmaktadır [21]. Doğal kaynaklar arasında organik maddelerin çürümesi sonucu oluşan gazlar (biyolojik bozulma), volkanik patlamalar ve orman yangınları sonucunda açığa çıkan gazlar ve tozlar, denizler ve okyanuslardan yayılan kükürtlü gazlar, rüzgârların taşınım yaparak havaya karıştırdığı tozlar, toz fırtınaları, buharlaşma ve bitkiler yer almaktadır [5],[21].

2.1.2. Yapay (Antropojenik) Kaynaklar

İnsan kaynaklı faaliyetlerinin meydana getirdiği kirlilik olarak tanımlanmaktadır. Kirlilik yoğunluğu bölgenin endüstriyel alanda gelişimi, nüfusun artması, şehirleşme durumunun gelişmesi gibi faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Konum ve topoğrafik yapı, meteorolojik faktörler, nüfusun artması sonucu oluşan plansız kentleşme ve yeşil alanların yeterli olmaması ve kullanılan yakıtların kalitesinin düşük olması, yapay kaynaklardan kaynaklanan kirliliğin oluşmasını etkileyen faktörler arasındadır. Bu kaynaklar sabit ve hareketli kaynaklar olarak sınıflandırılabilir [21].

a) Sabit Kaynaklar;

Sabit kaynaklar; sanayi kuruluşları (termik santraller, endüstriyel tesisler ve katı atık yakma tesisleri) ve evsel ısınma (katı, sıvı, gaz yakıt sobaları ve kalorifer kazanları) olarak sıralanabilir [5],[21].

b) Hareketli Kaynaklar;

Ulaşım (uçaklar, motorlu taşıtlar, demiryolları ve gemiler) taşıtlarından kaynaklanmaktadır [5],[21].

2.2. KİRLETİCİLER

2.2.1. Organik Kirleticiler

2.2.1.1. Uçucu organik kirleticiler

Uçucu Organik Bileşikler (UOB), yüksek buhar basıncına ve düşük kaynama noktasına sahip organik kimyasallardır [22]. Çevresel kirlilik açısından en önemli UOB'lerden olan; benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen, kentsel atmosferde bulunan bir dizi mono-siklik aromatik uçucu organik bileşiklerdir [23].

UOB'ler; kısa ve uzun vadeli olumsuz sağlık etkilerine neden olabildikleri için önemli hava kirleticileri arasındadır. Bazı antropojenik ve doğal kaynaklardan yayılan uçucu

organik bileşikler, troposferik ozon oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Başlıca UOB kaynakları arasında, petrokimya endüstrileri, petrol rafinerileri, petrol depolama ve dağıtımı, fosil yakıtların yanması, motorlu araç egzozları (benzinli/dizel), endüstriyel proseslerde organik çözücülerin kullanımı, çeşitli endüstriyel işlemler, katı atık depolama tesisleri, atık bertarafı ve çok sayıda biyolojik süreç gibi antropojenik ve biyojenik kaynaklar sıralanmaktadır [22],[24],[25],[26],[27],[28].

İç ortamda bulunan başlıca UOB kaynakları ise tütün dumanı, kişisel bakım ürünleri, temizlik ürünleri, parfümler, yapıştırıcılar, boyalar, solvent bazlı ürünler ve bazı inşaat malzemeleridir [28].

Gelişmekte olan ülkelerde hem pişirme hem de ısıtma faaliyetlerinde kullanılan kömür, gıda, hayvan gübresi ve bitki artıkları gibi biyokütle yakıtları da diğer iç ortam UOB kaynakları arasında yer almaktadır. Geleneksel pişirme ocakları, yakıtları tamamen yakamamakta ve iç ortamlara UOB'lerin yayılmasına neden olmaktadır. Yakıtın yanı sıra pişirme türü ve yiyecek türünün de mutfakta UOB emisyonlarına neden olabileceği fark edilmiştir. Isıtma ve pişirme faaliyetlerinden açığa çıkan yanma yan ürünleri, iç ortam hava kirliliğini ve potansiyel sağlık risklerini artırabilmektedir [28].

Kentsel alanlarda UOB emisyonlarının en belirgin kaynakları, trafikten kaynaklı araç emisyonlarıdır. Şehirleşmenin hızla artması ile ulaşım ve enerji tüketimine olan talebin artması sonucunda organik kirleticilere bağlı önemli sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır. Tüm organik kirletici bileşikleri nörolojik bozukluğa neden olabilir ve benzen maruz kalmanın aynı zamanda aplastik anemi ve akut miyeloid lösemi gibi hematolojik etkileri de bulunmaktadır. Ulusal Toksikoloji Programı, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından yapılan değerlendirmelere göre benzen ve etilbenzen insanlarda kansere neden olabilmektedir [23].

Organik kirleticilere kısa süre maruz kalmak, baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, göz ve akciğer tahrişi ve solunum problemlerine neden olabilirken, uzun süre maruz kalmak ise alerjilere, kalp rahatsızlıklarına, doğum sorunlarına, merkezi sinir sisteminin zarar görmesine ve çeşitli kanser türlerine neden olabilmektedir [22],[24],[27],[29].

Atmosferdeki organik kirletici konsantrasyonlarının mevcudiyeti, meteorolojik parametreler (sıcaklık, bağıl nem, yağış, karışım yüksekliği, rüzgâr hızı ve yönü), ortam (kentsel, yarı kentsel, endüstriyel veya kırsal), ulaşım sistemi gibi çeşitli faktörlere ve antropojenik kaynaklara bağlıdır [23].

Kentsel alanlar, kırsal alanlarla karşılaştırıldığında, önemli trafik emisyonları ve aşırı fosil yakıt bazlı enerji ihtiyaçları nedeniyle organik kirletici kirliliğine maruz kalma ve bunun insanlar üzerindeki etkileri konusunda daha fazla risk altındadır [23].

Genel olarak, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde gerçekleşen antropojenik faaliyetler UOB seviyelerinin yüksek olmasına neden olmaktadır [26].

2.2.1.2. Kalıcı organik kirleticiler

Kalıcı organik kirleticiler organik bileşiklerdir. Biyolojik ve kimyasal bozunmaya karşı son derece dayanıklı maddeler olup doğada uzun süre boyunca bozulmadan ve ayrışmadan kalabilmektedirler. Kalıcı organik kirleticilerin önemli kaynakları arasında endüstriyel kimyasallar ve pestisitler bulunmaktadır. Bu kaynaklar dışında kalan kalıcı organik kirleticiler, bazı pestisitlerin ya da atıkların yakılması işlemi sırasında yan ürün olarak oluşabilmektedir. Kalıcı organik kirleticiler, toksisite, kalıcılık, biyoakümülyasyon özelliklerine sahip olmaları nedeni ile tehlikeli maddeler arasında bulunmaktadır [30].

Bazı kalıcı organik kirleticiler; Heksaklorobenzen (HCB); pestisit (fungisit) ve endüstriyel kimyasal olarak kullanılmaktadır. Klor içeren bazı maddelerin üretiminde yan ürün olarak oluşmaktadır [31]. Poliklorlu bifeniller (PCB); çevrede kalıcı olarak bulunmakta ve toprakta kolaylıkla adsorplanabilen organik kirleticilerden biridir. PCB bileşikleri; transformatörler ve kondansatörler için yalıtım ve soğutucu maddesi olarak, elektrik kablolarının, elektronik ekipmanlarının kaplamalarında, kesme yağlarında, pestisitlerde, hidrolik sıvılarında, alev geciktiricilerde, yapıştırıcılarda, contalarda, boyalarda, ağaç cilalarında, karbonsuz kopya kâğıtlarında ve toz alma maddelerinde kullanılmaktadır [32]. Dioksinler ve furanlar; oldukça kalabalık ve toksik bir kimyasal ailesinin genel adıdır. Geçmişte, herbisit olarak kullanılmak üzere üretilmiş olsalar da günümüzde kullanım alanı bulunmamaktadır. Bununla birlikte, günümüzde bazı kimyasal ürünlerin üretilmesi ve atıkların yakılması işlemi sırasında yan ürün olarak oluşabilmektedir. Kalıcı organik kirleticilerden olan, aldrin, endrin ve klordan; organoklorürlü pestisitler sınıfındadır. Çekirge, karınca, fare, böcek gibi zararlıları öldürmek amacıyla uzun süre kullanılmıştır. Dieldrin, mireks, heptaklor, toksafen; gibi bu grupta yer alan diğer pestisitler, tarım ve hayvancılık başta olmak üzere çeşitli alanlarda zararlılarla mücadele için kullanılmaktadır. Polibromlu bifeniller (PBB); heksabromobifenil, tetrabromodifenil eter ve pentabromodifenil eter bu gruba dahildir. Avrupa Birliğinde yalnızca elektrikli cihaz üretimi ve alevlenme önleyici kullanımlarıyla

sınırlandırılmıştır. Endosülfan; organoklorin grubu içinde yer alan bir pestisitdir. Tarımda yıllarca yoğun olarak kullanılmıştır. Bu madde, ahşap koruyucu olarak da kullanılmaktadır [30].

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), karbon içeren maddelerin eksik yanması sonucu oluşan önemli bir organik kirletici sınıfıdır [33]. PAH'lar, iki veya daha fazla kaynaşmış aromatik halkadan oluşan bir grup yaygın organik kirleticidir. Organik maddenin (örneğin, kömür ve odun) eksik yanması sonucu oluşan yan ürünler olarak PAH'lar, yaygın olarak doğal kaynaklardan (örneğin, orman yangınları) ve esas olarak endüstriyel emisyonlar, trafik ve biyokütle yakımı gibi antropojenik kaynaklardan yayılmaktadır [34]. PAH bileşiklerinin önemli kaynakları olan endüstriyel prosesler (çelik madeni işleme, alüminyum üretimi, kömür gazlaştırma, demir ve kok üretimi), fosil yakıtlar, araç emisyonları, kok ve odun gibi organik materyallerin eksik yanması ve evsel yakıt tüketimidir. Diğer kaynaklar ise açık tarımsal alan yangınları, orman yangınları, asfalt yapımı, volkanik patlamalar, karbonizasyon ve ağaç işleme gibi doğal proseslerdir.

USEPA, öncelikli kontrol kirleticileri olarak 16 PAH türünü listelemiştir; bunlar arasında naftalen (Nap), asenaftilen (Acy), asenaften (Ace), floren (Fle), fenantren (Phe), antrasen (Ant), floranten (FR), piren (Pyr), benz[a]antrasen (BaA), krizen (Chr), benzo[b]floranten (BbF), benzo[k]floranten (BkF), Dibenz[a,h]antrasen (DBA), benzo[ghi]perilen (BgPe ve indeno[1,2,3-cd]piren (IDP) arasında yer almaktadır [34].

PAH'ların çoğu kanserojen ve mutajeniktir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından kanserojen madde grupları arasında sınıflandırılmışlardır. Örneğin, benzo[a]piren (BaP) insanlar için kanserojen olarak tanımlanmıştır. PAH'ların sağlık açısından tehlikeleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve kısa süreli maruz kalma sonucu akciğer fonksiyonu anormallikleri, cilt tahrişi ve iltihaplanmaya neden olduğu anlaşılmıştır. Uzun süreli PAH maruziyeti üreme ve bağışıklık fonksiyonu üzerinde olumsuz etkilere neden olmakta ve başta akciğer olmak üzere çeşitli bölgelerde kansere sebep olmaktadır [34]. Ayrıca birçok PAH metabolik aktivasyon yoluyla kanserojenlere dönüşebilmektedir. Örneğin, benzo[a]piren (BaP), DNA'ya bağlanarak gen mutasyonlarına ve hücrelerin kötü huylu dönüşümlerine neden olabilir. PAH'lar ayrıca normal hücrel sinyal iletimine ve gen ifadesinin düzenlenmesine müdahale ederek hücre çoğalmasına, farklılaşmasına ve tümörlerin gelişmesine yol açabilir. Alkillenmiş PAH'lar (a-PAH'lar), oksijenli PAH'lar (o-PAH'lar) ve nitratlanmış PAH'lar (n-PAH'lar)

gibi süstitüe PAH'lar, süstitüe olmayan PAH'lardan (p-PAH'ler) daha toksik olanıdır. Örneğın, pirenin (PYR) bir türevi olan 1-nitropiren, pirenden daha güçlü bir kanserojen potansiyele sahiptir [33].

2.2.2. İnorganik Kirleticiler

En yaygın inorganik gaz kirleticiler kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O_3) olarak tanımlanmaktadır [35]. Bu kirleticiler hem iç ortamlarda hem de dış ortamlarda hava kalitesini etkileyen bileşiklerdir. Kükürt dioksit (SO_2) ve azotdioksit (NO_2) ve ozon (O_3) bölgesel hava kalitesinde ve küresel iklim değışikliğinde önemli rol oynamaktadır [36].

Birincil hava kirleticilerinden olan NO_x 'ler grubunda yer alan en yaygın inorganik gaz kirletici azotdioksittir [37]. Azot dioksit hem insan sağlığını hem de konforunu olumsuz etkilemekte, ekosistemlerin asitleşmesine katkıda bulunmakta ve ayrıca, ozon gibi fotokimyasal oksidanların oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Azot dioksitin, pişirme faaliyetleri gibi iç ortam kaynakları olduğundan, bir iç ortam kirleticisi olarak da tanımlanmaktadır. Bazen iç ortam NO_2 konsantrasyonları, dış ortam konsantrasyonlarını aşabilmekte ve bu durum dış ortam konsantrasyonlarından daha yüksek kişisel maruziyet konsantrasyonlarına sebep olabilmektedir. Tütün dumanı, odun sobaları ve şömineler, gazlı cihazlar ve kerosen ısıtıcılar, NO_2 'nin başlıca iç ortam kaynaklarıdır. Başlıca dış ortam kaynakları arasında ise trafik, yakma süreçleri ve endüstriyel faaliyetler yer almaktadır. NO_2 trafikle ilgili bir kirletici olduğundan, genellikle kentsel alanlarda konsantrasyon seviyeleri yüksektir. NO_2 ile ilgili sağlık etkileri arasında, solunum semptomları, solunum yolu hastalığı epizodları ve mortalite bulunmaktadır [28].

NO_x ve ultraviyole radyasyonunun (güneş ışığı) varlığında, UOB'ler, OH radikalleri ile reaksiyona girerek troposferik ozon oluşumuna neden olmaktadır [27]. Ozon (O_3), ikincil bir hava kirleticisidir ve oksitleme potansiyeli nedeniyle muhtemelen daha toksik kirleticiler üretmek için birçok bileşikle kolayca reaksiyona girebilir. Genel olarak, jeneratörler, elektrostatik hava temizleyiciler, fotokopi makineleri ve lazer yazıcılar gibi bir ozon kaynağı olmadığı sürece, iç ortam ozon konsantrasyonları dış ortam konsantrasyonlarından önemli ölçüde daha düşüktür. Ozon, özellikle solunum sorunu yaşayan insanlar için bir tehdittir. Ozon maruziyeti, astım nedeniyle hastaneye başvuruların artması, solunum yolu hastalıklarına bağlı okul devamsızlığı, astıma bağlı solunum sorunları ve solunum fonksiyonlarının azalması gibi etkilere neden

olabilmektedir [28].

Kükürtoksitler grubunda yer alan SO₂ yaygın birincil hava kirleticilerindedir. Kükürt dioksit kömür bazlı fosil yakıtların yanması ile oluşan kirliliğin en önemli bileşenlerindedir. Kükürt dioksit, hava kirleticisi olarak insan sağlığına ve çevreye ciddi zararlar vermektedir. Ayrıca, asit yağmuru ve sis oluşumunda önemli rol oynar. Atmosferdeki artan SO₂ konsantrasyonları esas olarak kömür gibi kükürt içeren yakıtların kentsel alanlarda evsel ısınma amacı ile kullanılmasından kaynaklanmaktadır [37]. Ayrıca, SO₂ emisyonları, mineral cevherlerinin eritilmesi ve fosil yakıtların yakılması gibi faaliyetleri içeren endüstriyel faaliyetler ile birlikte de artmaktadır. Kükürt dioksit gazı asidik olup hem çevreye hem de insan sağlığına zararlı etkilere sebep olabilmektedir [38].

Tez kapsamında incelenen ve inorganik kirletici grubunda yer alan eser elementler, bölüm 2.4'te genel özellikleri, kaynakları ve sağlık etkileri açısından detaylı olarak anlatılmaktadır.

2.3. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ

İnsanların yaşadıkları iç ortamdaki havanın taze, temiz ve insan sağlığını olumsuz etkilemeyecek nitelikte olması istenir. İç ortam hava kalitesi; rahatsızlık vermeyen, konforsuzluk hissine ve sağlık sorunlarının oluşmasına sebep olmayan havanın niteliği olarak tanımlanmaktadır [39]. Konutların iç ortamları, yaşam kalitesini etkileyen birincil ortamlardan biri olarak kabul edilmektedir [40].

İç ortam hava kalitesi, sağlıklı yaşamın, refahın, konforun ve üretkenliğinin temel belirleyicilerindedir. Bu nedenle, iç ortam hava kalitesinin korunması önemlidir. İç ortam hava kalitesinin korunması için iç ortamlarda yeterli havalandırmanın sağlanması, havadaki kirleticilerin kontrolü, kabul edilebilir sıcaklık ve bağıl nem koşulları gereklidir. İç ortam hava kalitesi, lokasyon, iklim, bina yapı malzemeleri, inşaat teknikleri, mevcut iç ortam kirletici kaynakları ile insanlar arasındaki etkileşimler gibi faktörlerden etkilenmektedir. İç ortamlarda bulunan kirletici kaynaklardan bazıları, pişirme faaliyetleri, binalarda kullanılan inşaat malzemeleri ve iç ortamlarda bulunan çeşitli ekipmanlar olarak sıralanabilir [41].

İç ortam hava kalitesi ve hasta bina sendromu kavramı 1890'li yıllarda ortaya çıkmıştır. İç ortam hava kalitesinin ölçüsü olarak standartlarda kullanılan, taze hava miktarı veya

hava değişimi katsayısı dolaylı bir yöntemdir. Bu genellikle iç ortamdaki kirlilik kaynakları dikkate almadığı için zayıf bir göstergedir. Şayet kirlilik unsurları güçlü ise, yüksek havalandırma miktarları uygulanan bir alan yine de kirli olabilmektedir [39]. İç hava kalitesinin özellikleri arasında yeterli havalandırma havasının sağlanması ve dağıtılması, havadaki kirleticilerin kontrolü, kabul edilebilir sıcaklık ve bağıl nemin korunması yer alır [41].

İç ortam tozu, iç ve dış kaynaklardan türetilen partikül maddelerin bir bileşimi olarak iç ortamda bulunur. Toz, iç ortama dış kaynaklardan sızma, sigara içme, tütsü yakma, inşaat ve mobilya malzemeleri, tüketici ürünleri ve bina sakinlerinin faaliyetleri gibi çeşitli yollarla girebilir. İç ortam tozu, iç ortamda birikebilecek ağır metaller gibi çevresel kirleticiler için bir depodur ve insanlar için metale maruz kalmanın önemli bir yoludur. Çoğu insanın zamanının büyük bir kısmını iç ortamlarda geçirmesi nedeniyle çevresel çalışmalarda iç ortam kirliliğine ilişkin artan bir ilgi vardır [11]. Toz, yerde veya nesnelerin yüzeyinde bulunan veya rüzgârla savrulan, ince parçacık halindeki maddeler olarak tanımlanabilir [42]. İç ortam ağır metal konsantrasyonları genellikle dış ortamlardan daha yüksektir [10]. Konu ile ilgili çalışmalarda, iç ortamdaki ağır metallerin kaynakları ve seviyeleri ile dış ortam arasında doğrudan bir ilişki olduğu belirlenmiştir. İç ortamdaki partikül maddeler, çöken toz içinde biriken kirletici maddelerin çoğunu adsorbe etmektedir [39]. Bu nedenle, iç ortam tozunun bileşimi karmaşıktır ve heterojen matrisli ev tozu, evden odaya ve evler arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. İç ortam ve dış ortam kaynakları tarafından üretilen iç ortam tozu, çökmüş partikül maddelerin heterojen, kompleks bir karışımıdır [10],[43]. İç ortamlarda çöken tozlar, eser elementler de dahil olmak üzere insan sağlığını etkileyebilecek çeşitli tehlikeli maddeler içermektedir. Çalışmalar, iç ortam eser element konsantrasyonları ile iç ortam partikül madde konsantrasyonlarının ilişkili olduğunu göstermektedir [9].

İnsanların ev tozuna maruz kaldıkları ev, iş yeri ve okul gibi iç ortamlarda zamanlarının %90'ını geçirdikleri tahmin edilmektedirler [9],[10],[44]. İnsanların zamanlarının çoğunu kapalı ortamda geçirmesi nedeniyle iç hava kalitesi önemli bir çevre sağlığı sorunu oluşturmaktadır [9]. Son yıllarda, iç ortamların sağlık üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi amacı ile yapılan araştırmalar, alerji ve astım semptomları, akciğer kanseri, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), hava yoluyla bulaşan solunum yolu enfeksiyonları ve kardiyovasküler hastalıkların iç ortam havasıyla ilişkili olabilecek sağlık sorunları ve semptomlar olduğunu göstermektedir [40].

2.3.1. İç Ortam Kirletici Kaynakları

İç ortamlarda bulunan kirleticiler ve kirleticileri oluşturan kaynaklar birbirinden farklı ve çok çeşitlidir. İç ortamda bulunan kirleticilerin bir kısmı ev içerisinde; parfümler, saç spreyleri, mobilya malzemeleri ve cilaları, ahşap ürünler, bina malzemeleri, banyo malzemeleri, temizlik malzemeleri, hobi ve sanat malzemeleri, pestisitler, halı ve iplik boyaları, ev bitkileri, tutkal, yapıştırıcı ve sızdırmazlık malzemelerinin kullanımından (UOB); ısınmak ya da yemek pişirmek için kullanılan gaz veya yağ kazanları, sıcak su ısıtıcıları, ocaklar, odun sobalarının kullanımından (CO, CO₂, NO_x, partiküller vb.) sigara kullanımından (CO, partiküller); boru ve kazan yalıtımı, tavan ve döşeme levhaları (asbest), dekoratif spreylere, kaplama ve lambriyelerden kaynaklanmaktadır. Tüylü evcil hayvanların evde bakılması ev tozu, bakteri ve mantar oluşturarak iç ortam kirliliğine neden olabilmektedir. Ayrıca, bazı iç ortam kirleticileri dış ortamlarda oluşmakta, kapılardan ve pencerelerden iç ortamlara taşınabilmektedir [45].

2.3.2. İç Ortam Kirleticileri

İç ortam hava kirleticileri, karbon monoksit, nitrojen oksitler, tütün dumanı bileşenleri, askıda partikül madde (toplam askıda partikül madde ve solunabilir partiküller madde), asbest, formaldehit, ozon, radon (Ra-222), karbondioksit, uçucu organik bileşikler ve canlı partikül maddeler olarak sıralanmaktadır [46].

2.3.2.1. Karbon monoksit (CO)

Kimyasal boğucu bir gazdır. Kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobine olan ilgisi oksijeninkinden 200-250 kat daha fazladır ve bu da oksijen taşıma kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olabilmektedir [46].

2.3.2.2. Azot oksitler (NO_x)

NO_x ile ilişkili sağlık etkilerinin çoğu nitrojen dioksit NO₂'e atfedilmiştir. 282 mg/m³'ün (150 ppm) üzerindeki NO₂ seviyeleri öldürücü olabilirken, 94-282 mg/m³ (50-ppm) aralığındaki konsantrasyonlar kronik akciğer hastalığına neden olabilmektedir [46].

2.3.2.3. Tütün dumanı

Tütün dumanı hem partikül madde (çoğunluğu < 1 µm solunabilir aralıktadır) hem de gaz halinde bileşenler içerir. Bunlardan bazıları katran (kloroform ekstraktı), nikotin, toplam fenoller, piren, metilnaftalin, kadmiyum, nikel, arsenik, hidrojen siyanür, karbon monoksit, karbon dioksit, asetaldehit, metilklorür, aseton, amonyak, piridin, akrolein,

nitrik oksit, azot dioksit, formaldehit ve diğler bileşenler arasında fenoller, naftalinler, eser metalller, hidrojen siyanür, amonyak ve radyoaktif polonyum-210 yer almaktadır [46].

2.3.2.4. *Asbest*

Asbest, doğal olarak oluşun çeşitli hidratlı mineral silikatlara uygulanan genel bir terimdir. Ortam havasındaki asbest parçacıkları lifler halinde görünür. Asbestin büyük bir kısmı inşaat sektöründe bağılı halde, bir kısmı ise yalıtım ve akustik ürünlerde ufulanabilir veya toz halinde ve asbestli çimento tozları olarak kullanılmaktadır. Yalıtım ve diğler asbest endüstrilerinde, kötü huylu olmayan solunum yolu hastalıklarından ölüm riskinin önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir. Ayrıca asbestin tüm ticari formlarının insanda kanserojen olduğu gösterilmiştir [46].

2.3.2.5. *Formaldehit (HCHO)*

Formaldehit, sentetik üre ve fenol-formaldehit reçinelerinin üretiminde kullanılan önemli bir endüstriyel kimyasaldır. Formaldehit aynı zamanda atmosferik fotokimyasal sisin reaksiyon ürünlerinden biridir. Ayrıca tütün dumanında ve yanma süreçlerinden kaynaklanan emisyonlarda da mevcuttur. Evlerde insanlar için en tehlikeli olanı, formaldehit reçineleri içeren mobilya, inşaat malzemeleri ve tekstillerden yayılan emisyonlardır [47]. Gözlerde yanma, gözyaşı ve üst solunum yollarının genel tahrişi, 0,1-5 ppm aralığındaki formaldehit konsantrasyonlarında yaşanan ilk belirtilerdir. Formaldehitin kokusu genellikle 1 ppm'de algılanır, ancak bazı kişiler bunu 0,05 ppm'de de algılayabilir [46].

2.3.2.6. *Partikül Madde*

Partikül madde, insanların nefes almakla içine alabileceğı kadar küçük olan geniş bir boyut aralığında havada bulunan maddeciklerin genel adıdır. Hava kaynaklı partikül madde (PM), inorganik ve organik maddelerin kompleks karışımlarını temsil eder. Partikül maddeler gözle görülebilecek kadar büyük tozlardan bir çok filtreden geçebilecek mikroskobik ölçülere kadar çok geniş aralıkta partikül boyutlarını kapsar. Partiküller katı veya sıvı olabilirler. Partikül madde PM olarak kısaltılarak ifade edilir. Kütle ve bileşimi yönünden; aerodinamik çapı 2.5 µm den büyük kaba partiküller, aerodinamik çapı 2.5 µm den küçük ince partiküller olarak iki gruba ayrılır. İnsan sağlığı ile ilgili partiküller çapı 10 µm (PM₁₀)'den daha küçük, özellikle 2.5 µm (PM_{2.5})'den küçük olanlar solunabilir partiküller olarak bilinirler. Partikül madde miktarı genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak verilir. Partikül madde miktarı

endüstriyel ortamlarda $\mu\text{g}/\text{m}^3$ veya mg/m^3 olarak, ofis binalarında ve endüstriyel temiz odalarda ise adet/ m^3 olarak ifade edilir [48].

İç ortam hava kalitesi ile ilgili olarak aerodinamik çapı $10\ \mu\text{m}$ 'den, $2.5\ \mu\text{m}$ 'den, $1\ \mu\text{m}$ 'den ve $100\ \text{nm}$ 'den küçük partiküller, sırasıyla PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_1 ve Ultra İnce Partiküller (UFP)'dir. Bunlar küçülen boyutları ile daha derinlere olmak üzere, solunum yollarında ilerleyebildiği için bilimsel araştırmalarda dikkat çekmektedir. Partiküler maddeler, dış ortam havası ile ilgili uzun süredir yapılan çalışmalarla insan sağlığına etkileri belirlenmiş olan hava kirleticilerindendir. Bu partiküllerin oluşum mekanizmaları birbirinden farklıdır; dolayısıyla yapısal olarak içerikleri de fark etmektedir. Toksik elementler gibi yapılarında bulunabilecek tehlikeli maddelere ek olarak PM yüzeylerine adsorbe olan poliklorlu bifeniller, polibromlu difenileterler gibi yarı-uçucu organik bileşikler de insan vücuduna taşıyabildikleri için sağlık açısından ayrıca bir öneme sahiptir [49].

Asılı partikül maddelerin, çapı birkaç yüz mikrometreden küçük, havadaki tüm katı ve düşük buhar basınçlı sıvı parçacıklarından oluştuğu kabul edilir. Genel olarak, toplam asılı partikül madde konsantrasyonu, iç ortamlarda dış ortamlara göre önemli ölçüde daha düşüktür. Bununla birlikte, parçacık çapı $2.5\ \mu\text{m}$ 'den küçük olan asılı partikül maddeler solunabilir fraksiyonda olduğundan iç ortam araştırmaları açısından önemlidir. Askıdaki partikül maddeler, sigara dumanından, sprey ürünlerinden ve diğer iç ortam kaynaklarından yayılarak iç ortamlarda konsantrasyonları artabildiği için potansiyel sağlık etkileri açısından önemlidir [46].

2.3.2.7. Radon

Radyasyonun temel kaynakları, toprakta bulunan doğal radyonüklidlerden ve kayalardan kaynaklanan radyasyon ile havada ve yiyeceklerde bulunan doğal radyoaktif maddeler ve kozmik ışımalarıdır. Uranyumun doğal bir radyoizotopu olan ^{238}U farklı konsantrasyonlarda kaya ve topraklarda bulunmaktadır [46]. Evlerde ve iş yerlerindeki radon gazının kaynaklarına, binaların temelindeki kaya, toprak ve yeraltı suları ve iklim koşullarının etki ettiği görülmüştür [50]. ^{238}U 'nun (uranyum-238) doğal bozunma zincirinden radyoaktif olan ve soygaz özelliği gösteren ^{222}Rn (Radon-222) oluşur [46], [50].

Radon, rengi ve tadı olmayan kokusuz ağır bir gazdır. Atom numarası 86'dır ve periyodik cetvelin soygazlar sınıfında bulunmaktadır. Radonun yarılanma ömrü 3,82 gündür ve kimyasal reaksiyona karşı ilgisizdir [46],[50]. İnsanların maruz kaldığı radyasyonun

% 85'i doğal kaynaklıdır ve radon gazı doğal radyasyonun yarısının nedenidir [50].

Granit, tuğla ve betondan inşa edilen binalar için ortalama iç ortam-dış ortam radyasyon yakınlık oranının 1,3 olduğu, ahşap yapılar için ise yaklaşık 0,75 olduğu tahmin edilmektedir [46].

2.3.2.8. Ozon

Ozon, troposferdeki NO_x ve UOB'lerin fotokimyasal reaksiyonları nedeniyle oluşan ikincil bir kirleticidir [25]. Ozon, solunum yolu membranlarını diğer akciğer dokularını ve solunum fonksiyonunu etkileyen akciğerleri tahriş eden bir maddedir. İç ortam ozon konsantrasyonlarına önemli miktarda katkıda bulunabilecek iç ortam kaynakları arasında fotokopi makineleri ve elektrostatik hava temizleyicileri yer almaktadır [46].

2.3.2.9. Karbon dioksit (CO₂)

Karbondioksit insan metabolizması tarafından üretilir ve akciğerler yoluyla dışarı atılır. Üretilen CO₂ miktarı, gıda bileşiminin ve bireyin aktivite seviyesinin bir fonksiyonudur. Bir ofis çalışanını temsil eden aktivite düzeyine sahip bir yetişkinin normal olarak soluduğu CO₂ miktarı yaklaşık 200 ml/dakikadır. Sağlıklı bireylerin uzun süreler boyunca %1,5 CO₂'ye maruz kalması hafif metabolik strese neden olurken, %7-10'a maruz kalma birkaç dakika içinde bilinç kaybına neden olmaktadır. Havalandırma standartları normalde iç ortam CO₂ konsantrasyonunu <%0,5'te tutacak şekilde ayarlanmıştır; bu seviyenin, normal sağlıklı kişileri olumsuz yönde etkilemediği görülmektedir [46].

2.3.2.10. Uçucu Organik bileşikler

İç ortam havasında çok çeşitli organik maddeler tespit edilmiştir. Bunlar, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, klorlu hidrokarbonlar ve çeşitli ketonlar ve aldehitler olarak sıralanabilir. Benzen ve tetrakloroetilen gibi bunlardan bazılarının olası kanserojenler olduğu öne sürülse de iç ortam havasında bulunan çoğu organik maddenin sağlık açısından gerçek etkileri şu anda iyi tanımlanmamıştır [23]. Uçucu organik bileşiklerin iç ortam kaynakları, ahşap yapı malzemeleri, sigara dumanı, kişisel bakım ürünleri, boyalar ve temizlik maddeleridir. UOB'lerin insan sağlığı üzerine etkilerinden bazıları, bitkinlik, bellek kaybı ve anksiyetedir [47].

2.3.2.11. Canlı partikül madde

Polen, bakteri, mantar ve bitki sporları ve virüslerin tümü havadaki partiküllerle ilişkilidir. Canlı parçacıkların ortak ölçümüne toplam canlı parçacıklar veya koloni

oluşturan parçacıklar adı verilir. Normalde bu ölçüm bakteriyel aktiviteyi yansıtır ve polen veya virüsleri içermez ve çoğu zaman mantar sporlarını da hariç tutar. Genel olarak konsantrasyonlar yaşam koşulları ve iç ortam aktiviteleriyle yakından ilişkilidir. Okullarda, hastanelerde ve konutlarda yapılan ölçümlere dayanarak insanların, görünürde kötü etkiler olmadan, havada 20 CPM/m³ ile 70 CPM/m³ arasında bir 'biyolojik yük' ile yaşadıkları tespit edilmiştir. Klimalar ve soğuk buharlı nemlendiriciler, patojen organizmaların yoğunlaşabileceği ve daha sonra konsantre canlı aerosoller olarak salınabileceği cihazlar olarak tanımlanmıştır [46].

2.4. ESER ELEMENTLER

Eser elementler yer kabuğunun doğal bileşenlerindedir. Bozulamaz veya yok edilemezler. Az da olsa içme suyundan, yiyeceklerden ve hava yoluyla vücudumuzun metabolizmasına girerler. Bazı eser elementler (örneğin bakır, selenyum, çinko vs.) insan vücudunun metabolizmasının yaşam faaliyetlerini sürdürebilmesi için gereklidir. Eser elementler hücre fonksiyonlarının kimyasal, biyolojik ve moleküler seviyelerde çalışması için çok önemlidir [51]. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda zehirlenmeye yol açabilmektedirler. Al, Fe, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, V, Cd, Hg ve Pb elementleri, eser elementler arasında bulunmaktadır [17],[52],[53]. Eser elementler çevreye, hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan yayılmaktadır. Doğal kaynaklar, jeokimyasal ve biyokimyasal süreçleri (rüzgârda toz süspansiyonu, deniz serpintisi, volkanlar, eser gazlar arasındaki kimyasal reaksiyonlar) içerirken; antropojenik iz element kaynakları ulaşım, madencilik, enerji üretimi, eritme, arıtma, atık yakma, ticari uygulamalar vb.dir. Eser elementler, çevre için potansiyel toksisiteleri nedeniyle özel bir öneme sahiptir [54]. Atmosferik birikim belirli ortamlara eser element girişini, kimyasal türleri ve biyokimyasal maruziyeti etkileyebildiği için eser elementlerin atmosferik birikimi kara ve su kütleleri için önemlidir [54].

Eser elementlerden bazıları ağır metal olarak sınıflandırılmaktadır. Antropojenik ağır metal kaynakları, madencilik faaliyetleri, dökümhaneler, izabe tesisleri, yanma yan ürünleri, trafik ve endüstriyel faaliyetler gibi çeşitli antropojenik faaliyetlerdir [51]. Ayrıca, kış aylarında biyokütle yakımı ve kömür yakılması da önemli ağır metal kaynakları arasındadır [55].

2.4.1. Eser Element Kaynakları

Eser elementlerin önemli iç ortam kaynakları arasında dekoratif boyalar, tüketici ve kozmetik ürünleri, ev aletleri, kauçuk halı altlıkları ve halı pigmentleri, aşınmış inşaat malzemeleri ve pişirme, ısıtma ve sigara içme sırasında oluşan yanma ürünleri ve dış ortam tozu yer almaktadır [9],[13],[43].

Dış ortam kaynakları ise; toprak, yol tozu, inşaat aktiviteleri, endüstriyel ve taşıt (tekerlek, fren aşınması ve egzoz) kaynaklı emisyonlardır [9],[14]. Kurşunludan kurşunsuz benzine kademeli geçiş, bu elementin araç emisyonlarını önemli ölçüde azaltmış olsa da, kentsel çevredeki kalıcılığı ile Pb ve önemli miktarlarda Zn, Cu, Ba, Cd ve Ni elementlerinin oluşmasında taşıt trafiği önemli katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, kömür ve fosil yakıt yanması, madencilik, metalurji ve diğer endüstriyel faaliyetler ve doğal jeokimyasal işlemler (örneğin toprak parçacıklarının yeniden süspanse olması) çevresel eser element kirliliğine sebep olmaktadır. Kentsel alanlardaki kirletici elementlerin mekânsal dağılımı, trafik hareketlerinin yanı sıra mevcut ve geçmiş endüstriyel faaliyetlerin etkisini de büyük ölçüde yansıtır. Hızlı kentleşme ve arazi kıtlığı nedeniyle şehirlerdeki parklar ve rekreasyon alanlarının çoğu ana yollara veya endüstriyel alanlara yakın konumdadır [14].

Bazı eser element emisyonları doğal süreçlerden (örneğin volkanik patlamalar, toz fırtınaları, kayaların aşınması, orman yangınları) kaynaklanırken birçoğu antropojenik kökenlidir. Fosil hidrokarbonların yanması sırasında V, Co, Mo, Ni, Sb, Cr, Fe, Mn ve Sn elementleri, metalurji endüstrisinden As, Cr, Cu, Mn ve Zn elementleri, trafikten ise Fe, Ba, Pb, Cu, Zn ve Cd elementleri atmosfere taşınabilmektedir [56].

Dünya çapındaki bazı araştırmalar, sokak tozunun ev tozuna %20-95 oranında katkıda bulunduğunu göstermektedir. Şöyle ki, endüstriyel alanlara ve trafiğe yakın konumda bulunan evlerin, bu kaynaklardan uzak olanlara göre daha yüksek metal konsantrasyonuna sahip olabildiği görülmektedir [57]. Buna bağlı olarak, kırsal ve yarı kentsel özellikteki evler, özellikle bahçeler veya parklarla çevriliyse, şehir merkezindeki evlerden daha düşük eser element konsantrasyonlarına sahip olabilmektedir [14],[57].

2.4.2. Eser Elementlerin Sağlığa Etkileri

Eser elementlerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerine, çoğu insanın zamanının %90'ını iç ortamlarda geçirmesinden dolayı giderek daha fazla önem verilmektedir [10]. Esas olarak antropojenik faaliyetlerden gelen toz parçacıkları genellikle yüksek konsantrasyonlarda organik kirleticiler ve toksik eser elementler içermektedir. Toz

parçacıkları buldukları ortamda uzun süre kalabildikleri gibi rüzgârla kolaylıkla yeniden süspanse olarak havada askıda da kalabilirler. Ayrıca, atmosferik çökme ve çarpma yollarıyla üst toprakta birikebilmekte ve yağmurla yeraltı sularına karışabilmektedirler. Bu nedenle, toz parçacıkları atmosfer, toprak ve su arasında etkileşim sağlayan önemli bir çevresel elemandır. Toz parçacıklarındaki eser elementler, kentsel çevre kirliliğinin önemli belirteçlerindedir. Ayrıca, toz parçacıklarındaki eser elementler soluma, sindirim veya dermal temas yoluyla insan vücudunun yağ dokularında ve iç organlarında birikerek halk sağlığını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, toz parçacıklarındaki eser elementlerle ilgili tüm dünyada artan bir endişe bulunmaktadır [58]. İnsanların metallere yüksek konsantrasyonlarda maruz kalması sağlık açısından zararlı ve geri dönüşü olmayan etkilere neden olabilmektedir [59].

Kapalı ortamlarda çöken tozlarda bulunan eser elementler, insan vücuduna besin zinciri, solunum, yutma, dermal temas yoluyla absorpsiyon gibi yaygın maruz kalma yolları ile taşınmaktadır [9],[10],[14],[60],[61]. Çoğu eser element vücudunun boşaltım yolları olan böbrek, bağırsak, karaciğer, akciğer ve deri ile vücuttan atılamazlar. Bu sebeple eser elementlerin bir kısmı insan vücudunda metabolik faaliyetlerin gerçekleşebilmesi için gerekli olmakla birlikte bir kısmı biyolojik organizmalarda birikmektedir [61]. Bunun nedeni, eser elementlerin, lipid metabolizması veya protein yapılarıyla birleşmesidir [60],[62]. Birikim sonucunda canlıların bünyesinde yoğunlaşan eser elementler, etkili dozlara (toksik doz) ulaştıklarında, merkezi ve periferik sinir sistemlerinde, dolaşım sisteminde, kan bileşiminde, endokrin sisteminde, iç organların işleyişinde, akciğerlerde, böbreklerde, karaciğerde akut ve kronik toksisiteye, tiroid, otizm, büyüme geriliği ve kısırılık gibi hastalıklara, hatta ölümlere neden olabilmektedir [10],[11],[60],[61],[62]. Ağır metaller, merkezi sinir sistemi, kalp ve diğer hastalıkların kofaktörleri veya promotörleri olarak hareket edebilir ve düşük Pb, Cr, As seviyelerine sahip çocuklarda bile bilişsel gelişim, zeka gelişimi ve eğitim sorunları gibi olumsuz etkiler ortaya çıkabilir. Ev tozundan kaynaklı Pb maruziyeti, çocuklarda kanda Pb zehirlenmesine önemli katkıda bulunur [10]. Kurşun, Cd, Hg, Zn ve Cr gibi bazı ağır metallere maruz kalmak sinir sistemi, kalp-damar hastalıkları, kan ve kemik hastalıkları, böbrek yetmezliği gibi çeşitli hastalıklara yol açabilmektedir [63]. Eser elementler, özellikle Pb, Co ve Mn gibi bazıları yüksek konsantrasyonlarda nörolojik bozukluklar, gelişimsel sorunlar, böbrek yetmezliği, hamile kadınlarda düşüklükler ve hatta ölüm gibi ciddi sağlık etkilerine neden olabilmektedir [64].

Bebek veya çocukların organları gelişim aşamasında olduğundan, çevresel müdahalelere karşı son derece savunmasızdırlar. Bu durum onları, işlevsel hasar veya bozukluklara karşı daha duyarlı hale getirir. Bu gruplar, aynı zamanda ağır metal zehirlenmesine karşı da savunmasızdır. Ayrıca, çocuklarda ağır metallerin sindirim sisteminden emilim oranları ve bu metallere karşı hemogloblin duyarlılığı yetişkinlere göre çok daha yüksektir. Bebek ve çocukların sık sık el-ağız hareketleri, emekleme davranışları, dokunma ve oyuncakları yalamaları nedeniyle ev içi toz kirliliğinden etkilenme olasılığı yetişkinlerden daha fazladır [11]. Küçük çocukların ev tozlarına el-ağız yolu ile maruz kaldıkları ve ev tozunun çocuklar için başlıca ağır metal kaynağı olduğu artık yaygın olarak kabul edilmektedir [10].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmanın konusu olan ev tozlarında eser elementlerin konsantrasyon seviyelerinin tespiti için örnekleme yapılan evlerin konumları, evlerin özellikleri, kullanılan örnekleme teknikleri, element analizlerinde kullanılan analitik yöntemler ve istatistiksel analiz yöntemleri anlatılmıştır.

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Düzce ili, 259.300 ha yüzölçümüne sahiptir. Kocaeli ve Sakarya illeri ile aynı enlem üzerinde yer alan ile komşu iller Sakarya, Bolu ve Zonguldak illeridir. Kuzeyde Karadeniz'de 35 km uzunlukta bir kıyıya sahiptir. Düzce'nin en batı ve en doğu ucu $30^{\circ} 49'$ ve $31^{\circ} 51'$ doğu boylamları arasında yer almakta ve yaklaşık 88 km uzunlukta, en güney ve en kuzey uç noktaları ise $40^{\circ} 37'$ ve $41^{\circ} 06'$ kuzey enlemleri arasında yer almakta ve yaklaşık olarak 52 km uzunlukta. Düzce ilinin, Akçakoca, Cumayeri, Gölyaka, Gümüşova, Çilimli, Kaynaşlı ve Yığılca olmak üzere yedi ilçesi bulunmaktadır [65]. İlin, 2022 yılı nüfusu toplam 405.131 kişidir [66]. Şehrin içinden D-100 karayolu ve E-80 otoyolu geçmektedir. Türkiye'nin en yoğun trafiğine sahip olan bu iki yol, Ankara ve İstanbul illeri arasında yer aldığı için Düzce'ye ayrı bir önem katmaktadır [65]. Düzce ili ve ilçeleri Harita 3.1' de gösterilmektedir [67].

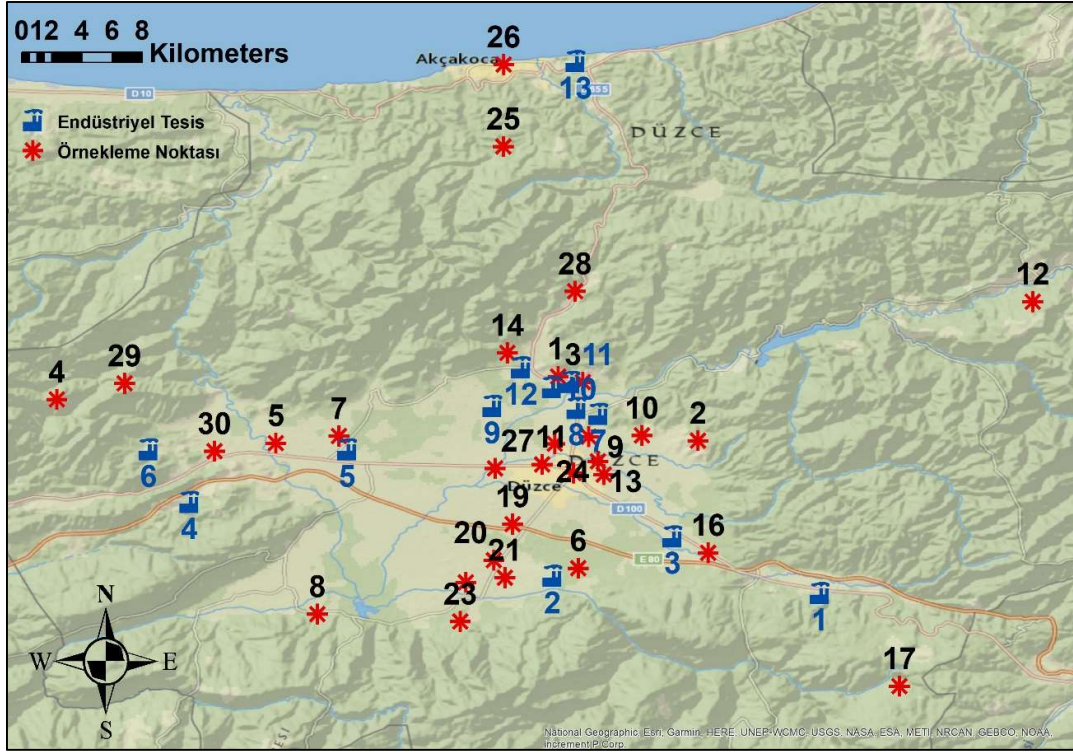
Yerel rüzgârlar ve atmosferik stabilite bir bölgenin coğrafyasından etkilendiğinden, bir şehrin topoğrafik özellikleri hava kalitesini doğrudan etkileyebilmektedir. Düzce gibi dağ ve vadi birleşimi olan kentlerde rüzgâr hızının azalması ve inversiyon olaylarının sık yaşanması nedeniyle kirleticiler dağılamamakta ve konsantrasyon seviyeleri yükselmektedir. Olası kirlilik kaynakları göz önüne alındığında, fosil yakıtların evsel ve endüstriyel amaçlı kullanımı ve yoğun taşıt trafiğinin başlıca faaliyetler olduğu söylenebilir [15].



Harita 3.1. Düzce ili ve ilçeleri.

3.2. ÖRNEKLEME NOKTALARININ SEÇİMİ VE ÖRNEK TOPLAMA

Bu çalışmada, Şubat-Haziran 2022 tarihlerinde Düzce'nin çeşitli noktalarında bulunan 30 adet evden, evin elektrik süpürgesi içerisinde biriken toz örnekleri alınmıştır. Örnekleme yapılan evler Düzce ilinin merkeze bağlı mahallerinde (Şehit Murat Demir Mah., Orhangazi Mah., Yeni Mah., Koçyazı Mah., Kazukoğlu Mah., Beyciler Mah., Burhaniye Mah., Mergiç Mah., Şekerpınar Mah.) ve Akçakoca, Kaynaşlı, Çilimli, Gölyaka, Gümüşova, Cumayeri ve Yığılca ilçelerinde yer almaktadır. Harita 3.2'de örnekleme noktaları ve Düzce ilinde bulunan önemli endüstriyel tesisler harita üzerinde gösterilmektedir. Bu tesisler; 1 ve 3 çelik boru üretim tesisleri, 2 numaralı bölge organize sanayi bölgelerini (OSB-1 ve 2), 4 numara plastik ve bina yapı malzemelerinin üretildiği tesisleri, 5 ve 6 metal üretim tesislerini, 7 ve 8 ahşap ürünleri üretim tesisi, 9 küçük sanayi sitesi, plastik, metal ve ahşap ürünlerinin üretimi ile ilgili tesislerin olduğu bölgeyi, 10 ve 11 profil üretim tesislerini, 12 tekstil üretim tesisini, 13 numaralı tesis ise yine çelik boru üretim tesisini göstermektedir.



Harita 3.2. Örnekleme noktaları ve Düzce ilinde bulunan önemli endüstriyel tesisler.

3.3. ANKET ÇALIŞMASI

Örnekleme çalışmaları sırasında evlerin özelliklerini değerlendirmek amacıyla hazırlanan anketler tüm evlere uygulanmıştır. Ev tozunda ölçülen eser element miktarları evin konumu, evin yaşı, evin bulunduğu kat, evin ısınma türü, evin içinde kullanılan zemin kaplaması ve halı türü, evin içerisinde sigara içip içilmediği, evlerin ana caddeye yakınlığı ve sanayiye yakınlığı, evde klimanın varlığı, evde tadilat boya işlerinin yapıp yapılmadığı, evde evcil hayvan varlığı, evin havalandırılma süresi ve evlerde yapılan temizlik rutini vb. gibi parametreler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Örnekleme yapılan evlerin anket çalışmaları incelenerek belirlenen genel özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan evlerin özellikleri.

EVİN ÖZELLİKLERİ		ÖRNEK SAYISI	EV NUMARALARI		
			1	2	3
Binanın yaşı	Beş yıldan yeni ¹ /Beş yıldan daha eski ²	2/28	9,10	1,2,3,4,5,6,7,8,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30	-
Binanın Yapısı	Ahşap ¹ /Beton ² /Ahşap Beton ³	3/24/3	14,25,27	1,2,4,5,6,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18,19,20,21,22,23,26,28,29,30	3,7,24
Evin katı	Zemin-birinci kat ¹ /2-4 kat ² /4 kat üzeri ³	23/6/1	2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,14,16,17,18,19,20,21,23,24,25,28,29,30	1,9,13,15,22,27	26
Evde yaşayan kişi sayısı	1-2 kişi ¹ / 3-4 kişi ² /5 üzeri ³	6/18/6	1,15,16,18,21,23	2,3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,17,20,22,24,27,28,29	4,5,19,25,26,30
Ana Cadde	Yakın(<50 m.) ¹ /Uzak (>50 m.) ²	17/13	1,3,6,7,9,11,13,15,18,20,21,22,23,24,25,26,27	2,4,5,8,10,12,14,16,17,19,28,29,30	-
Sanayiye yakınlık	Yakın(<50 m.) ¹ /Uzak (>50 m.) ²	6/24	1,3,6,20,21,27	2,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,22,23,24,25,26,28,29,30	-
Isınma Türü	Doğalgaz ¹ /Odun veya kömür ² /odun ve kömür ³	15/7/8	1,2,3,6,9,10,11,13,15,16,17,22,26,27,28	4,18,19,21,23,29,30	5,7,8,12,14,20,24,25
Zemin Kaplama	Laminant ¹ /Ahşap ² /Fayans ³	24/2/4	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,19,22,24,26,27,28,29,30	20,25	10,18,21,23
Ev içinde sigara içilme	İçiliyor ¹ /İçilmiyor ²	5/25	12,16,20,23,25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,17,18,19,21,22,24,26,27,28,29,30	-
Son bir yılda tadilat/boya işleri	Var ¹ /Yok ²	8/22	3,4,11,24,25,26,28,30	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30	-
Haftada yapılan temizlik sayısı	Haftada 1 ¹ / Haftada 2 ² /Haftada 2'den fazla ³	6/13/11	1,2,3,21,24,25	4,5,6,7,8,10,11,12,14,15,16,23,28	9,13,17,18,19,20,22,26,27,29,30
Elektrik süpürgesi toz torbalı/torbasız	Toz Torbalı ¹ /Torbasız ²	15/15	2,3,4,5,12,14,16,17,18,19,20,25,26,29,30	1,6,7,8,9,10,11,13,15,21,22,23,24,27,28	-
Evi gün içinde havalandırma	Hergün havalandırma ¹	30	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30	-	-
Evcil Hayvan	Var ¹ /Yok ²	8/22	5,10,15,17,20,25,27,29	1,2,3,4,6,7,8,9,11,12,13,14,16,18,19,21,22,23,24,26,28,30	-

3.4. ÖRNEKLEME, EKSTRAKSİYON VE ANALİZ

Bu kısımda, ev tozlarının örnekleme teknikleri, eser elementlerin analizi için örneklerin hazırlanması ve uygulanan analiz teknikleri anlatılmıştır.

3.4.1. Örneklerin Toplanması

Ev tozu örnekleri, evlerde bulunan mevcut elektrik süpürgelerinden (torbalı/torbasız) alınmıştır. Örnekleme amacı ile evlerde süpürme işlemleri tüm evi temsil edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Süpürge haznesinde biriken tozlar plastik torbalara konularak, ağzı kapalı olacak şekilde laboratuvara getirilmiştir.

3.4.2. Ekstraksiyon ve Analiz

Numuneler (Şekil 3.1 ev tozu), analiz öncesi içindeki büyük çöp, saç vs. parçalarından temizlenmiş, ardından Şekil 3.2' de gösterilen 0,1 mm elekten geçirilmiştir. Elenen örnekler, 24 saat süreyle 120°C de etüvde kurutulmuştur. Çözünürleştirme işlemi gerçekleştirmek amacı ile kurutulmuş numunelerden 0,25 g tartılarak (0,001 mg hassasiyetli, Sartorius Micro, Japonya) (Şekil 3.3'de verilen tartım işlemi) PTFE test tüpüne aktarılmış ve 8 mililitre HNO₃ (%65) (Merck Suprapure) ve 2 mL HF (%48) (Merck Suprapure) ve 1 mL HClO₄ (Merck Suprapure) ilave edilmiştir. Numuneler, üç aşamalı bir mikrodalga sindirim prosedürü kullanılarak çözünürleştirilmiştir. Ekstraksiyon süreci, Şekil 3.4'de gösterilen, 1200 W mikrodalga çözünürleştiricide (Milestones Start D-Microwave Digestion) 140 °C sıcaklıkta 60 dakikada gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga çözünürleştiriciden alınan numuneler 45 dakika soğutulmuş ve ultra saf su (18.3 MΩ) ile 50 ml hacme tamamlanmıştır. Ardından, soğutulan numuneler filtre kağıdından (Whatman no:12) süzülmüştür. Daha sonra filtrelenen çözeltiler volumetrik şişede (50 mL) distile su ile seyreltilmiş ve analizden önce buzdolabında saklanmıştır. Element analizleri Şekil 3.5'de verilen indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) (Perkin Elmer AVİO 200) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [68].

Kalibrasyon standartları, 1000 mgL⁻¹ konsantrasyonlara sahip standart stok çözeltilerinin (Sigma Aldrich and Merck) seyreltilmesi yoluyla hazırlanmıştır. Tüm ekstraksiyonlar ve analizler çoklu numunelerle (n=3) gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler rapor edilmiştir.

Element analizlerine ilişkin sertifikalı referans malzeme (SRM) olan BCR-723 (IRMM-JRC Road Dust, European Commission) analizleri sonucunda tespit edilen kalite kontrol ve kalite güvence parametrelerinden belirsizlik ve % geri kazanım miktarları ile tespit sınırları (LOD) ile nicelleştirme sınırları (LOQ) Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. QA/QC parametreleri.

Element	Belirsizlik	Geri kazanım	LOD	LOQ
	%	%	ppb	ppb
Ba	0,04	104,57	0,444	1,48
Cd	0,4	94,24	0,978	3,26
Co	1,6	102,67	0,462	1,54
Cr	18	99,21	0,408	1,36
Fe	0,2	108,48	0,258	0,86
Mn	0,04	114,14	0,888	2,96
Mo	0,6	100,59	0,297	0,99
Ni	3	100,92	0,768	2,56
Pb	16	98,89	2,067	6,89
Sb	2,3	97,76	0,075	0,25
Sr	19	100,93	0,708	2,36
Ti	0,13	104,22	0,297	0,99
Zn	0,1	114,22	0,558	1,86



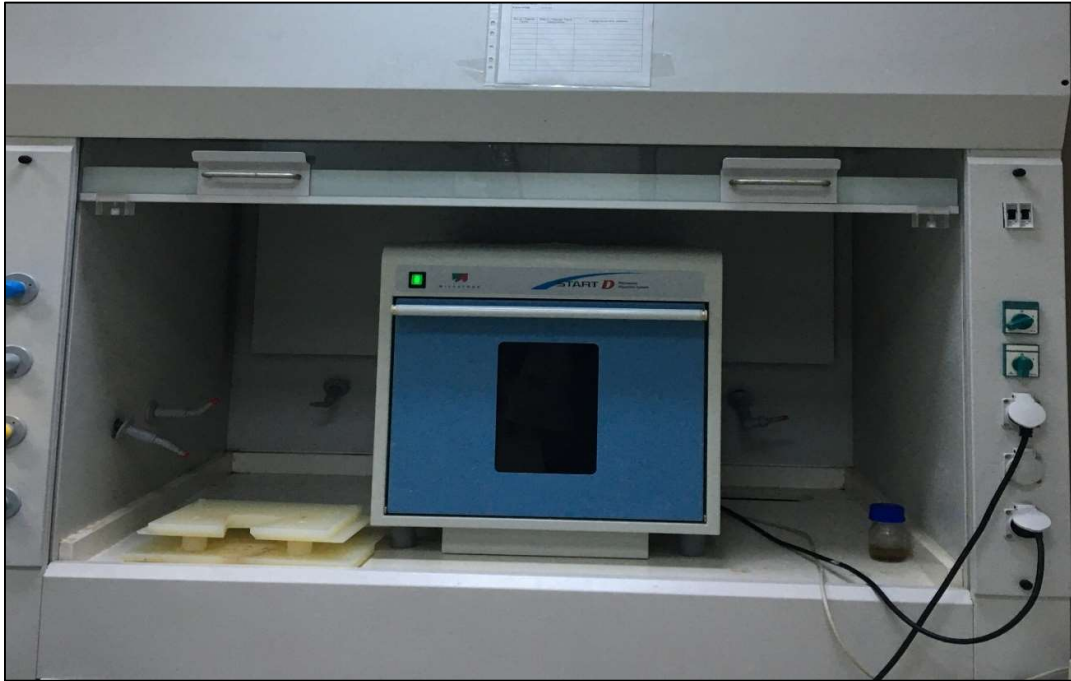
Şekil 3.1. Ev tozu.



Şekil 3.2. Ev tozu eleme işlemi.



Şekil 3.3. Ev tozu tartım işlemi.



Şekil 3.4. Mikrodalga çözünürleştirici (Milestones Microwave Digestion).



Şekil 3.5. ICP-OES cihazı.

3.5. ELEMENTLER İÇİM KİRLİLİK DEĞERLENDİRMESİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.5.1. Zenginleştirme Faktörü

Eser elementlerin, yer kabuğu bileşimine göre çeşitli kaynakların etkisi ile ne ölçüde zenginleştiğini gösteren bir ölçü olan zenginleştirme faktörü (EF), insan faaliyetlerinden kaynaklanan elementler ile doğal kökenli elementler arasında ayırım yapmak ve antropojenik etki derecesini değerlendirmek için kullanılmaktadır [2],[53]. Zenginleştirme faktörü, antropojenik element kirliliğinin derecesini yansıtan ve elementlerin çeşitli kaynaklarla ilişkili olarak, kirlenme boyutunu gösteren bir ölçüdür [54],[69].

Zenginleşme faktörleri, elementlerin yer kabuğundaki seviyeleri ile her hangi bir ortamdaki seviyeleri karşılaştırılarak, incelenen ortamdaki kirlenme derecesi hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Ayrıca EF, antropojenik kaynaklardan gelen elementler ile

doğal kökenli elementleri ayırt etmek için de kullanılabilir [9].

Zenginleşme faktörü; $EF \leq 2$ minimum zenginleşme, $2 \leq EF < 5$ orta derece zenginleşme, $5 \leq EF < 20$ önemli derecede zenginleşme, $20 \leq EF < 40$ çok yüksek miktarda zenginleşme ve $EF \geq 40$ aşırı miktarda zenginleşme değerleri olarak kullanılmaktadır [53],[70],[71],[72].

Genel olarak, $EF < 2$ doğal koşulları belirtirken, $EF > 2$ antropojenik etkiyi göstermektedir. Zenginleşme hesaplamalarında bir arka plan kompozisyonu veya bir referans element seçilir [70]. Genellikle EF hesaplamalarında, Fe, Mn, Li ve Al referans element olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, antropojenik faaliyetlerin ev tozlarındaki element konsantrasyonları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla her bir element için EF değerleri denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 3.1’de referans element olarak Fe tercih edilmiştir [72],[73].

$$EF = (C_x/C_{Fe})_{ev\ tozu} / (C_x/C_{Fe})_{yer\ kabuğu} \quad (3.1)$$

$(C_x)_{ev\ tozu}$, ev tozu örneklerinde ölçülen X elementinin konsantrasyonunu; $(C_{Fe})_{ev\ tozu}$ çalışmada ev tozu örneklerinde ölçülen Fe elementinin konsantrasyonunu; $(C_x)_{yer\ kabuğu}$, X elementinin yer kabuğundaki konsantrasyonunu; $(C_{Fe})_{yer\ kabuğu}$, yer kabuğundaki Fe konsantrasyonunu ifade etmektedir [53],[73],[74].

3.5.2. Kolerasyon Analizi

Korelasyon analizi, ölçülen eser elementlerin birbirleriyle olan ilişkileri ve kaynakları hakkında bilgi vermektedir. Elementler arasındaki korelasyon değerleri 1’e ne kadar yakınsa bu durum, o iki elementin ya aynı kaynaktan çıktığını ya da aynı kimyasal formda bulunduğunu göstermektedir [75].

Çalışmada elementlerin korelasyon analizinin gerçekleştirilmesi amacı ile Sosyal Bilimler İstatistiksel Paket programı (SPSS Inc., Chicago, USA, Version 22) kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir.

İç ortamlardan alınan toz örneklerinde eser element parametreleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek amacı ile örneklenen elementlerin pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Korelasyon katsayısının 1'e yakın olması iki değişken arasında doğrusal ilişki olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değerler alabilir. Bir parametre değeri artarken diğer parametre azalıyorsa korelasyon katsayısı negatif (-), her iki parametre değeri artıyorsa korelasyon katsayısı pozitif (+) değer alır. İlişkinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı seçilen önem seviyesi (genellikle $\alpha=0,05$ seçilir) ile hesaplanan önem seviyesi (p değeri) karşılaştırılarak belirlenir. Eğer p değeri, $\alpha=0,05$ değerinden kuukse ilişki istatistiksel olarak önemlidir [76].

3.5.3. Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi bir araştırmada birbirine benzer olan verilerin aynı gruplarda toplanmasını amaçlayan bir sınıflandırma yöntemidir. Kümeleme analizi verilerin birimlere veya değişkenlere göre birbirlerine benzerlikleri bakımından farklı gruplarda toplanmasını sağlamaktadır. Bu yöntemin amacı, aynı grupta toplanan verilerin benzerliklerine göre sınıflandırılıp benzer olan verilerin farklı olan verilerden ayrılmasıdır. Boylence, aynı grupta toplanan verilerin ortak özelliklerini bulma ve bu gruplardan bilgi elde edinmede kullanılan yardımcı bir yöntemdir [77].

Çalışmada elde edilen element verilerine ait kaynakların belirlenebilmesi amacı ile ev tozu örneklerinden elde edilen eser element veri setlerine Sosyal Bilimler İstatistiksel Paket programı (SPSS Inc., Chicago, USA, Version 22) kullanılarak kümeleme analizi tekniği uygulanmıştır. Bu tekniğin amaçları örnekleme çalışmalarında gruplanmamış veri matrisindeki gözlemleri, benzerliklerine göre gruplamaktır. Boylence, çalışmada kümeleme analizi uygulanarak benzer özellikler gösteren elementler tanımlanmış olur. Çalışmada, kümeleme analizinde, en uzak komşu metodu, mesafe olarak kareli öklid olutu kullanılarak birbirlerine en çok benzeyen küme profilleri oluşturulmuştur. Element konsantrasyonları arasındaki farklı buyuklukleri dengelemek için kümeleme analizi yapılmadan önce her bir bileşen için ortalama konsantrasyonun örnek konsantrasyonundan çıkarılması ve sonucun standart sapma değerine bölünmesi ile hesaplanan z-skor değerlerine dönüştürülerek standartlaştırma işlemi yapılmıştır.

3.5.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları

Tez kapsamında olulen kirletici konsantrasyon seviyelerinin değerlendirilmesinde

coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS 10.8) kullanılarak kirleticilerin dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Coğrafi bilgi sistemi (CBS); mekandaki konumu belirlenmiş (x,y,z koordinat) verilerin (parsel, yol, bina ,dere, direk gibi) üretimi, depolanması, görüntülenmesini sorgulayan, analiz edilen ve yayınlanan gibi işlemleri kapsayan yazılım, donanım ve yöntemler sistemidir. Kısacası, bilginin mekan ile ilişkilendirilerek yönetilmesini sağlayan karar destek sistemidir. Yani 'dünya üzerindeki bölgeleri tarif eden, verileri saklayan ve kullanan bilgisayar sistemi' olarak tanımlanabilir [78].

3.6. SAĞLIK RİSKİ DEĞERLENDİRİLMESİ YÖNTEMİ

Çalışmada, sağlık riski değerlendirmesi için kullanılan metodoloji ABD Çevre Koruma Kurumu'nun (USEPA) geliştirdiği modele dayanmaktadır. Değerlendirme, kanserojen olmayan maddeler için tehlike indeksi, kanserojen maddeler için ise kanser riski hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Örneklenen, eser element konsantrasyonları için doğrudan yutma (Ding), dermal temas (Dder) ve soluma (Dinh) maruziyet yollarının her birisinden alınan maruz kalma dozu, aşağıdaki denklemler (3.2),(3.3),(3.4) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemlerde kullanılan parametreler Çizelge 3.3'de açıklanmıştır [79],[80],[81],[82],[83],[84],[85],[86],[87].

Risk hesaplamaları için maruz kalma denklemleri;

Yutma yoluyla maruziyetin hesaplanması;

$$Ding = C \times \frac{IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (3.2)$$

Deri teması yoluyla maruziyetin hesaplanması:

$$Dder = C \times \frac{SL \times SA \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (3.3)$$

Solunum yoluyla maruz kalmanın hesaplanması:

$$Dinh = C \times \frac{InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (3.4)$$

Çalışmada; kanserojenlik sınıflarında yer alan Cr, Co, Ni, As ve Cd elementleri için kanser riski hesaplamalarında kullanılan yutma (LADDing), dermal temas (LADDder)

ve solunum yolu (LADD_{inh}) ile maruziyetten kaynaklanan ömür boyu günlük ortalama doz (LADD) aşağıdaki denklemler (3.5),(3.6),(3.7) kullanılarak hesaplanmıştır [79],[80],[81] [82],[83], [84],[85],[86],[87].

$$LADD_{ing} = \frac{C \times EF \times CF}{AT} \times \left(\frac{InR_{\text{çocuk}} \times ED_{\text{çocuk}}}{BW_{\text{çocuk}}} + \frac{InR_{\text{yetişkin}} \times ED_{\text{yetişkin}}}{BW_{\text{yetişkin}}} \right) \quad (3.5)$$

$$LADD_{der} = \frac{C \times SL \times ABS \times EF \times CF}{AT} \times \left(\frac{SA_{\text{çocuk}} \times ED_{\text{çocuk}}}{BW_{\text{çocuk}}} + \frac{SA_{\text{yetişkin}} \times ED_{\text{yetişkin}}}{BW_{\text{yetişkin}}} \right) \quad (3.6)$$

$$LADD_{inh} = \frac{C \times EF}{AT \times PEF} \times \left(\frac{InhR_{\text{çocuk}} \times ED_{\text{çocuk}}}{BW_{\text{çocuk}}} + \frac{InhR_{\text{yetişkin}} \times ED_{\text{yetişkin}}}{BW_{\text{yetişkin}}} \right) \quad (3.7)$$

Kanserojen olmayan elementler için risk değerlendirmesi, tehlike katsayısı (HQ) ve tehlike indeksi (HI) ile yapılır. Tehlike indeksi, birden fazla madde ve/veya çoklu maruziyet yolları için birden fazla tehlike katsayısının toplamı olarak hesaplanır. Sağlık riski değerlendirmelerinde HI ve HQ değerleri "1" e eşit veya daha küçük ise, değerlendirilen kirleticilerden kaynaklanan önemli bir risk olmadığı ifade edilebilir. Kanserojen elementlere maruz kalma ile ilişkili ömür boyu kanser riski için ise risk tolerans değeri, 10⁻⁴ ve 10⁻⁶ arasında tanımlanmaktadır.

Potansiyel kanserojen ve kanserojen olmayan riskler aşağıdaki denklemler (3.8),(3.9),(3.10) kullanılarak tespit edilmiştir. Çalışmada yer alan elementler için referans doz (RfD) ve eğim faktörü (SF) değerleri, ABD Enerji Bakanlığı'nın Risk Değerlendirme Bilgi Sisteminden (RAIS) ve literatürden alınmış ve Çizelge 7'de sunulmuştur [79],[80],[81],[82],[83],[84],[85],[86],[87].

$$HQ(\text{Tehlikekatsayısı}) = \frac{D}{RfD} \quad (3.8)$$

$$HI = \sum HQ_{ing, in, der} \quad (3.9)$$

$$CR(\text{Kanserrisk}) = D \times SF \quad (3.10)$$

Krom, Cr(III) ve Cr(VI) şeklinde iki farklı yükseltgenme basamağında bulunabilen bir elementtir. Bu yükseltgenme basamaklarından Cr(VI) kanserojen, Cr(III) ise kanserojen değildir. Bu çalışmada Cr(VI) konsantrasyonları doğrudan ölçülmediği için sağlık riskinin belirlenmesinde, Cr(VI) konsantrasyonunun toplam krom konsantrasyonunun yaklaşık % 25'i olduğu kabul edilmiştir [80].

Çizelge 3.3. Risk modelinde kullanılan parametreler ve referans değerler.

Factor	Unit	Value				
		Children	Adult			
C Konsantrasyon)	mg/kg					
IngR (yutma oranı)	mg/d	200	100			
InhR (solunum oranı)	m ³ /d	8	20			
PEF (Partikül emisyon faktörü)	m ³ /kg	3,6E+09	3,6E+09			
SA (Maruz kalan cilt alanı)	cm ²	2800	5700			
SL(Cilt yapışma faktörü)	mg cm ⁻² d ⁻¹	0,2	0,7			
ABS (Dermal absorpsiyon faktörü)	Birimsiz	0,001	0,001			
ED (Maruziyet süresi)	Yıl	6	24			
EF (Maruziyet frekansı)	gün/yıl	350	350			
BW (Ortalama vücut ağırlığı)	kg	15	70			
CF (Dönüşüm Faktörü)	Birimsiz	1,00E-06	1,00E-06			
AT (Ortalama maruziyet süresi (Kanserojen olmayanlar için))	Gün	EDx365	EDx366			
AT (Ortalama maruziyet süresi (Kanserojen olanlar için))	gün	25550	25550			
Element	Ing RfD (mg/kg day)	Der RfD (mg/kg day)	Inh Rfd (mg/kg day)	DerSF (kg day/mg)	Inh SF (kg day/mg)	IngSF (kg day/mg)
Li	2,00E-03	2,00E-03				
Cr(III)	1,50E+00	1,95E-02				
Cr(VI)	3,00E-03	6,00E-05	2,86E-05	2,00E+01	2,94E+02	5,00E-01
Mn	2,40E-02	9,60E-04	1,43E-05			
Fe	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-03			
Co	3,00E-04	3,00E-04	1,71E-06		3,15E+01	
Ni	1,10E-02	5,40E-03	4,00E-06	4,25E+00	8,40E-01	1,70E+00
Cu	4,00E-02	4,00E-02	4,02E-02			
Zn	3,00E-01	3,00E-01	3,00E-01			
As	3,00E-04	3,00E-04	4,29E-06	3,66E+00	1,51E+01	1,50E+00
Se	5,00E-03	5,00E-03	5,71E-03			
Sr	6,00E-01	1,20E-01				
Mo	5,00E-03	5,00E-03	5,71E-04			
Ag	5,00E-03	2,00E-05				
Cd	1,00E-04	2,50E-05	2,86E-06	6,10E+00	6,30E+00	6,10E+00
Sb	4,00E-04	6,00E-05	8,57E-05			
Ba	2,00E-01	2,90E+00	1,43E-04			
Hg	1,60E-04	4,30E-03	8,57E-05			
Pb	3,50E-03	5,25E-04	3,52E-03	8,50E-02	4,20E-02	8,50E-03

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde, Düzce'nin farklı bölgelerinde yer alan, farklı özelliklerdeki evlerden toplanan tozlarda tespit edilen eser element seviyeleri, başlıca kirlilik kaynakları ve ölçülen düzeylerin yaratacağı sağlık riskleri ile ilgili değerlendirmeler verilmektedir.

4.1. EV TOZUNDAKİ ESER ELEMENT SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, toplam 30 evden alınan toz numunelerinde ölçülen Li, Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Ba, Hg ve Pb elementlerinin istatistiksel sonuçları sunulmuştur. Analiz edilen elementlerin, örneklenen konutlar için hesaplanan aritmetik ortalama değerleri $Ca > K > Fe > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Sr > Cu > Cr > Ni > Pb > Zr > Mo > Co > Li > Cd > Ag > Se > Sb > As > Hg$ şeklinde sıralanmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucunda, en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementlerin sırasıyla Ca (6497,21 mg/kg), K (4011,17 mg/kg), Fe (2659,17 mg/kg), Na (2193,56 mg/kg) ve Mg (1012,20 mg/kg) elementleri olduğu, en düşük aritmetik ortalamaya sahip elementlerin ise sırasıyla Hg (0,02 mg/kg), As (0,15 mg/kg), Sb (0,22 mg/kg), Se (0,36 mg/kg) ve Ag (0,61 mg/kg) olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada ölçülen metallerin istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin istatistiksel değerlendirilmesi.

	Aritmetik Ortalama (µg/g)	Standart Sapma (µg/g)	Geometrik Ortalama (µg/g)	Ortanca (µg/g)	Maksimum (µg/g)	Minimum (µg/g)	Aralık (µg/g)
Li	1,78	1,98	1,27	1,23	10,68	0,26	10,42
Na	2193,56	1539,07	1791,32	1802,03	6823,88	658,22	6165,66
Mg	1012,20	661,01	819,69	801,56	2588,75	261,35	2327,40
K	4011,17	6122,56	2168,05	1803,38	30283,69	431,79	29851,91
Ca	6497,21	5011,14	4874,69	6307,87	24896,36	479,42	24416,94
Ti	281,90	170,95	238,85	268,21	800,40	67,01	733,39
Cr	13,72	16,80	9,18	9,04	92,78	1,24	91,54
Mn	93,41	113,59	59,11	58,19	461,40	12,10	449,30
Fe	2659,17	1790,62	2159,05	2179,19	9182,61	469,25	8713,35
Co	2,54	3,54	1,79	1,65	20,32	0,40	19,92
Ni	12,34	16,15	8,63	8,64	92,41	2,30	90,11
Cu	23,91	31,38	17,21	15,85	181,15	5,00	176,15
Zn	237,60	273,21	165,50	160,48	1487,38	15,80	1471,58
As	0,15	0,64	0,01	0,01	3,53	0,00	3,53
Se	0,36	1,06	0,12	0,12	5,85	0,01	5,85
Sr	37,07	33,41	28,01	28,43	179,55	5,42	174,14
Zr	5,82	8,71	3,41	3,65	46,76	0,28	46,48
Mo	3,72	6,14	2,35	2,24	34,71	0,50	34,21
Ag	0,61	0,48	0,48	0,62	2,66	0,12	2,54
Cd	0,77	1,28	0,32	0,38	6,58	0,01	6,58
Sb	0,22	0,53	0,08	0,08	2,68	0,01	2,67
Ba	73,46	129,21	36,48	29,02	573,66	5,10	568,56
Hg	0,02	0,05	0,01	0,01	0,26	0,00	0,26
Pb	5,82	8,09	3,50	3,45	42,59	0,41	42,18

Her bir örnekleme noktasında ölçülen tüm elementlerin ortalama konsantrasyon değerleri toplamı ile yapılan karşılaştırmada, konsantrasyonların en yüksek olduğu evlerin çizelge 4.2’de görülen 7, 20 ve 25 numaralı evler olduğu, konsantrasyon değerlerinin en düşük olduğu evlerin ise 4.3’de görülen 9, 13 ve 16 numaralı evler olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmede, 7 numaralı evin yakınında ana cadde olması, ısınma türü olarak kömürlü soba kullanılması, evin ana cephesi doğrultusunda sobalı evlerin bulunması, eski ve tek katlı bir ev olması evden alınan tozun içindeki element konsantrasyonlarını önemli miktarda arttırdığı anlaşılmaktadır. 20 ve 25 numaralı evler için de, ana caddeye yakın olmaları, ısınma türü olarak sobada odun ve kömür yakılması, evlerin içerisinde sigara içilmesi gibi etkenlerin bu evlerde yüksek konsantrasyon seviyelerine neden oldukları düşünülmektedir. Yüksek kirletici konsantrasyonlara sahip olan evlerin özellikleri Çizelge 4.2’ te verilmiştir. En düşük konsantrasyonlara sahip olan 9, 13 ve 16 numaralı evler için yapılan değerlendirmede, evlerin etraflarının açık ve civarlarında herhangi bir kirletici faaliyet bulunmadığı belirlenmiştir. Evlerin ısınma türünün doğalgaz olmasının yanında, evlerin içinde sigara içilmemektedir. Düşük kirletici konsantrasyonlara sahip

olan evlerin özellikleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip olan evler.

EVİN ÖZELLİKLERİ	EV7	EV20	EV25
Binanın yaşı	>5	>5	>5
Binanın yapısı	Ahşap/Beton	Beton	Ahşap
Evin katı	Zemin	1	1
Evde yaşayan kişi sayısı	2	4	4
Ana caddeye yakınlık	Evet	Evet	Evet
Sanayiye yakınlık	Hayır	Evet	Hayır
Isınma türü	(Odun/Kömür)	(Odun/Kömür)	(Odun/Kömür)
Zemin kaplama	Laminant	Ahşap	Ahşap
Ev içinde sigara içilme	Hayır	Evet	Evet
Son bir yılda tadilat/boya işleri	Hayır	Hayır	Hayır
Haftada yapılan temizlik sayısı	2	>2	1
Elektrik süpürgesi toz torbalı/torbasız	Torbasız	Torbalı	Torbalı
Evi gün içinde havalandırma	Evet	Evet	Evet
Evcil hayvan	Yok	Yok	Var

Çizelge 4.3. Düşük kirletici konsantrasyonlara sahip olan evler.

EVİN ÖZELLİKLERİ	EV9	EV13	EV16
Binanın yaşı	<5	>5	>5
Binanın yapısı	Beton	Beton	Beton
Evin katı	3	3	Zemin
Evde yaşayan kişi sayısı	3	4	2
Ana caddeye yakınlık	var	var	yok
Sanayiye yakınlık	yok	yok	yok
Isınma türü	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğalgaz
Zemin kaplama	Laminant	Laminant	Laminant
Ev içinde sigara içilme	Hayır	Hayır	Hayır
Son bir yılda tadilat/boya işleri	Hayır	Hayır	Hayır
Haftada yapılan temizlik sayısı	>2	>2	2
Elektrik süpürgesi toz torbalı/torbasız	Torbasız	Torbasız	Torbalı
Evi gün içinde havalandırma	Evet	Evet	Evet
Evcil hayvan	Yok	Yok	Yok

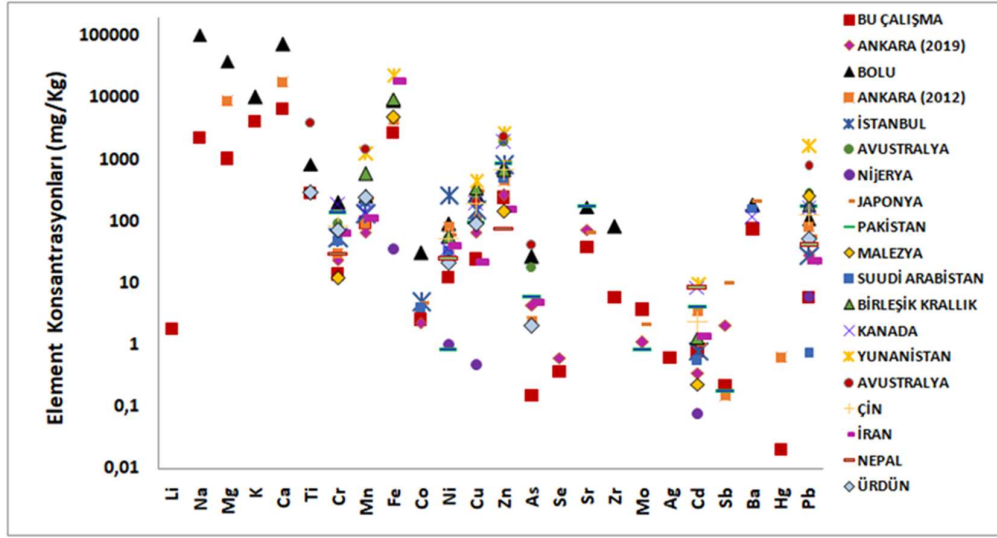
4.2. İÇ ORTAM TOZLARINDA ÖLÇÜLEN ELEMENT SEVİYELERİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi ve mevcut durumun anlaşılabilmesi için farklı ülke ve şehirlerde yapılan benzer araştırmaların incelenmesi önemlidir. Bu nedenle, çalışmada iç ortam toz örneklerinde eser element düzeyleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve seçilen çalışmalara ve Düzce’de elde edilen sonuçlara ait aritmetik ortalama değerler Çizelge 4.4’de özetlenmiştir. Farklı kentsel bölgelerde ölçülen çevresel element konsantrasyonları uygulanan örnekleme ve analiz yöntemleri aynı olsa bile, örneklenen bölgenin emisyon kaynaklarına ve örnekleme noktasının kaynaklara olan mesafesine göre çok fazla değişkenlik gösterebilir. Bununla birlikte, bir bölgenin kirlenme derecesinin anlaşılabilmesi ve kaynak tespitinde katkı sağlayabilmesi amacı ile çalışma sonuçlarının ulusal ve uluslararası benzer çalışmalarla karşılaştırılması önemlidir. Yapılan değerlendirmelerde, örneklenen elementlerin Düzce ili için elde edilen konsantrasyon seviyelerinin, benzer çalışmalara göre nispeten düşük olduğu görülmüştür. İncelenen çalışmaların sonuçlarına göre, iç ortamların trafik, endüstri ve yanma gibi dış ortam kirletici kaynaklarından etkilendiği anlaşılmıştır. Çalışmalarda tespit edilen en önemli iç ortam kirletici kaynaklarının, pişirme, sigara içilmesi, evlerde kullanılan duvar boyaları, zemin kaplamaları ve temizlik malzemeleri gibi ürünlerin olduğu görülmüştür. Ayrıca örneklenen binanın yaşı, bulunduğu kat seviyesi gibi eve ait özelliklerin de iç ortam kirliliğinde etkili olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1’de farklı çalışmalarda ölçülen ev tozu element içeriklerinin grafiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1 incelendiğinde Na, Mg, K, Ca elementlerinin Bolu ilinde yapılan çalışmada en yüksek ortalama konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Bolu ili tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin çok yüksek olduğu bir ilimizdir. Bu nedenle, doğal kaynaklarla ilişkili olan bu elementlerin Bolu ilinde yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Ayrıca bu çalışmada Cr, Co, As ve Se elementleri de diğer çalışmalara göre en yüksek seviyelerdedir. Söz konusu elementler kömür yanmasının belirteci olan elementler olması nedeni ile çalışmada da belirtildiği üzere Bolu ilinin evsel ve endüstriyel yanma işlemlerinde kömür kullanılması ile ilgili olduğu düşünülebilir. Ayrıca, çalışmanın kış mevsiminde gerçekleştirilmesi bu durumu desteklemektedir [88]. Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1’e bakıldığında yüksek element konsantrasyonlarının ölçüldüğü diğer bir çalışmanın Yunanistan’da yapılan çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd ve Pb elementlerinin yüksek

seviyelerde olması bölgede bulunan madencilik faaliyetlerinin etkisine işaret etmektedir [89]. Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1 incelendiğinde İstanbul'da gerçekleştirilen çalışmada da, diğer çalışmalara göre nispeten yüksek Co, Ni, Cu, Zn seviyeleri ölçüldüğü görülmektedir. Bu durum trafik kaynaklı olabileceği gibi örneklenen evlerin iç ortamlarında kullanılan malzemelerle de ilişkili olabilir [90]. Avustralya, Broken Hill şehrinde yapılan çalışmada da diğer çalışmalara kıyasla yüksek element konsantrasyonları ölçülmüştür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1). Örnekleme yapıldığı Broken Hill şehrinde Ag, Pb, Zn metallerinin çıkarılması ve işlenmesi ile ilgili iki adet tesis bulunmaktadır. Tesislerde, madencilik kapsamında çıkarılan cevherler işlenmekte ve depolanmaktadır. Bölgede ölçülen Mn, Zn, As, Pb elementlerinin madencilikle, Ti elementinin jeojenik toprak koşullarıyla, Cu elementinin ise madencilikle ilgili olmayan antropojenik kaynaklarla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Çinko ve Pb metalleri Broken Hill cevher kütlesinin birincil bileşenleridir. Mangan ve As elementleri ise madencilik alanlarından kaynaklanan emisyonlarla ilişkili ikincil kirleticilerdir. Titanyum elementinin ise jeojenik toprak metali olduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık, Cu elementinin yerleşim alanlarıyla ilişkilendirilen antropojenik bir kirletici olduğu, Pb elementinin ise hem endüstriyel kaynaklı hem de boya ve petrol gibi kaynaklarının olabileceği bildirilmiştir. Ev tozunda Mn, Zn, As ve Pb arasında belirlenen yüksek korelasyonlar, Broken Hill'deki hem iç hem de dış ortamlarda bu elementlere bağlı kirliliğe ortak bir kaynağın katkıda bulunduğunu düşündürmektedir [91]. Düzce ilinde ölçülen konsantrasyonlar, Cr, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb elementleri dışında kalan elementler için, diğer çalışmalara göre düşük seviyelerde ölçülmüştür. Bu elementler trafik emisyonlarının belirteci olan elementlerdendir [70]. Bu nedenle, trafik kaynaklı emisyonların ev tozlarının element içeriğine etkisi olduğu düşünülebilir. Söz konusu elementler dışında kalan diğer elementler için diğer çalışmalara göre nispeten düşük konsantrasyonların ölçülmesinin, çalışmamızın büyük kısmının ısınma kaynaklı kirlenmenin daha az hissedildiği bahar aylarında gerçekleştirilmesi ile ilişkili olduğu söylenebilir. Düşük element konsantrasyonlarının ölçüldüğü diğer çalışmalar Nijerya, Ürdün ve Pakistan'da yapılan çalışmalardır (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1) [42],[92],[93]. Bu çalışmalarda da örnekleme ısınma faaliyetlerinin olmadığı dönemlerde gerçekleştirildiği görülmektedir.

Çizelge 4.4. Düzce ili ev tozlarının element içeriklerinin benzer çalışmalar ile karşılaştırılması (mg/kg).

ÜLKE	ŞEHİR	Li	Na	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Zr	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Hg	Pb	KAYNAK		
TÜRKİYE	Düzce	1,8	2193,6	1012,2	4011,2	6497,2	282,0	13,7	93,4	2659,2	2,5	12,3	23,9	237,6	0,2	0,4	37,1	5,8	3,7	0,6	0,8	0,2	73,5	0,02	5,8	Bu Çalışma		
TÜRKİYE	Ankara							23,8	65,9		2,3	32,3	65,7	263,0	4,4	0,6	73,3		1,1		0,4	2,1			27,5	[70]		
TÜRKİYE	Bolu		103719,0	38781,0	10337,0	73369,0	827,0	197,0	254,0	8845,0	30,4	89,0	271,0	752,0	27,0		168,0	83,0					183,0		107,0	[88]		
TÜRKİYE	Ankara			8900,3		17928,0		29,7	91,9	4408,6		79,3	104,5	450,0	2,4						3,5	0,2		0,6	80,8	[94]		
TÜRKİYE	İstanbul							55,0	136,0		5,0	263,0	156,0	832,0										0,8	28,0	[90]		
AVUSTRALYA	Sidney							90,0	220,0			50,9	272,0	1876,0	17,6										299,0	[75]		
NİJERYA	İlorin									36,2		1,0	0,5												0,1	5,9	[42]	
JAPONYA	Tokyo ve Hiroşima							67,8	226,0		4,7	59,6	304,0	920,0			66,8		2,1		1,0	10,1	208,0		57,9	[95]		
PAKİSTAN	Lahor							139,0				0,8	93,1	866,0	6,0		177,0		0,8		4,1	0,2			177,0	[92]		
MALEZYA	Salangor							11,9		4801,0				144,9											0,2	253,5	[96]	
SUUDİ ARABİSTAB BİRLEŞİK KRALLIK	Cidde							46,7	197,0		3,9	32,3	94,1	489,0											0,5	161,0	0,7	[97]
BİRLEŞİK KRALLIK	Birmingham								578,0	9450,0		56,5	339,0	666,0											1,3	181,0	[98]	
KANADA	Toronto							181,0	137,0			36,0	190,0	1910,0											8,4	113,0	169,0	[9]
YUNANİSTAN	Stratoni								1250,0	22900,0			446,0	2720,0											10,0	1660,0	[89]	
AVUSTRALYA	Broken						3868,0		1418,0				197,0	2243,0	41,0											783,0	[91]	
ÇİN	Chengdu								82,7			52,6	190,0	675,0											2,4	123,0	[43]	
İRAN	Ahvaz							63,4	111,4	18123,4		39,8	22,2	158,3	4,9										1,4	22,3	[99]	
NEPAL	Katmandu							29,9				23,9		76,2											8,2	40,6	[100]	
ÜRDÜN	ALKarak						291,0	72,5	238,8			20,8	90,5		2,1										51,9	[93]		



Şekil 4.1. Düzce ili ev tozlarının element içeriklerinin benzer çalışmalar ile grafiksel olarak karşılaştırılması (mg/kg).

Ankara, TÜRKİYE ;

Bu çalışmada, 2019 yılında Ankara’da yer alan Çankaya, Keçiören, Yenimahalle, Mamak, Etimesgut, Sincan, Altındağ, Gölbaşı ve Elmadağ ilçelerindeki toplam 85 adet evden elektrik süpürgesi ile toz örnekleri toplanmıştır. Toplanan toz numunelerinde Zn, Cu, Sr, Mn, Ni, Pb, V, Cr, Sn, As, Co, Sb, Mo, Se ve Cd elementleri analiz edilmiştir. Çalışmada elementlerin olası iç ortam ve dış ortam kirletici kaynakları araştırılarak, tespit edilen kirletici kaynakların ev tozlarındaki element seviyelerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada dış ortam kirletici kaynakları olarak trafik ve endüstriden kaynaklı emisyonların üzerinde durulmuştur. Cu, Zn ve Pb gibi bazı elementlere en büyük atmosferik katkının trafik kaynaklı araç emisyonları olabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, Cr, Cu, Co, Mn, Mo, Pb, Ni, Sb, Sr, V ve Zn seviyelerinin dizel araç egzozları ile ilişkili olabileceği tespit edilmiştir. Zn, Mn, As, Cr ve Cu elementlerinin ise endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr ve Cd elementlerinin trafiğin yoğun olduğu yerlerde yüksek olduğu gözlenmiştir. Toz örneklerinde ölçülen, Sr konsantrasyonlarının yüksek olmasının yakınlarda sanayi ve ana cadde bulunduğunun göstergesi olarak belirtilmiştir. İç ortam kirletici kaynaklarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan değerlendirmelerde, iç ortam tozundaki Pb elementi için, Pb bazlı boyalar ve geçmiş yıllardan günümüze taşınan benzin kaynaklı Pb birikimine vurgu yapılmıştır. Örneklerde ölçülen Pb, Cd ve Zn elementlerinin ana

caddeye yakın evlerde daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerinin boya kaynaklı elementlerden olduğu işaret edilmiştir. Ayrıca, Cd elementinin sigara dumanında da bulunan bir element olduğu belirtilmiştir. Ev mobilyalarında kullanılan paslanmaz çelik malzemelerin Cr kaynağı olabileceğinden söz edilmiştir. Çalışmada, eski evlerde toz miktarının fazla olması nedeniyle bina yaşına bağlı olarak Cr, Cu, Ni ve As elementlerinin yükünde ciddi bir artış olduğu görülmüştür, Pb, Cd ve Zn konsantrasyonlarının da evlerin yaşına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Klima kullanımı, duvar boyası rengi, binada oturanların sigara içme alışkanlıkları ve binada oturanların sayısı gibi iç ortam özelliklerinin, ev tozunun ağır metal seviyelerini doğrudan etkilediği ifade edilmiştir. Ayrıca, Pb seviyeleri ile ana caddeye yakınlık arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Ni, Se ve Mo seviyeleri ile evcil hayvan sahipliği, Ni ve Cd seviyeleri ile ise bina yaşı arasında korelasyon olduğu görülmüştür [70]. Ankara’da gerçekleşen çalışma ile Düzce ilinde yapılan çalışma karşılaştırıldığında Mn, Co, Mo ve Cd elementleri dışında, diğer elementler için Ankara ilinde ölçülen sonuçların daha yüksek olduğu görülmüştür. Ankara’da yapılan çalışmada Mn, Co, Mo ve Cd elementlerinin trafik kaynaklı elementler olduğu belirtilmiştir. Düzce ilinde bu elementlerin daha yüksek seviyede olması ilde trafiğin etkisine dikkat çekmektedir.

Bolu, TÜRKİYE;

Bu çalışmada, Kasım ve Aralık 2017 tarihleri arasında Bolu şehir merkezinde bulunan on altı adet evden mevcut elektrikli süpürgelerden toz numuneleri toplanmıştır. Toplanan numunelerde Al, As, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sn, Sr, Ti, Y, Zn ve Zr elementleri analiz edilmiştir. Çalışmada, evsel ısınma için kömür kullanılması As elementinin kaynağı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, As ve Cr elementlerinin boya ve yapı malzemelerinden kaynaklanabileceği vurgulanmıştır. Nikel elementinin kaynakları olarak, kömürün ve petrol kökenli yakıtların yanması, tarımsal atıkların yakılması, mutfakta paslanmaz çelik kaplarda yemek pişirilmesi, tütün (sigara) kullanılması, imitasyon takıların kullanılması ve aerosol spreylere sıralanmıştır. Çinko elementinin çevresel kaynaklarının araç emisyonları, endüstriyel faaliyetler olduğunu bildirilmiştir. Toz numunelerindeki Zn elementinin, ev içinde sigara içenlerin varlığı ile yüksek oranda ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çinko, araçların yedek parçalarında Zn alaşımı ve galvaniz aksam olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, önemli miktarda Zn, lastiklerin ve araçların diğer parçalarının aşınması nedeniyle sokak tozuna karışmakta ve

evlere pencereler vasıtasıyla taşınmaktadır. Çinko aynı zamanda boyalara pigment maddesi olarak eklenmektedir ve ev tozunda az da olsa bulunduğu gözlenmiştir. Ev içi tozdaki diğer metaller arasında Ni ve Zn'nin %93'ünün dış ortam tozundan ve bunun % 4'ünün otomobil emisyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Çalışmada, ev tozundaki Mn içeriğinin dış mekandan içeri giren toprak parçacıklarından taşındığı tespit edilmiştir. Kalsiyum, toprağın ana bileşenlerinden biri olarak bilinir. Ayrıca, çalışmada Ca'nın gıdadan kozmetiğe kadar pek çok tüketici ürününde kullanıldığı vurgulanmıştır. Ayrıca, duvar tozunun da (kaplamalar ve inşaat malzemeleri) bir Ca kaynağı olabileceği belirtilmiştir. Baryumun boyalarda renkli pigmentler olarak kullanıldığı ve Sr'un ise ev içinde kullanılan sprey ürünlerden iç ortam havasına karışabileceği işaret edilmiştir. Sodyum kaynağı olarak pişirme sırasında kullanılan tuzdan söz edilmiştir. Kurşun elementinin boyalarda kullanılan renkli pigmentlerden ve araç emisyonlarından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Kobalt elementi için net bir kaynak belirtilmemekle birlikte antropojenik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir [88]. Yapılan değerlendirme sonucunda, Bolu'da yapılan çalışmada analiz edilen element konsantrasyonlarının, çalışmamızda ölçülen element konsantrasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

Ankara, TÜRKİYE (2015);

Bu çalışmada 2012 yılında Ankara' nın farklı bölgelerinde bulunan evlerden elektrik süpürgesinde toplanan toplam 45 adet toz örneği analiz edilerek Ni, Pb, Fe, Zn, Cd, V, As, Cr, Cu, Hg, Mg, Mn, Sb ve Sn elementlerinin konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmada, Hg, V, Ni, As, Cd elementlerinin trafik kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Kurşun, As ve Zn elementlerinin evlerin boya türünden kaynaklanan elementler olduğu anlaşılmıştır. Kömür yanması ile ilişkili elementlerin Hg, Cd, V, As ve Cr elementleri olduğuna işaret edilmiştir. Duvar boya türlerinin ev içi tozlarında ölçülen As, Cd, Hg ve Zn konsantrasyonlarını etkilediği belirtilirken, Cu, Cd, Mn, Mg ve Zn elementlerinin konsantrasyonlarına önemli miktarda etki eden faktörlerden birinin ev içinde sigara içilmesi olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada, Ni elementinin konsantrasyon seviyelerinin nispeten yüksek olmasının, Ankara toprağındaki Ni elementinin yüksek olmasından kaynaklı olabileceği belirtilmiştir. Deterjan kullanılan evlerde Cu, Hg ve Sn miktarı daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip olan bir evin yakınında kamyon garajı bulunması, evin etrafında sobalı evlerin bulunması ve evin içinde sigara içilmesi ev tozundaki element konsantrasyonlarını arttırdığı vurgulanmıştır.

Örneklenen evlerden en düşük element konsantrasyonlarına sahip evin, etrafının açık olduğu, civarında herhangi bir kirlenici faaliyette bulunulan işletme olmadığı, evdeki eşyaların yeni olduğu ve evde sigara içilmediği belirtilmiştir [94]. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Ankara'da yapılan çalışmadaki analiz edilen element konsantrasyonlarının Mn ve Sb elementi dışındaki diğer elementlerinin Düzce ilinde ölçülen element konsantrasyonlarından yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

İstanbul, TÜRKİYE;

Bu çalışma, İstanbul'da 2012 yılı Şubat ayında 19 adet konutun elektrik süpürgelerinden toz örnekleri alınarak Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb elementleri analiz edilmiştir. Çalışmada, ev tozlarında ölçülen element konsantrasyonlarının seviyelerine, dış ortam kaynaklarının önemli etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Bu kaynaklar, trafik yoğunluğu sebebiyle taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, endüstriyel tesislerden kaynaklanan emisyonlar ve kentleşmiş alanlardaki farklı antropojenik emisyonlar olarak sıralanmıştır. İç ortam kaynaklarından biri olarak da yüzeylerde kullanılan boyaların Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyon seviyelerinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir [90]. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, İstanbul'da yapılan çalışmada analiz edilen element konsantrasyonlarının, çalışmamızda elde edilen seviyelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sidney, AVUSTRALYA;

Bu çalışma, Avustralya'nın Sidney kentindeki 224 evden alınan ev tozları analiz edilerek As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Sidney' in şehir içi bölgelerinde Pb elementinin seviyesinin daha yüksek olması otomobillerin kurşunlu petrol tüketiminden ve evlerde kullanılan kurşunlu boyalardan kaynaklandığı ve eski evlerin yeni evlere göre önemli ölçüde daha fazla kurşunla kirlendiği tespit edilmiştir. Krom, Cu ve Ni elementlerinin evin tadilatı sırasında kullanılan malzemelerden ve farklı pişirme tekniklerinde kullanılan yakıtlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Arsenik ve Ni'in iç ortamlarda bulunması, sigara dumanı, yakıt tüketimi ve aerosol spreylere kullanılan kimyasallardan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Ayrıca deterjanlar, boyalar, pigmentler, kauçuk ve plastik ev aletleri ve bilgisayarlar gibi ürünlerin de iç ortam tozunda eser metallerin önemli ölçüde artmasına neden olan kaynaklar olduğu belirtilmiştir. Arsenik ve Pb elementlerinin bina yaşı arttıkça konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir [75]. Yapılan değerlendirme sonucunda

Sidney’de yapılan çalışmada analiz edilen element konsantrasyonlarının, çalışmamızda ölçülen element konsantrasyonlarından yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Ilorin, NİJERYA;

Bu çalışmada, Nijerya'nın Kwara Eyaleti'nin başkenti Ilorin' de 1998 yılının Haziran ve Eylül ayları arasında 18 farklı konumda bulunan evin süpürülmesiyle alınan iç ortam tozları Fe, Ni, Cu, Cd ve Pb elementlerinin seviyelerinin belirlenebilmesi için analiz edilmiştir. Çalışmada, Pb, Fe, Cd, Fe ve Ni elementlerinin otomobillerden kaynaklanan emisyonlar ve duvardan dökülen boyalardan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Ayrıca, ev tozlarındaki ağır metal seviyesinin evin konumu ve bölgedeki antropojenik faaliyetlerinin yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olduğu tespit edilmiştir [42]. Çalışmamızda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, Nijerya’da yapılan çalışmada Pb elementi hariç daha düşük element konsantrasyonları ölçüldüğü görülmektedir.

Hiroşima, JAPONYA;

Bu çalışmada, 2006–2012 yılları arasında Japonya'da 100 konuttan elektrikli süpürge ile toplanan ev tozlarındaki Al, Ba, Ca, Cr, Cd, Cu, Fe, Mo, Sb, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, V ve Zn elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada, konutların dışından veya içeriden gelen boya parçacıklarının ve kirlenmiş toprak parçacıklarının dışarıdan içeri girmesiyle ev tozundaki Pb elementinin konsantrasyon seviyelerinin arttırdığı belirtilerek, Pb elementinin antropojenik kirlenme kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Kurşun, Zn veya Cu'ın trafik ve atık yakma kaynaklı olduğu ifade edilmiştir. Evlerde kullanılan plastik oyuncakların, metal takıların Pb ve Sb elementlerinin kaynakları olduğu belirtilmiştir. Alüminyum, Fe, Mn elementlerinin ev tozlarına topraktan geldiği tespit edilmiştir. Lehim, plastik ve metallerin evlerdeki Sb ve Sn elementlerinin kaynakları olabileceği belirtilmiştir. Krom, Mo ve Ni elementleri paslanmaz çeliğin ana bileşenleri olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle paslanmaz çelik kalıntılarının ev tozunun ortak bir bileşeni olduğu tahmin edilmektedir [95]. Yapılan değerlendirme sonucunda, Japonya’da yapılan çalışmada elde edilen sonuçların, Mo elementi dışındaki elementler için Düzce’de ölçülen sonuçlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Lahor, PAKİSTAN;

Çalışmada, Pakistan’ın Lahor kentinde 2018 yılı ağustos ayında 16 konuttan toz numuneleri küçük plastik fırça yardımıyla filtre kağıdı üzerine toplanmıştır. Toz numunelerindeki As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn , Sr, V ve Zn elementlerinin analizleri

yapılmıştır. Şehirde metal içeren ürünler üreten küçük sanayi tesisleri, taşıt ve elektronik temelli atölyeler ve yedek parça pazarları bulunmaktadır. Yerleşim bölgesi, yol kenarında sanayinin ve trafiğin yoğun olduğu bölgededir. Çalışmada, Zn elementinin yüksek seviyelerde ölçülmesinin Fe, Al ve diğer metallerle ilgili endüstrilerin etkisini gösterdiği belirtilmiştir. Kurşun elementini kaynağı olarak yakıtların yanması, endüstri ve trafik sıralanmaktadır. Öte yandan, kurşun arsenat içeren pestisitler, Pb piller ve boyaların kullanımının da yüksek kurşun maruziyetinin kaynağı olabileceği belirtilmiştir. Şarj edilebilir pillerin, plastik oyuncakların (anaokulu ve oyun grupları için), boya pigmentlerinin (boyama faaliyetleri), gübre ve böcek ilaçlarının (oyun alanlarında) aşırı kullanımının Cd ve Zn'nin kaynakları olabileceği vurgulanmıştır. Çinkonun metalik malzemelerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Kadmiyum elementinin kaynağı olarak, PVC, piller, kaplama, boya ve gübre (kaya fosfat) üretim endüstrileri gibi endüstriyel faaliyetler sıralanmıştır. Stronsiyum, Cu ve Ni elementlerinin kaynakları olarak deri endüstrisi, dökümhaneler, cam endüstrisi, ses cihazları imalatı gibi çeşitli alanlarda farklı kimyasalların ve tuzların kullanılması belirtilmiştir [92]. Yapılan değerlendirme sonucunda Pakistan'da yapılan çalışmada analiz edilen elementlerden Sb elementi dışındaki diğer elementlerin konsantrasyon seviyelerinin, çalışmamızda elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Salangor, MALEZYA;

Bu çalışmada, Malezya'nın Salangor kentindeki 10 anaokulunda 2009 yılı eylül ve aralık ayları arasında toplanan numunelerde Pb, Zn, Cd, Fe ve Cr ağır metallerinin düzeyleri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, bölgede trafik yoğunluğunun olması ve küçük sanayi tesislerinin bulunması nedeni ile Pb elementinin konsantrasyonunun nispeten yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Çalışmada, Pb elementinin bir diğer kaynağı olarak evlerdeki duvar boyaları belirtilmiştir. Kadmiyum elementinin ise otomobil yağları, eski lastikler ve bina içindeki boyalardan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çinko elementinin lastiklerden, motor yağlarından, motorlu taşıt frenlerinin kullanımından, tuğla, boyalı ve boyasız ahşap ve beton gibi çeşitli bina kaplama malzemelerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ayrıca Zn, Cd ve Cr miktarına iç ortamlarda kullanılan inşaat malzemelerinin ve dış ortam kaynaklarının etki ettiği belirlenmiştir [96]. Salangor'da yapılan çalışmada ölçülen element konsantrasyonlarının, çalışmamızda elde edilen sonuçlardan yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

Cidde, SUUDİ ARABİSTAN;

Çalışmada, kentsel yerleşim ortamlarında seçilen eser elementlerin profilini incelemek için Cidde'nin farklı konumlarında bulunan 20 evden elektrik süpürgesi torbalarından alınan toz örnekleri analiz edilmiştir. Çalışmada Zn elementi için, kentte gerçekleşen madencilik faaliyetleri, Zn üretim tesisleri, pirinç üretimi, atıkların yakılması, kömür ve petrol ürünlerinin yakılması, demir, çelik endüstrisi gibi Zn içeren hammaddelerin işlenmesi dış ortam kaynakları olarak sıralanmaktadır. Sigara içilmesi ve iç ortamlarda kullanılan kâğıtlar, boyalar ve halılar, galvanizli çatı Mn ve Zn elementlerinin iç ortam kaynakları olarak tanımlanmıştır. Kadmiyum ve Cu gibi ağır metallerin ana kaynağı olarak motorin ve benzin gibi yakıtlar, araçlarda kullanılan yağlama yağı, motor parçaları, lastik aşınması, fren emisyonları kaynak olarak gösterilmektedir. Bu nedenle, özellikle yüksek yoğunluklu trafiğin olduğu alanlardan gelen dış ortam tozunun iç ortamlara taşınması en önemli iç ortam kaynağı olarak gösterilmektedir. Çalışmada, Cr, Cd, Cu, Zn, Se ve Ba elementlerinin konsantrasyonlarının yüksek olduğu evlerin trafiğin yoğun olduğu bölgelerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, Cr, Ni, Cu ve Ba elementlerinin eski binalardan alınan toz numunelerinde daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada havasında bulunan ağır metallerin hem doğal hem de antropojenik kaynakları olduğu ifade edilerek, endüstriyel alanlara yakın konumlarda bulunan iç ortamlardan alınan tozlarda ağır metal konsantrasyonlarının nispeten daha yüksek ölçülmesinin, endüstriyel faaliyetlerin çevreye ağır metal salınımına katkısını gösteren bir işaret olduğu bildirilmiştir [97]. Yapılan değerlendirme sonucunda Suudi Arabistan'da yapılan çalışmada analiz edilen elementlerden Cd ve Pb elementleri dışındaki elementlerin, Düzce'de ölçülen element konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Birmingham, BİRLEŞİK KRALLIK;

Çalışmada, Birleşik Krallık'ın dört bölgesinde rastgele seçilen 32 evden Ekim-Kasım 2005 tarihleri arasında özellikle Birmingham (orta İngiltere, nüfus 1 milyon) ve Plymouth (GB İngiltere, nüfus 250.000) şehir merkezlerine 5 km mesafeden ve bu şehirlere (sırasıyla West Midlands ve West Devon) 50 km mesafedeki kırsal alanlardan torbasız elektrikli süpürge kullanılarak toz numuneleri toplanmıştır. Alınan toz numunelerinde Al, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn ve Zn elementlerinin konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. İncelenen çalışmada, ev tozunun, bahçe toprağı, yol tozu, insan saçı ve derisi, halı ve giysi

lifleri, boya parçacıkları ve mantarlar dahil olmak üzere birçok iç ve dış ortam kaynağı olduğu ifade edilmiştir. Trafik emisyonları ve evlerde kullanılan boyaların ev tozundaki Pb, Cr ve Zn konsantrasyonlarına etki ettiği belirlenmiştir [98]. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Birleşik Krallık'ta yapılan çalışmada analiz edilen element konsantrasyonlarının, çalışmamızda ölçülen konsantrasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Toronto, KANADA;

Çalışmada, Kanada'nın Toronto Bölgesi'nde Ocak-Nisan 2012 ve Ocak-Nisan 2013 tarihlerinde 67 evde, potansiyel toksik elementlerden Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin iç ortamlarda biriken tozlardaki konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Element konsantrasyonlarının yüksek ölçüldüğü evlerin genellikle şehir merkezine yakın konumlarda olduğu bildirilmiştir. Yüksek Ba ve Pb seviyeleri çoğunlukla daha yüksek trafik yoğunluğunun olduğu yerlerde ölçülmüştür. İç ortam Pb kaynağı olarak, iç ortamlarda kullanılan duvar boyaları gösterilmiştir. Çinko bileşiklerinin, piller için elektrot malzemesi olarak, boyalarda beyaz pigment olarak, ahşap koruyucu olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Bu kaynaklardan birçoğu iç ortamlarda, doğrudan (örn. boyalar) veya iç ortamlarda bulunan cihazların yapımında kullanılan malzemeler olarak bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, çalışmada, Cd, Cu, Pb ve Zn metalleri için önemli antropojenik kirlilik kaynaklarının bulunduğu tespit edilmiştir [9]. Yapılan değerlendirme sonucunda, Kanada'da yapılan çalışmada analiz edilen element konsantrasyonlarının, Düzce'de ölçülen element konsantrasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Stratoni, YUNANİSTAN;

Çalışmada, belirlenen 30 evde kullanılan elektrikli süpürgelerin torbalarından toz örnekleri alınmıştır. Stratoni bölgesinde yerleşim yerlerine yakın konumda aktif sülfür madenciliği ve işlenmesi alanında faaliyet gösteren bir madencilik şirketi bulunmaktadır. Bu durumun, bölgeden alınan toz örneklerinde Pb, Zn, Cu, Cd, Fe, ve Mn elementlerinin konsantrasyon seviyelerinin yüksek çıkmasına neden olduğu bildirilmiştir. Bu tesisten çıkan tozların hava yoluyla taşınarak yerleşim alanı civarında toprakta ve ev tozunda biriktiği düşünülmektedir. Bölgede bulunan konutların çoğunun bir veya iki/üç katlı müstakil evlerden oluşmasının, ev tozlarında eser elementlerin yüksek seviyelerde bulunmasına sebep olduğu ifade edilmiştir [89]. Yapılan değerlendirme sonucunda

Yunanistan'da yapılan çalışmada ölçülen element konsantrasyonlarının, Düzce ilinde ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek seviyelerde olduğu anlaşılmıştır.

Broken, AVUSTRALYA ;

Bu çalışmada, 2018 yılı ilkbahar mevsiminde Broken Hill'deki 62 evden elektrikli süpürgelerden alınan toz örnekleri analiz edilmiştir. Büyük endüstriyel faaliyetlerin bulunduğu Broken Hill şehrinde Ag, Pb, Zn metallerinin çıkarılması ve işlenmesi ile ilgili iki adet tesis bulunmaktadır. Tesislerde, madencilik kapsamında çıkarılan cevherler, işlenmekte ve depolanmaktadır. Bölgede ölçülen, Mn, Zn, As, Pb elementlerinin madencilikle, Ti elementinin jeojenik toprak koşullarıyla, Cu elementinin ise madencilikle ilgili olmayan antropojenik kaynaklarla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Çinko ve Pb metalleri Broken Hill cevher kütlesinin birincil bileşenleridir. Mangan ve As elementleri ise madencilik alanlarından kaynaklanan emisyonlarla ilişkili ikincil kirleticilerdir. Titanyum elementinin ise jeojenik toprak metali olduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık, Cu elementinin yerleşim alanlarıyla ilişkilendirilen antropojenik bir kirletici olduğu, Pb elementinin ise hem endüstriyel kaynaklı hem de boya ve petrol gibi kaynaklarının olabileceği bildirilmiştir. Ev tozunda Mn, Zn, As ve Pb arasında belirlenen yüksek korelasyonlar, Broken Hill'deki hem iç hem de dış ortamdaki bu elementlere bağlı kirliliğe ortak bir kaynağın katkıda bulunduğunu düşündürmektedir [91]. Yapılan değerlendirme sonucunda, Avustralya'da yapılan çalışmada analiz edilen elementlerin konsantrasyonlarının, Düzce'de ölçülen element konsantrasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Chengdu, ÇİN

Çalışmada, Çin'in Chengdu kentindeki kentsel alanlarda bulunan evlerden, Kasım 2014-Temmuz 2015 tarihleri arasında ev tozlarındaki Cr, Cd, Pb, Zn, Cu ve Ni ağır metallerinin konsantrasyon seviyelerinin belirlenebilmesi için şehrin 6 farklı bölgesinde bulunan 90 evden toz örnekleri toplanmıştır. Çalışmada, Pb elementinin trafik emisyonlarından kaynaklı olduğu görülmüştür. Bakır elementinin, motor parçalarının aşınmasından, yakıt ve yağ sızıntısından kaynaklı, Zn elementinin motorlu araçlarda (lastikler, araç fren balataları, metalik parçalar dahil) ve galvanizli yol ekipmanlarında kullanılan bir element olması nedeni ile lastik aşınması, fren aşınması, otomobil parçalarının ve yol ekipmanlarının korozyonu kaynaklı, Ni elementinin ise arabalardaki kaplama alaşımlarından ve yollardaki sarı renkli boyadan kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir. Ev

tozlarındaki Cd konsantrasyonlarının, inşaat malzemeleri, gübre uygulamaları, trafikte lastik ve akülerin aşınması gibi nedenlerle kısmen dış ortamdan kaynaklanabileceği bildirilmiştir. Çalışmada, Cr elementinin kaynağının çoğunlukla doğal kaynaklar olduğu, potansiyel Cu kaynakları olarak ise yakıt ve yağ sızıntısının bildirildiği ifade edilmiştir. Ayrıca eski evlerde, genellikle deforme olmuş pencere ve kapılar ile zeminlerde çatlakların bulunmasının ev tozunda, dış ortam kaynaklı ağır metallerin birikmesine neden olabileceği bildirilmiştir. Sigarada bulunan ağır metaller, yanma sırasında iç ortama salınabilir, dolayısıyla sigara kullanılması, ev tozlarındaki ağır metallerin en önemli kaynaklarından biridir. Çalışmada, iç ortamlarda sigara içilmesi, ev tozunda özellikle Pb, Zn ve Cd elementlerinin zenginleşmesi açısından önemli bir faktör olarak ifade edilmiştir. Kadmiyum elementi, iç ortamlardaki plastik yapı malzemelerine ve plastik bileşenlere katalizör, stabilizatör veya renklendirici olarak eklenmektedir, dolayısıyla evlerdeki eski plastik ürünler bu element için potansiyel bir kaynak olarak tanımlanmıştır. Duvar boyalarının, Pb ve Cu elementleri için kaynak olabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada temel bileşen analizi yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmede, ev tozundaki ağır metallerin kısmen alaşımların, eski yapı malzemelerinin ve boyanın korozyonundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca, ev tozundaki element konsantrasyonlarının, sigara içilmesinden ve konutların kat seviyesinden etkilendiği anlaşılmıştır [43]. Çalışmamız ile karşılaştırıldığında, incelenen çalışmada Pb, Zn, Cu, Cr, Cd ve Ni elementlerinin konsantrasyon seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ahvaz, İRAN;

Çalışmada, İran'nın Ahvaz şehrinde, 2017 yılında ilkbahar ve yaz aylarında ev tozundaki Zn, Pb, Ni, Mn, Fe, Cu, ve Cd elementlerinin konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi için şehrin farklı bölgelerinden 30 ev tozu örneği toplanmıştır. Ahvaz'da çok sayıda petrol rafinerisi, büyük metal eritme tesisi ve çeşitli petro-kimya endüstrisi bulunmaktadır. Bu durum, ciddi ekolojik ve insan sağlığı risklerine yol açan çok yüksek kirlilik seviyelerine neden olmaktadır. Çalışmada, Kentsel alanlarda fosil yakıtların yanması ve trafik kaynaklı kirliliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kadmiyum elementinin hem kentsel kirleticilerden hem de sanayiden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Çinko elementinin çoğunlukla taşıt lastiklerinin yırtılma ve aşınmasından, taşıtlarda kullanılan yağlama yağlarından, vulkanizasyon işlemleri ve galvanizli araç parçalarının korozyonu gibi süreçlerden kaynaklandığı bildirilmiştir. Kurşun elementinin, kentsel atmosfere esas

olarak benzin katkı maddeleri, boyalar ve pillerin yanı sıra metalurjik faaliyetler ve antimon-kurşun tel üretiminden kaynaklı olarak salındığı ifade edilmiştir. Motorlu araçlardaki benzin katkı maddelerinden kaynaklanan Pb emisyonlarının, İran şehirlerindeki hava kirliliğinin en önemli nedenlerinde biri olmayı sürdürdüğü ifade edilmiştir. Kentsel tozdaki Cu, Cr ve Ni elementlerinin kaynaklarının otomobil lastiklerinin aşınması, araçlarda motor ve metal aşınmaları ve fren balatalarıyla ilgili olduğu tespit edilmiştir. Krom elementinin fosil yakıtların, kömürün ve petrolün yakılması yoluyla, Ni elementinin ise çoğunlukla kabuksal bir element olmasına rağmen metalurjik işlemlerden, petrol rafinerilerinden ve petrokimya üretiminden atmosfere yayıldığı bildirilmiştir. Antropojenik ve endüstriyel faaliyetlerle ilgili element konsantrasyonlarının Ahvaz'da nüfus ve büyük endüstriyel faaliyetler nedeniyle önemli ölçüde yüksek olduğu tespit edilmiştir [99]. Yapılan değerlendirme sonucunda, çalışmada tespit edilen element konsantrasyonlarının, Cu ve Zn elementleri dışında Düzce ilinde ölçülen element konsantrasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu anlaşılmıştır.

Katmandu, NEPAL;

Çalışmada, Katmandu metropol bölgesindeki yedi ana lokasyonda bulunan yol kenarlarında konumlu 40 evden ekim-aralık aylarında toz örnekleri toplanmıştır. Çalışmada analiz edilen eser elementler Zn, Pb, Ni, Cr ve Cd elementleridir. Katmandu şehrinde örneklenen tozlarda eser element konsantrasyonlarının, hızlı kentleşmeye bağlı olarak artan araç emisyonları ve diğer antropojenik kaynaklarla ilişkili olabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada, ev tozlarında ölçülen yüksek seviyelerde Zn varlığı trafik kaynaklı olarak tanımlanmıştır. Katmandu metropol bölgesindeki evlerin Cd'dan ciddi şekilde etkilendiği tespit edilmiştir. Çalışma alanında herhangi bir sanayi kuşağı bulunmadığından, ev tozu örneklerinde analiz edilen ağır metallerin neredeyse tamamen yerel trafikten ve diğer ev aktivitelerinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Tozlardaki Ni elementinin ana kaynağı olarak dizel yakıtların yanması gösterilmiştir. Ağır taşıt sınıfındaki araçlar, üç tekerlekli araçlar, traktörler ve su pompalarında dizelin yaygın kullanımının, konsantrasyon seviyelerinin artmasına katkıda bulunduğu ifade edilmiştir. Tozlardaki Cd'un yaygın antropojenik kaynaklarının, metal kaplama, metallerle güçlendirilmiş lastik ve lastik yanması olduğu tespit edilmiştir. Sokak tozundaki Cr elementinin de bazı motorlu taşıt parçalarının Cr kaplamasıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Kurşun çevresel metal kirliliğinde en çok endişe duyulan elementtir. Çevresel Pb varlığının, kurşunlu benzin kullanan araç egzozlarından çıkan emisyonlarla

doğrudan ilişkili olabileceği ifade edilmiştir. Kurşun elementinin atmosferde kalma süresi 150 yıl gibi oldukça yüksek bir süre olarak bildirilmiştir. Dolayısıyla, Katmandu'da kurşunlu benzin kullanımının aşamalı olarak durdurulmasından sonra bile, kurşunlu benzinin çevrede uzun yıllar boyunca varlığını sürdürmesinin olası olduğu düşünülmektedir [100]. Yapılan değerlendirmede, Nepal'de yapılan çalışmada Zn elementi dışında diğer elementlerin konsantrasyon seviyelerinin, çalışmamızda belirlenen sonuçlara göre daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

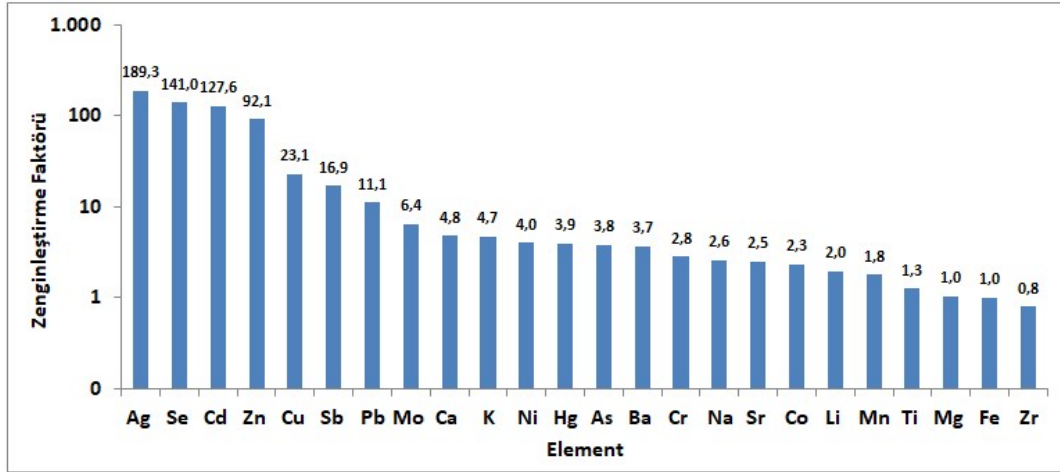
Al-Karak, ÜRDÜN;

Çalışmada, Ürdün'ün Al-Karak şehrinde Temmuz-Ekim 2013 tarihlerinde konutlardan alınan iç ortam toz örneklerinde Cr, Cu, Ni, Ti, Mn, Pb ve As ağır metallerinin konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Kurşun elementinin, kurşunlu boya, piller vb. gibi ev eşyalarında yaygın olarak bulunan bir metal olmasından kaynaklı ev tozunda yüksek seviyelerde bulunabileceği bildirilmiştir. Ev mobilyalarının olası iç ortam Cr kaynağı olabileceği ifade edilmiştir. Çalışma alanındaki en olası Mn kaynağının, fosil yakıt yanması olduğu tespit edilmiştir. Titanyum elementinin ise iç ortamlarda bulunan boyalardan, yakıtların yanmasından ve fren aşınmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Tozlardaki Cu, Cr ve Ni elementlerinin kaynakları olarak, araba parçaları, lastik aşınması, taşıtların korozyonu, motor aşınması ve fren tozu gibi taşıt emisyonları bildirilmiştir. Arsenik elementinin, araç egzozunun yanı sıra ev tipi yakıtların yakılmasından da kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Çalışma alanında az sayıda küçük sanayi tesisi bulunmaktadır. Bu nedenle yüksek metal konsantrasyonlarının ana kaynağının çoğunlukla trafik olduğu ve az miktarlarda da diğer antropojenik kaynaklardan gelebileceği tespit edilmiştir [93]. Ürdün'de yapılan çalışmada, Cr elementi dışında kalan diğer elementlerin konsantrasyon seviyelerinin, çalışmamızda ölçülen sonuçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.3. ELEMENTLERİN ZENGİNLEŞTİRME FAKTÖRLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada, eser elementlerin, yer kabuğu bileşimine göre çeşitli kaynakların etkisi ile ne ölçüde zenginleştiğini belirlemek amacı ile EF değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.2' de

çalışmamızda ev tozu örneklerinde ölçülen her bir elementin hesaplanan ortalama EF değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.2. Elementlerin ortalama zenginleşme faktörleri sıralaması.

Çizelge 4.2 incelendiğinde Li, Mn, Ti, Mg, Fe ve Zr elementlerinin doğal kaynaklardan gelen elementler; Ag, Se, Cd, Zn, Cu, Sb, Pb, Mo, Ca, K, Ni, Hg, As, Ba, Cr, Na, Sr ve Co elementlerinin ise antropojenik kaynaklı olarak nitelendirilebilecek seviyelerde zenginleşmiş elementler olduğu görülmektedir. Lityum, Mn, Ti, Mg, Fe ve Zr elementlerinin ($EF \leq 2$) minimum zenginleşme değerlerinin, Ca, K, Ni, Hg, As, Ba, Cr, Na, Sr ve Co elementlerinin ($2 \leq EF < 5$) orta dereceli zenginleşme değerlerinin, Mo, Pb ve Sb elementlerinin ($5 \leq EF < 20$) önemli derecede zenginleşme değerlerinin, Cu elementinin ($20 \leq EF < 40$) çok yüksek miktarda zenginleşme değerlerinin, Ag, Se, Cd ve Zn elementlerinin ($EF \geq 40$) ise aşırı miktarda zenginleşme değerlerinin olduğu belirlenmiştir.

Zenginleşme derecesi minimum olan Fe ve Mn elementleri yer kabuğunda yer alan elementlerdir [88],[95]. Bu elementlerin örneklenen ev tozlarına çevresel topraktan geldiği söylenebilir. Ti elementi boya, yakıt yanması ve fren aşınmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir [93]. Ancak çalışmada Ti elementi için hesaplanan EF değerleri bu element için antropojenik kirlenmenin etkili olmadığını göstermektedir.

Şekil 4.2 incelendiğinde ortalama EF değeri en yüksek olan elementin Ag elementi olduğu görülmektedir. İç ortamlarda ölçülen en düşük konsantrasyon seviyeleri Ag elementine ait olmasına rağmen EF değeri en yüksek hesaplanan elementin Ag elementi olması bu elementin yer kabuğunun doğal bileşiminde oldukça düşük seviyelerde bulunması ile ilişkilidir. Hesaplanan EF dereceleri, yüksek antropojenik kirlenme

seviyelerinde olan Se ve Cd elementlerinin ev tozundaki en önemli kaynaklarının duvar boyası ve kömür yanması olduğu tespit edilmiştir [70]. Kadmiyum elementi çeşitli endüstriyel emisyonlardan ve trafikten kaynaklanabilmektedir [101],[102]. Kadmiyum elementi, inşaat malzemeleri, elektrik pilleri, elektro kaplama ve kaplamaların aşınmasıyla da ilişkilidir. Bu elementin iç ortam kaynaklarından birinin de sigara dumanı olduğu bilinmektedir [101]. Bu nedenle çalışmada, ev tozlarında ölçülen Se ve Cd elementlerinin hem iç ortam hem de dış ortam kaynaklarından etkilendiği söylenebilir.

Çinko, Cu ve Ni elementleri lastik ve fren balatası aşınması ve metalik bileşenlerin korozyonu gibi nedenlerle taşıtlardan kaynaklanabilmektedir. Cu elementinin iç ortam kaynakları arasında sigara içilmesi de yer almaktadır. Çinko elementinin, iç ortam kaynaklarının başlıcaları, inşaat malzemeleri, temizlik ve hijyen ürünleri, bilgisayarlar ve yazıcılar olarak sıralanmaktadır [101],[103]. Nikel elementinin, kömür ve akaryakıt yanması, tarımsal atıkların yakılması, metalurjik işlemler, petrol rafinerileri gibi dış ortam kaynaklarının yanında, mutfakta paslanmaz çelik kapların yemek pişirme için kullanımı, sigara içilmesi, imitasyon mücevherler ve aerosol spreylere kullanılması gibi iç ortam kaynaklarının da olduğu tespit edilmiştir [88],[99]. Nikel, Cr ve Fe metalurji endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta ve yüksek sıcaklıkta pişirme sırasında paslanmaz çelik tencerelerden veya krom alaşımli pişiricilerden salınabilmektedir [104]. Krom elementinin iç ortam kaynakları arasında boya pigmentleri ve yapı malzemeleri de bulunmaktadır [88],[102]. Bu nedenle Zn, Cu, Ni ve Cr elementlerinin ev tozu örneklerinde yüksek seviyelerde EF değerlerinin hesaplanmasında hem iç ortam hem de dış ortam kaynaklarının etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Antimon elementi fosil yakıtların yanması ile ilişki elementler arasındadır [56]. Bu elementin, ev tozu örnekleri için yüksek EF değerlerinin hesaplanması yanma emisyonlarına işaret etmektedir.

Kurşun elementi kömür yanması, yakıt ve yağ kalıntıları, kurşun içeren boyalar ve sigara içilmesi yoluyla ev tozlarına karışabilmektedir [71],[101]. Molibden elementinin dış ortam kaynakları fosil yakıtların yanması, iç ortam kaynakları ise mobilyalar olarak belirlenmiştir [70],[105]. Çalışmada, ev tozu örneklerinde Pb ve Mo elementinin de yüksek EF değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kalsiyum elementi, doğal toprakların ana bileşenlerinden biri olarak bilinir. Kalsiyum elementinin, gıdadan kozmetiğe kadar pek çok üründe kullanıldığı da tespit edilmiştir

[55],[69],[88]. Kalsiyum elementinin ev tozları için en önemli kaynağının çevresel toprak taşınımı olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, EF değerlerinin yüksek olması antropojenik kirlenmeye işaret etmektedir.

Çalışmada, EF değerlerine göre zenginleşme belirlenen K elementi; bitki büyümesi için gerekli bir besindir. Bitki büyümesi için tarımsal üretimde verim kayıplarını önlemek için toprağa potasyumlu gübre ilave edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, K bakımından zengin gübreler toprak iyileştirme amacıyla toprağa doğrudan uygulanmaktadır [92]. Bu elementin başka bir kaynağı ise kömür ve biyokütle yanmasıdır [107]. Bu nedenle çalışmada bu elementin tarımsal amaçlı gübre kullanımı ve yanma faaliyetleri sonucunda atmosfere salındığı ve buradan ev tozuna taşındığı düşünülmektedir.

Civa, elementi kömür yanması ile ilişkili elementlerdendir [94]. Bu nedenle, yüksek EF seviyelerinin bu kaynak ile ilişkili olduğu düşünülebilir.

Zenginleştirme faktörü değerlerine göre antropojenik kirlenmenin olduğu anlaşılan As elementi öncelikle fosil yakıtların yakılmasından, trafik, tarımsal amaçlı pestisit ve gübre kullanımından kaynaklanabilmektedir. Arsenik, elementi dış ortam kaynaklarının yanı sıra, iç ortamlarda gerçekleşen ısınma ve pişirme faaliyetleri sırasında iç ortamlarda kullanılan yakıtlardan, duvar boyalarından ve sigara dumanından da kaynaklanabilmektedir [70],[93],[101].

Trafikten atmosfere içerisinde Ba elementinin de yer aldığı çok çeşitli eser element emisyonları salınmaktadır [56]. Baryum elementi için, ev tozu örnekleri için orta derecede EF değerlerinin hesaplanması trafik emisyonlarının etkisine işaret etmektedir.

Stronsiyum, elementinin kaynakları deri endüstrisi, dökümhaneler, cam endüstrisi, ses cihazları imalatı sırasında farklı kimyasalların ve tuzların kullanılması olarak tanımlanmaktadır [92]. Stronsiyum, elementi için ev tozundaki en önemli kaynakların duvar boyası ve kömür yanması olduğu da tespit edilmiştir [70]. Kobalt elementi trafik ve yanmadan kaynaklanmaktadır [17]. Örneklenen ev tozlarında nispeten düşük EF değerleri tespit edilmiş olmakla birlikte, Sr ve Co elementleri için kirlenme seviyeleri antropojenik kaynakların etkisini göstermektedir.

4.4. ELEMENTLERİN KOLERASYON ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada, iç ortamlardan alınan toz örneklerinde ölçülen elementlerin birbirleri arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek ve kaynak tespitine katkı sağlamak amacı ile pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren korelasyon katsayıları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde K, Cd, Pb ve Zn elementleri arasında elementlerinin birbirleri ile anlamlı ilişkiler gösterdiği belirlenmiştir (pearson korelasyon katsayıları 0,79-0,88 $p<0,01$). K, Zn, Cd ve Pb elementleri evlerde kömür ve biyokütle yanması ile ilişkili elementlerdir [107]. Ev tozu örneklerinde bu elementler arasında yüksek korelasyonların olması yanma kaynağına işaret etmektedir. Bu elementler, sigara dumanından ya da duvar boyası ve yapı malzemelerinden de kaynaklanabilmektedir [10],[43],[108]. Bu elementler arasında yüksek korelasyonların olması sigara dumanı ve duvar boyalarına da işaret etmektedir. Aralarında anlamlı ilişkiler olan bir başka element grubu Cr, Co, Ni, Se, Zr, Sb, Ba, Hg (pearson korelasyon katsayıları 0,65-1,00 $p<0,01$) elementleridir. Cr, Co, Ni, Se, Hg elementleri kömür yanması kaynaklı elementlerdendir [88],[70]. Baryum, Hg, Sb, Cr, Ni elementleri trafik kaynaklıdır [88],[97]. Fosil yakıtların yanması sırasında Co, Ni, Sb ve Cr elementleri salınmaktadır [56]. Bu elementlerin, ev tozu kaynakları dış ortamlardan gelen trafik ve kömür yanması ile ilişkili emisyonlar olabileceği gibi, çelik üretiminde ana malzeme olarak kullanılan Cr ve Ni elementlerinin de bu grupta yer alması, iç ortamlarda kullanılan çelik malzemelerin de diğer bir kaynak olarak düşünülmesine neden olmaktadır [101],[102],[104].

Çizelge 4.5. Ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren korelasyon katsayıları.

	Li	Na	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Zr	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Hg	Pb	
Li	1,00																								
Na	0,33	1,00																							
Mg	0,59**	0,48**	1,00																						
K	0,45*	0,05	0,50**	1,00																					
Ca	-0,07	0,47**	0,07	-0,22	1,00																				
Ti	0,49**	0,75**	0,67**	0,10	0,43*	1,00																			
Cr	0,13	0,07	0,03	-0,07	0,10	0,40*	1,00																		
Mn	0,29	0,21	0,55**	0,31	0,22	0,56**	0,55**	1,00																	
Fe	0,34	0,14	0,20	0,02	0,04	0,26	0,52**	0,25	1,00																
Co	0,22	0,03	-0,01	0,01	0,05	0,36*	0,92**	0,53**	0,36*	1,00															
Ni	0,10	0,01	-0,12	-0,09	0,13	0,31	0,91**	0,45*	0,37*	0,96**	1,00														
Cu	0,01	-0,06	-0,09	0,01	-0,04	-0,08	-0,03	-0,07	-0,12	0,01	0,14	1,00													
Zn	0,62**	0,14	0,39*	0,79**	-0,11	0,15	-0,03	0,10	0,11	0,03	-0,03	0,10	1,00												
As	-0,05	-0,19	-0,14	0,22	-0,08	-0,16	-0,13	-0,09	-0,18	0,01	-0,08	-0,05	-0,07	1,00											
Se	0,05	-0,06	-0,13	-0,03	0,06	0,23	0,92**	0,51**	0,32	0,96**	0,95**	-0,01	-0,03	-0,07	1,00										
Sr	0,86**	0,28	0,54**	0,37*	0,11	0,428*	-0,04	0,24	0,22	0,08	-0,02	0,00	0,46*	0,13	-0,11	1,00									
Zr	0,29	-0,10	-0,14	-0,01	0,06	0,25	0,78**	0,35	0,34	0,91**	0,85**	-0,06	0,04	0,16	0,85**	0,25	1,00								
Mo	0,32	0,60**	0,49**	0,10	0,45*	0,57**	0,23	0,51**	0,34	0,09	0,06	0,00	0,11	-0,10	0,09	0,13	-0,10	1,00							
Ag	0,49**	0,59**	0,66**	0,15	0,57**	0,78**	0,34	0,63**	0,38*	0,22	0,20	-0,04	0,16	-0,12	0,14	0,44*	0,11	0,84**	1,00						
Cd	0,47**	-0,04	0,23	0,78**	-0,07	0,13	0,28	0,27	0,13	0,36	0,28	0,05	0,84**	0,15	0,34	0,31	0,37*	0,06	0,13	1,00					
Sb	0,15	0,09	0,01	-0,02	0,19	0,40*	0,94**	0,62**	0,40*	0,93**	0,91**	-0,02	-0,01	-0,07	0,96**	-0,04	0,80**	0,34	0,38*	0,33	1,00				
Ba	0,28	0,26	0,07	0,04	-0,04	0,48**	0,65**	0,36	0,27	0,78**	0,69**	-0,08	0,06	-0,02	0,72**	0,17	0,76**	-0,02	0,06	0,29	0,68**	1,00			
Hg	0,15	0,07	-0,01	-0,01	0,16	0,37*	0,95**	0,59**	0,42*	0,94**	0,92**	-0,03	0,00	-0,07	0,97**	-0,05	0,81**	0,31	0,35	0,34	1,00**	0,69**	1,00		
Pb	0,29	0,01	0,31	0,88**	-0,10	0,01	-0,07	0,10	0,03	-0,02	-0,09	0,02	0,78**	0,24	-0,04	0,16	-0,05	0,09	0,07	0,82**	-0,02	-0,05	-0,02	1,00	

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

4.5. ELEMENTLERİN KÜMELEME ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada, ev tozlarında ölçülen elementlerin kaynaklarının belirlenmesine katkı sağlayabilmek amacı ile veri setine kümeleme analizi tekniği uygulanmıştır. Böylelikle, kümeleme analizi uygulanarak benzer özellikler gösteren elementler tanımlanmıştır. Şekil 4.3 incelendiğinde Düzce ili genelinde örneklenen ev tozu örneklerinin element içeriği açısından 3 küme oluşturduğu görülmektedir. Küme 1, Sb, Hg, Cr, Co, Se, Ni, Zr, Ba elementlerinden oluşurken küme 2, Mg, Mn, Mo, Ag, Na, Ti, Ca, Li, Sr, Fe elementlerini içermektedir, küme 3'de ise K, Pb, Zn, Cd, Cu, As elementleri bulunmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda küme 1 iç ortamda kullanılan makine, malzeme, bina yapı materyalleri, sigara içilmesi gibi iç ortam kaynakları ve kirlenmiş yol tozlarının (trafik ve fosil yakıtların yanması ile) iç ortamlara taşınması ile ilişkili, Küme 2 toprak kaynaklı elementlerle ilişki, Küme 3 ise evsel ısınma ve evlerde kullanılan boyalar ile ilgili elementler olarak gruplanmıştır.

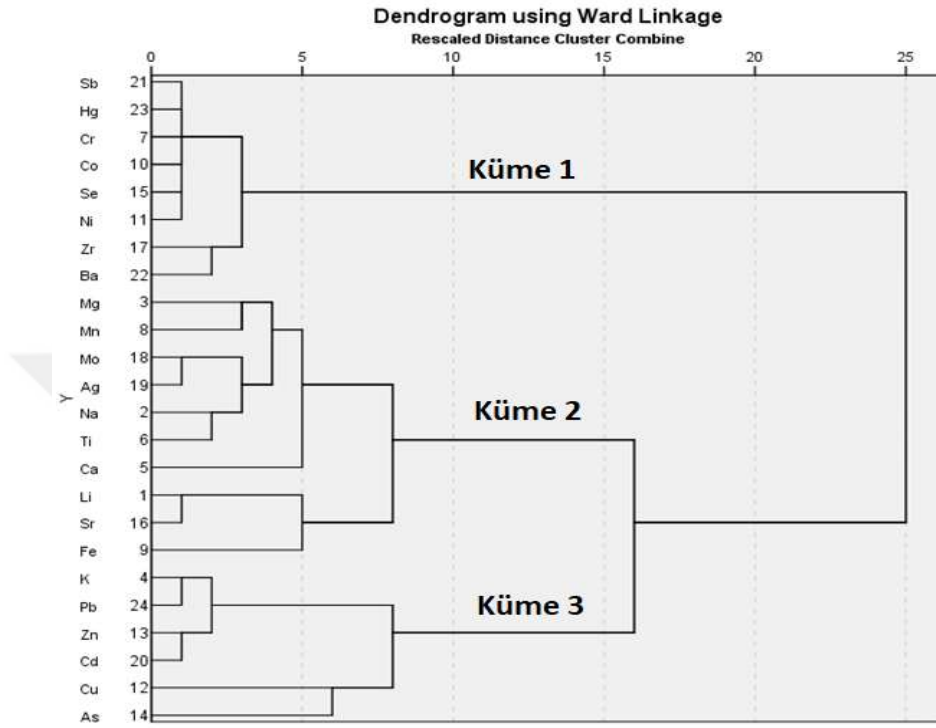
Küme 1, Sb, Hg, Cr, Co, Se, Ni, Zr, Ba elementlerinden oluşurken, Sb ve Cr elementleri halılardan kaynaklanmaktadır. Halılarda kullanılan polyester ve hayvan yünü sırasıyla Sb ve Cr içermektedir [70]. Nikel aerosol sprelerde kullanılan kimyasallardan kaynaklanmaktadır [88]. Selenyum, Ni ve Co elementleri sigara dumanında da bulunan elementlerdendir [70]. Nikel ve Cr metalurji endüstrisinde yaygın olarak kullanılmış olup Cr, Fe ve Ni yüksek sıcaklıkta pişirme sırasında paslanmaz çelik tencerelerden veya Cr alaşımlı pişiricilerden salınabilmektedir. Bu nedenle, Cr ve Ni, esas olarak mutfak pişirme gereçlerinin kullanılmasından ve yüksek sıcaklıkta bu elementlerin ortama salınmasından kaynaklanmaktadır [104]. Nikel, Co, Cr, Ba gibi metaller duvar boyalarında ve diğer yapı ürünlerinde kullanılmaktadır [70],[109]. Krom, Ni, Hg, Se, Co kömür yanmasından kaynaklanan elementlerdendir [70],[79]. Baryum, Hg, Sb, Cr, Ni, Sb, Se, Co elementleri trafikten kaynaklanmaktadır [16],[56],[97]. Ayrıca, Cr, Ni ve Ba elementlerinin eski binalardan alınan toz numunelerinde daha fazla bulunduğu tespit edilmiştir [97]. Bu nedenlerle, küme 1'in iç ortamda kullanılan makine, malzeme, bina yapı materyalleri, sigara içilmesi gibi iç ortam kaynakları ve kirlenmiş yol tozlarının (trafik ve fosil yakıtların yanması ile) iç ortamlara taşınması ile ilişkili olduğu

düşünülmektedir.

Küme 2, Mg, Mn, Mo, Ag, Na, Ti, Ca, Li, Sr, Fe elementlerini içermektedir.

Demir elementi yer kabuğunda yüksek miktarda bulunmaktadır [110]. Sodyum elementi yer kabuğunun ana bileşenlerindedir. Kalsiyum, doğal toprakların ana bileşenlerinden biri olarak bilinir [88]. Demir ve Mn elementleri de yer kabuğunun doğal bileşenlerindedir [111],[112]. Kalsiyum, Mg ve Fe elementleri ana kayaç elementlerindedir. Bu elementler kayaçların aşınması ile toz formuna dönüşmekte ve rüzgârla taşınarak toprak veya yol tozu ile karışmaktadır. Toprak ve yol tozunun çeşitli yollarla iç ortamlara taşınması sonucunda bu elementler iç ortamlarda da bulunabilmektedir [70]. Mangan elementi de yer kabuğunda bol miktarda bulunan elementlerdendir [97]. Bu nedenlerle, küme 2'nin ev tozunda bulunan toprak kaynaklı elementleri içerdiği anlaşılmaktadır.

Küme 3'de ise K, Pb, Zn, Cd, Cu, As elementleri bulunmaktadır. Küme 3'de yer alan elementlerden As kömür yanmasının, K ise biyokütle yanmasının belirteçidir. Kadmiyum ve Pb elementleri de kömür yanmasından kaynaklanan elementlerdendir [63],[70],[107]. Kurşun, Zn, Cd ve Cu elementleri duvar boyalarında pigment olarak kullanılmaktadır [9],[109],[111]. Sarı renk boya çok yüksek seviyelerde Cd, Cu, Pb ve Zn ile ilişkilidir; mor renk boya daha yüksek Zn ve Pb konsantrasyonlarıyla ilişkilidir ve yeşil boya Cu ile ilişkilidir [10],[108],[113]. Arsenik ve Cd elementleri duvar boyası yağlı boya olan evlerde, Zn elementi ise duvar boyası plastik olan evlerde görülmektedir [70]. Bu nedenlerle Küme 3 evsel ısınma ve evlerde kullanılan boyalar ile ilgili elementleri içeren grup olarak tanımlanabilir.



Şekil 4.3. Elementlerin kümeleme analizi sonucunda elde edilen dendrogram grafiği.

4.6. ELEMENTLERİN KONSANTRASYON DAĞILIM HARİTALARI

Tez kapsamında ölçülen kirletici konsantrasyon değerlerinin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS 10.8) kullanılarak kirleticilerin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Örnekleme bölgesinde elementlerin konsantrasyon değerleri, derecelendirilmiş semboller kullanılarak gösterilmiştir. Böylece elementlerin örnekleme bölgesindeki konsantrasyon değişimleri harita üzerinde görselleştirilerek incelenmiştir. Harita 4.1, Harita 4.2, Harita 4.3 'de elementlerin dağılım haritaları verilmiştir.

Sodyum elementi toprak kaynaklı elementlerdendir [88]. Harita 4.1 Na elementi için incelendiğinde, bu elementin, müstakil bahçeli olan evlerde ev4, ev11, ev20, ev24 ve balkonda hobi bahçesi bulunan ev1'de yüksek çıktığı görülmüştür. Düşük konsantrasyonlu evlerin ana caddeye yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, dağılım haritası incelendiğinde örnekleme bölgesinde Na elementi için nispeten homojen bir dağılım olduğu da görülmektedir. Bu durum, Na elementinin antropojenik kaynaklardan değil doğal kaynaklardan gelmesi ile ilişkilidir. Sonuçlar incelendiğinde, konsantrasyonların ev1, ev4, ev11, ev20 ve ev24 'de yüksek, ev3, ev9, ev13, ev15 ve ev16 düşük çıktığı görülmüştür.

Magnezyum elementi ana kayaç elementlerinden biri olarak toprakta bulunmaktadır. Mg elementi kayaçların aşınması ile toz formuna geçer ve rüzgârla taşınarak toprak veya yol tozu ile karışarak dış ortamlardan iç ortamlara taşınabilmektedir [70]. Isınma amaçlı odun-kömür kullanılması, sigara içilmesi Mg elementinin başlıca antropojenik kaynaklarından [70],[94]. Harita 4.1'de Mg elementi için yer alan konsantrasyon dağılım haritası incelendiğinde, ev8, ev10, ev18, ev20 ve ev24 de yüksek; ev2, ev9, ev13, ev15 ve ev16'da düşük konsantrasyonlar ölçüldüğü görülmektedir. Konsantrasyon seviyeleri yüksek çıkan evlerden ev8, ev18, ev20 ve ev24'te ısınma amaçlı kömür kullanılmaktadır, ev10'da ise ısınma amaçlı doğal gaz kullanılmakta ancak zaman zaman evde şömine de kullanılmaktadır. Ev20'de sigara kullanılmaktadır. Yüksek konsantrasyonlu evlerin ana caddeye yakın, 1. kat veya zemin katta olmaları Mg elementinin toprak kaynaklı bir element olması nedeni ile bu evlerde dış ortamlardan, iç ortama toprak parçacıklarının taşınımının yüksek olması ile ilişkilidir. Evin kat yüksekliği arttıkça, Mg elementinin konsantrasyonu düşmektedir. Ayrıca, düşük konsantrasyonlu evlerde ısınma amaçlı doğalgaz kullanıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, dağılım

haritası incelendiğinde örnekleme bölgesinde Mg elementinin toprak kaynaklı bir element olması nedeni ile Na elementi gibi nispeten homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

Potasyum elementi biyokütle yanması ile ilişkili elementlerdendir [107]. Tarımsal üretimde verim kayıplarını önlemek için toprağa potasyumlu gübre ilave edilmesi gerekmektedir. Potasyum bakımından zengin gübreler toprak iyileştirme amacıyla toprağa doğrudan uygulanmaktadır [106]. Harita 4.1 incelendiğinde, çalışmada, ev7, ev10, ev14, ev18 ve ev24' de konsantrasyonlar yüksek, ev2, ev9, ev13 ev16, ev 23'te düşük olduğu görülmektedir. Yüksek çıkan evlerden ev7, ev14, ev18 ve ev24'te ısınma amaçlı kömür kullanılmaktadır, ev10'da ise ısınma amaçlı doğal gaz kullanılmakta ancak zaman zaman evde şömine de kullanılmaktadır., evlerin müstakil, 1. kat ve zemin kat olması K elementinin bu evlerde yüksek ölçülmesine neden olmuştur. Ev7, ev14 ve ev18 numaralı evler kırsal alanda, yakınlarında tarım arazileri bulunan evlerdir. Ev24 ise yarı-kentsel alanda bulunan ve yakınında yine tarım arazileri olan bir evdir. Ev10 yakınlarında hobi bahçesi bulunan ve etrafında tarım yapılan bir evdir. Potasyum elementinin toprakta bulunan gübrelerden kaynaklı olarak bu noktalarda yüksek konsantrasyon seviyelerinde ölçüldüğü düşünülmektedir. Düşük konsantrasyonlu evlerde ise ısınma amaçlı doğalgaz kullanıldığı görülmüştür.

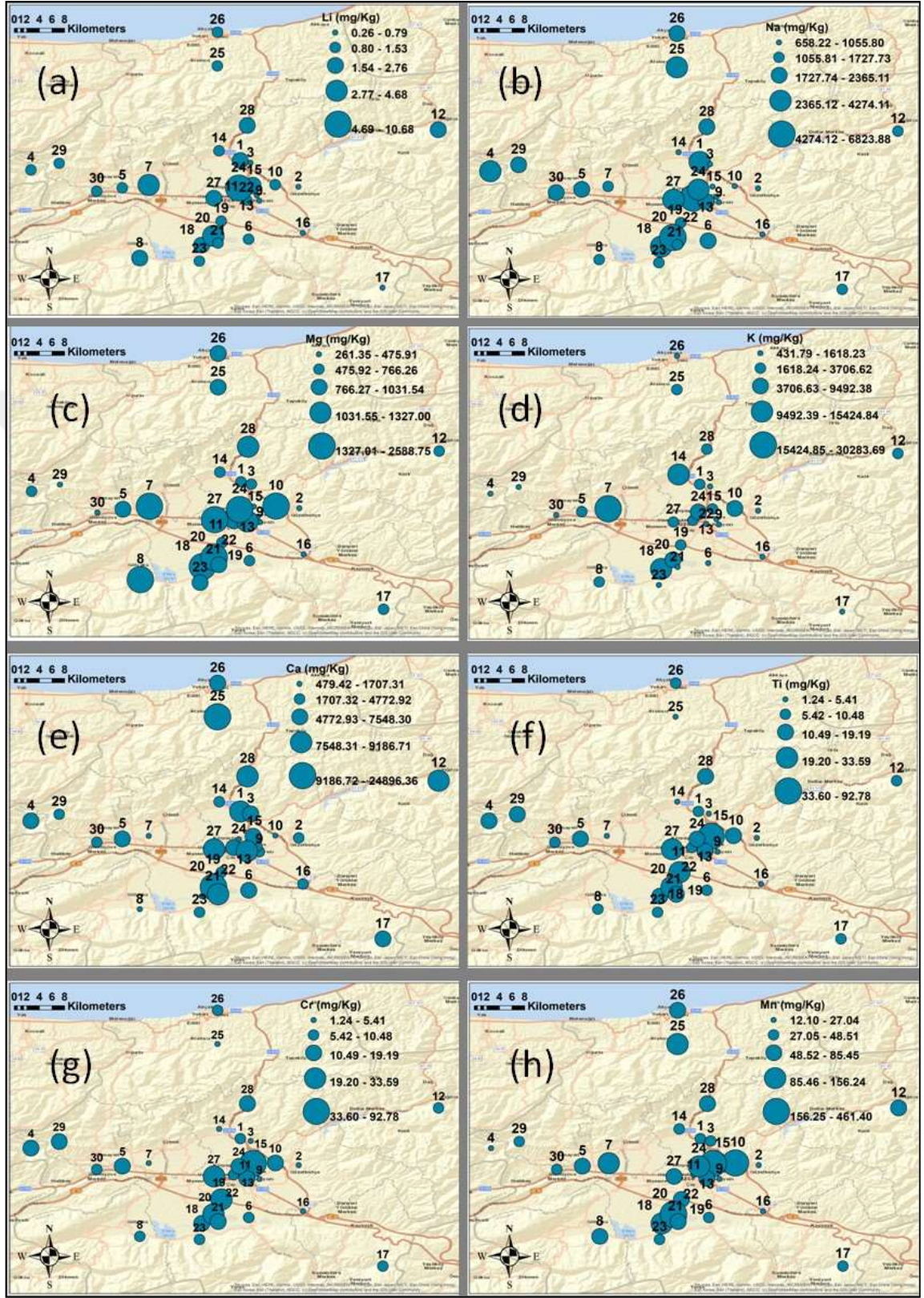
Kalsiyum elementinin konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.1'de verilmiştir. Kalsiyum elementi de toprak kaynaklı bir elementtir. Bununla birlikte, iç ortamlarda duvardan gelen tozlar, kaplama mazlemeleri ve inşaat malzemeleri de Ca kaynağı olarak belirlenmiştir [70],[69]. Bu element için, ev20, ev22, ev25, ev27 ve ev28'de yüksek konsantrasyonlar, ev7, ev8, ev10, ev18 ve ev24'de daha düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür. Kalsiyum elementi için, kırsal bölgelerde ve ana caddeye yakın konumdaki evlerde yüksek konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü ev25 ve ev28'de tadilat yapılmasının da Ca elementi konsantrasyonunun yüksek çıkmasına etki ettiği düşünülmektedir. Dağılım haritası incelendiğinde örnekleme bölgesinde Ca elementinin toprak kaynaklı bir element olması nedeni ile Na ve Mg elementleri gibi nispeten homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

Titanyum elementinin konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.1 'de verilmiştir. Titanyum

elementinin, boya, yakıt yanması ve fren aşınmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir [93]. Çalışmada, ev11, ev15, ev20, ev24 ve ev27’de konsantrasyonlar yüksek, ev2, ev3, ev9, ev13, ev16, ev30’da düşük ölçülmüştür. Yüksek konsantrasyonlu evlerin ana caddeye yakın olması, konsantrasyonların trafikten etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, ev11 ve ev24’de tadilat yapılmasının konsantrasyonların yüksek çıkmasına etki ettiği düşünülmektedir. Düşük konsantrasyonlu evler olan ev2, ev16, ev30’un ise ana caddeden ve trafikten uzak konumlarda bulunduğu ve bu evlerde tadilat işlerinin yapılmadığı görülmektedir.

Krom elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.1’de görülmektedir. Krom elementi trafik, kömür yanması ve metal endüstrisi ile ilişkili bir elementtir [70],[102],[105]. Krom elementinin iç ortam kaynakları ise çelik malzemeler, boya pigmentleri, inşaat malzemeleri olarak ifade edilmektedir [75],[95]. Krom elementin ev15, ev19, ev20, ev22, ev27 numaralı evlerde yüksek, ev7, ev9, ev13, ev14, ev25 numaralı evlerde düşük konsantrasyonlarda ölçüldüğü belirlenmiştir. Harita 4.1 incelendiğinde trafiğe ve endüstriyel alanlara yakın konumlardaki evlerde Cr konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmektedir.

Mangan elementi doğal olarak toprakta bulunan elementlerdendir. Ayrıca, Mn elementi sigara dumanından, kömür kullanımından kaynaklı olarak da oluşmaktadır [80],[88],[94],[97]. Çalışmada, ev10, ev15, ev18, ev20 ve ev25’de konsantrasyonların yüksek, ev2, ev4, ev9, ev13 ve ev16’da düşük olduğu Harita 4.1’de görülmektedir. Ev10 ve ev15’te konsantrasyonların yüksek olmasında, ev içerisinde evcil hayvan bulunmasının da etki ettiği düşünülmektedir. Konsantrasyonların ev 20 ve ev 25’te yüksek olmasının ev içerisinde sigara içilmesi ile ev18, ev20 ve ev24’te yüksek olmasının ise evde ısınma amaçlı kömür kullanılması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Mn elementinin toprak kaynaklı bir element olması nedeni ile dış ortamlardan toprak taşınımı daha fazla olabilecek ev18 ve ev20 gibi müstakil-bahçeli evlerde yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Mangan elementinin düşük seviyelerde olduğu ev2, ev4, ev9, ev13 ve ev16’da ısınma amaçlı doğalgaz kullanılmakta, sigara içilmemektedir. Mangan elementi için de diğer toprak kaynaklı elementler gibi örnekleme bölgesinde nispeten homojen bir dağılım görülmektedir.



Harita 4.1. a) Li, b) Na, c) Mg, d) K, e) Ca, f) Ti, g) Cr, h) Mn elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.

Demir elementi toprak bileşiminde bulunan elementlerdendir. Ayrıca, Fe elementinin kömür yanması ile de ilişkili olduğu bilinmektedir [80],[114]. Harita 4.2 incelendiğinde Fe elementinin, ev5, ev12, ev15, ev18 ev19, ev24'te yüksek, ev2, ev9, ev13, ev14 ve ev16'te düşük konsantrasyon seviyelerinde olduğu görülmektedir. Ev5, ev12, ev18'in kırsal alanlarda bulunması toprak kaynaklı Fe elementinin, bu evlerde yüksek ölçülmesine neden olmuştur. Kentsel alanlarda bulunan ev2, ev9, ev13, ev14 ve ev16 numaralı evlerde Fe elementi için nispeten düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür. Ev5 ve ev15'te konsantrasyonların evcil hayvan bulunması ile ilişkili olarak arttığı düşünülmektedir. Konsantrasyon seviyeleri yüksek olan ev5, ev12, ev18 ev19, ev24'te Fe elementinin yüksek seviyelerde ölçülmesi, bu evlerde kömür kullanılması ile ilişkili olabilir. Konsantrasyon seviyeleri düşük olan evlerde ise doğalgaz kullanıldığı belirlenmiştir. Demir elementi için de diğer toprak kaynaklı elementler gibi örnekleme bölgesinde nispeten homojen bir dağılım görülmektedir.

Kobalt elementi kömür yanması ve trafik emisyonundan kaynaklanmaktadır [18],[70]. Harita 4.2 incelendiğinde yüksek konsantrasyonlu evlerin ev1, ev14, ev15, ev20, ev24 olduğu, düşük konsantrasyonlu evlerin ev9, ev13, ev16, ev25 ve ev29 olduğu tespit edilmiştir. Yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü ev14, ev20 ve ev24'te kömür kullanılmasından kaynaklı, ana caddeye yakın olan ev1 ve ev15'in ise trafikten kaynaklı olarak konsantrasyonların yüksek olduğu düşünülmektedir. Ev16 ve ev29'un ana caddeden uzak olması nedeni ile Co elementinin düşük seviyelerde ölçüldüğü söylenebilir. Ev1'in yakınında profil üretim tesisi ve tekstil üretimi yapan bir tesis bulunmaktadır. Ev20'ye yakın ise kereste fabrikası, plastik atık dönüşüm tesisi, metal işleme ve döküm endüstrisi tesisi ve otomobil yedek parça üretim tesisi bulunmaktadır. Ev 20'de ve ev 1 de ise endüstriyel tesislere yakın olmaları, konsantrasyon seviyelerinin yüksek olması ile ilişkili olabilir.

Nikel elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.2'de görülmektedir. Nikel elementi odun ve kömür yanmasının belirteci olan elementlerdendir [70]. Nikel elementi toprak mineralleri gibi doğal kaynaklardan da kaynaklanmaktadır [80]. Nikel elementi sigara dumanında da bulunmaktadır [75]. Ayrıca, Ni elementi iç ortamlarda mutfak pişirme gereçlerinin kullanılmasından ve yüksek sıcaklıkta bu elementlerin ortama salınmasından da kaynaklanmaktadır [104]. Çalışmada, ev1, ev2,

ev12, ev15, ev20 ve ev24 yüksek konsantrasyonlu evler, ev3, ev7, ev9, ev13 ve ev16 düşük konsantrasyonlu evler olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, Ni elementinin hobi bahçesi olan ev1’de, ısınma amaçlı odun veya kömür yakılan sobalı evlerden olan ev12, ev20, ev24’te ve sigara içilen ev 20’de yüksek çıktığı görülmektedir. Ev3, ev9, ev16’da doğalgaz kullanılması nedeni ile konsantrasyonların düşük ölçüldüğü düşünülmektedir.

Bakır elementi otomobil lastik aşınması, fren balataları aşınması, egzoz emisyonları gibi trafik emisyonlarından, endüstriyel emisyonlar, kömür yanması ve sigara dumanından kaynaklanmaktadır [14],[92],[101],[105],[108]. Bakır elementi yüksek seviyelerde ölçülen evlerden olan ev1, ev2, ev7 ev20, ev21, ev22 içerisinde ev 20 de sigara içildiği, ev1 ve ev 20’nin endüstriye ve ana yola yakın olduğu, ev7, ev20, ev21’de ısınma amaçlı kömür kullanıldığı belirlenmiştir (Harita 4.2). Düşük konsantrasyonların ölçüldüğü evler ev3, ev9, ev11, ev13, ev26 olarak tespit edilmiştir. Düşük konsantrasyonlu evlerin doğalgaz kullanılan, sigara içilmeyen evler olduğu, trafik yoğunluğunun nispeten az olduğu belirlenmiştir.

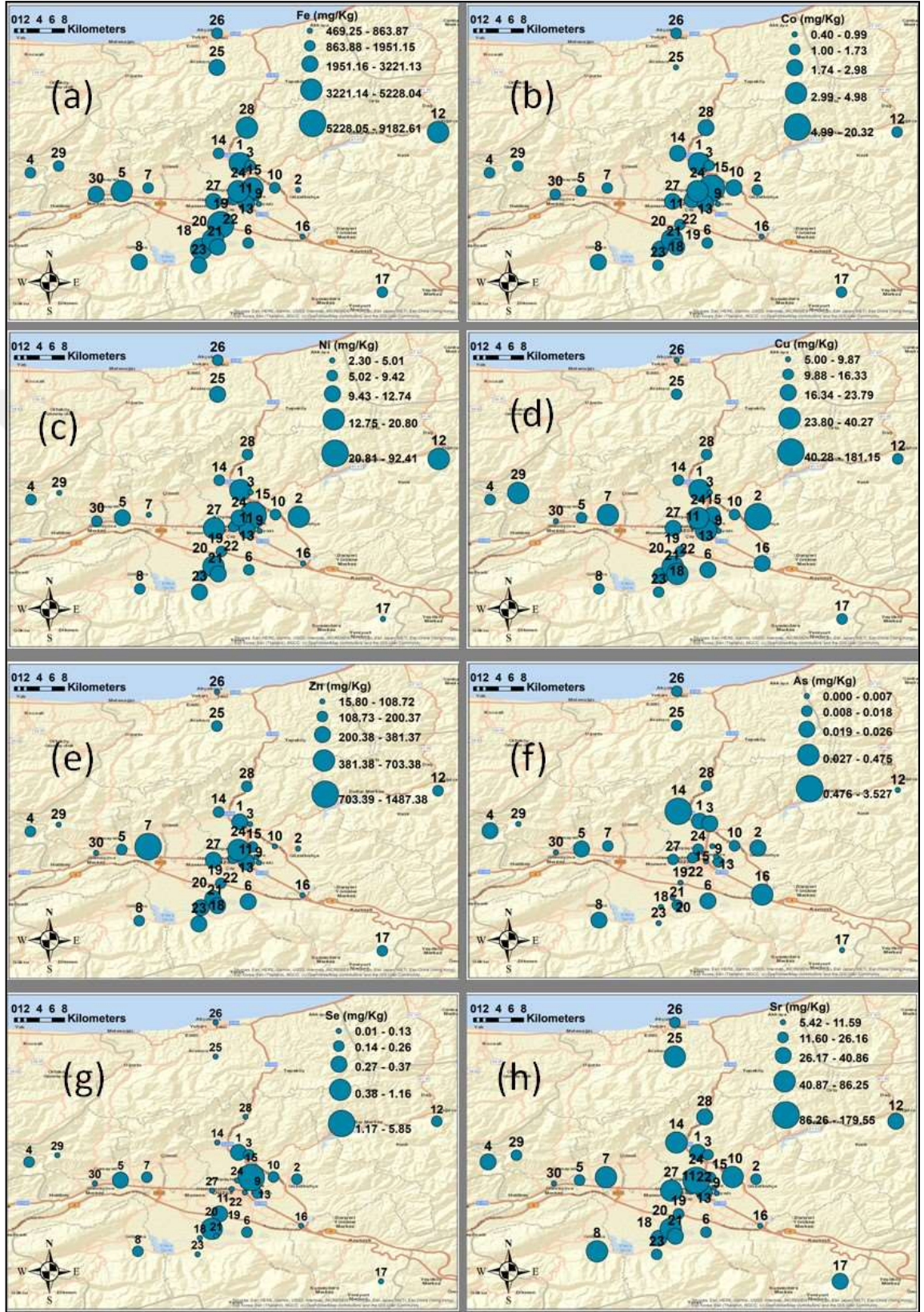
Çinko elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.2’de görülmektedir. Çinko elementi, trafik, endüstri, kömür yanması, sigara kullanımı, boya ve inşaat malzemeleri, temizlik ve hijyen malzemelerinin kullanımı kaynaklı olarak iç ortam tozlarında bulunmaktadır [14],[95],[103]. Çalışmada, yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü evler olan ev7, ev20, ev21, ev22, ev23, ev24’ten ev20 ve ev23’te sigaradan kaynaklı, ev24’de evde yapılan tadilatlardan kaynaklı, ev20’nin ise ana caddeye yakın olması ile ilişkili olarak trafikten kaynaklı, ev20 ve ev22 de haftada ikiden fazla temizlik yapılması, ev7, ev20, ev21 ve ev24’de kömür kullanılmasından kaynaklı olarak konsantrasyonların yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Düşük konsantrasyonların ölçüldüğü evler olan ev3, ev9, ev10, ev16, ev26’da ise evlerde doğalgaz kullanıldığı ve ev10, ev16’nın ise ana caddeye yakın evler olmadığı tespit edilmiştir.

Arsenik elementi trafikten ve tarımsal amaçlı pestisit ve gübre kullanımından kaynaklanabilmektedir. Arsenik, elementi dış ortam kaynaklarının yanı sıra, iç ortamlarda gerçekleşen ısınma ve pişirme faaliyetleri sırasında iç ortamlarda kullanılan yakıtlardan, duvar boyalarından ve sigara dumanından da kaynaklanabilmektedir. Arsenik elementi toprak mineralleri gibi doğal kaynaklardan da gelmektedir.

[70],[80],[93],[101],[102]. Çalışmada, konsantrasyon seviyeleri yüksek çıkan evler ev1, ev3, ev5, ev14, ve ev16 düşük çıkan evler ev9, ev13, ev15, ev18 ev19 numaralı evlerdir (Harita 4.2). Konsantrasyon seviyeleri yüksek çıkan evlerden ev1 ve ev3'ün ana caddeye yakın olmaları nedeni ile trafik emisyonlarından etkilendikleri düşünülmektedir. Ayrıca, Ev3'te boya ve tadilat yapıldığı, Ev 16'da sigara içildiği belirlenmiştir. Ev14 ve ev16 numaralı evler kırsal alanlarda olmaları nedeni ile tarımsal amaçlı pestisit kullanımından etkilenmiş olabilir. Ev5, ev14, ev16'da pişirme faaliyetleri için LPG kullanılmasının As elementi seviyelerine etki ettiği düşünülmektedir. Düşük konsantrasyonlu evlerin ise tadilat yapılmayan ve sigara içilmeyen evler olduğu tespit edilmiştir.

Selenyum elementi trafik, kömür yanması ve sigara içilmesi kaynaklı bir elementtir [58],[70],[79]. Harita 4.2 incelendiğinde ev1, ev5, ev15, ev19, ev20'de nispeten yüksek, ev13, ev14, ev17, ev27, ev28'de ise düşük konsantrasyon seviyelerinin ölçüldüğü görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, ev5, ev19, ev20'de kömür kullanıldığı, ev 1 ve ev15'in ise ana caddeye yakın konumda olduğu, ev 20'de ise sigara içildiği belirlenmiştir. Konsantrasyon seviyeleri düşük olan evler olan, ev13, ev17 ve ev27'de doğalgaz kullanılması, ev14, ev17, ev28'in ana caddeden uzak olması, ev14, ev17, ev27, ev28'de ise sigara içilmemesi nedeni ile konsantrasyonların nispeten düşük ölçüldüğü söylenebilir.

Stronsiyum elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.2'de görülmektedir. Stronsiyum elementinin iç ortam seviyelerine evde kullanılan kömür, duvar boyası ve içilen sigara etki etmektedir [43],[70]. Çalışmada, konsantrasyon seviyeleri yüksek olan evler olan ev7, ev14, ev24, ev25 ve ev27'den; ev24 ve ev25'te yapılan tadilattan kaynaklı, ev7, ev14, ev24, ev25'de sobada kömür kullanılması kaynaklı, ev 25'te ise sigara içilmesi kaynaklı olarak konsantrasyonların yükseldiği düşünülmektedir. Ev9, ev13, ev16, ev19 ve ev30 düşük konsantrasyonlu evlerdir. Ev9, ev13, ev16 numaralı evlerde doğalgaz kullanımı, sigara içilmemesi, boya ve tadilat işlerinin yapılmaması konsantrasyonların nispeten düşük çıkmasına neden olmuştur.



Harita 4.2. a) Fe, b) Co, c) Ni, d) Cu, e) Zn, f) As, g) Se, h) Sr elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.

Molibden elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.3'te görülmektedir. Molibden elementinin iç ortam tozunda bulunmasında dış ortamlardan gelen trafik emisyonlarının ve paslanmaz çelik bileşenleri olan eşyaların ve evcil hayvanların etki ettiği belirtilmektedir [70],[105],[110]. Ev1, ev5, ev19, ev20, ev24'te yüksek, ev2, ev9, ev13, ev15, ev16'da düşük konsantrasyonlarda Mo elementi ölçülmüştür. Ev5 ve ev20'de evcil hayvan olması, ev1, ev20, ev24'ün ise ana caddeye yakın olması nedeni ile konsantrasyonların yükseldiği düşünülmektedir. Düşük konsantrasyon ölçülen ev2, ev16 numaralı evler, evcil hayvan olmayan ve anayola uzak evlerdir.

Kadmiyum elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.3'te görülmektedir. Kadmiyum elementi, toprak mineralleri gibi doğal kaynaklarda da bulunmaktadır [80]. İç ortam tozu Cd konsantrasyonlarında, egzoz emisyonları, lastiklerin ve fren balatalarının aşınması ve yıpranması, yağlama yağlarının yanması, endüstriyel emisyonlar ve kömür yanması gibi dış ortam kaynaklı emisyonların iç ortamlara taşınmasının ve duvarlardan dökülen boyalar, inşaat malzemeleri, sigara içilmesi gibi iç ortam kaynaklarının etkileri tespit edilmiştir [18],[42],[70],[96],[101],[102],[108]. Çalışmada, yüksek konsantrasyon ölçülen evler, ev7, ev14, ev15, ev20, ev24 olarak belirlenmiştir. Bu evlerden, ev7 ve ev14'de kömür kullanıldığı, ev20'de boya ve tadilat işlerinin yapıldığı, ev20'de sigara içildiği ve evin ana yola yakın ve etrafında daha önceden de belirtildiği üzere endüstriyel tesisler bulunduğu belirlenmiştir. Konsantrasyon seviyelerinin nispeten yüksek olmasında bu nedenlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek konsantrasyon seviyelerine sahip Ev15 anayola yakındır. Ev 24'te ise boya tadilatı yapılmış ve bu ev de anayola yakındır. Düşük konsantrasyonlu evlerin ev2, ev4, ev5, ev9 ve ev18 olduğu tespit edilmiştir. Bu evlerde sigara içilmemesi, etrafında endüstriyel tesis bulunmaması ve ev2, ev4, ev5 numaralı evlerin anayola yakın olmaması ile ilişkili olarak konsantrasyonların düşük ölçüldüğü düşünülmektedir.

Antimon elementinin iç ortam tozunda bulunmasına, fosil yakıtların yanması ve trafik kaynaklı emisyonların iç ortamlara taşınması, plastik malzemeler ve lehim gibi metal alaşımlar, halılarda kullanılan polyester ve yün malzemeler sebep olmaktadır [56],[70],[97]. Harita 4.3 incelendiğinde ev12, ev15, ev19, ev20, ev24'te yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü görülmektedir. Yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü

ev15, ev20 ve ev24 evlerin ana caddeye yakın olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ev2, ev4, ev6, ev7, ev13'te nispeten düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür. Düşük konsantrasyonların ölçüldüğü evlerin nispeten trafiğe uzak olduğu belirlenmiştir.

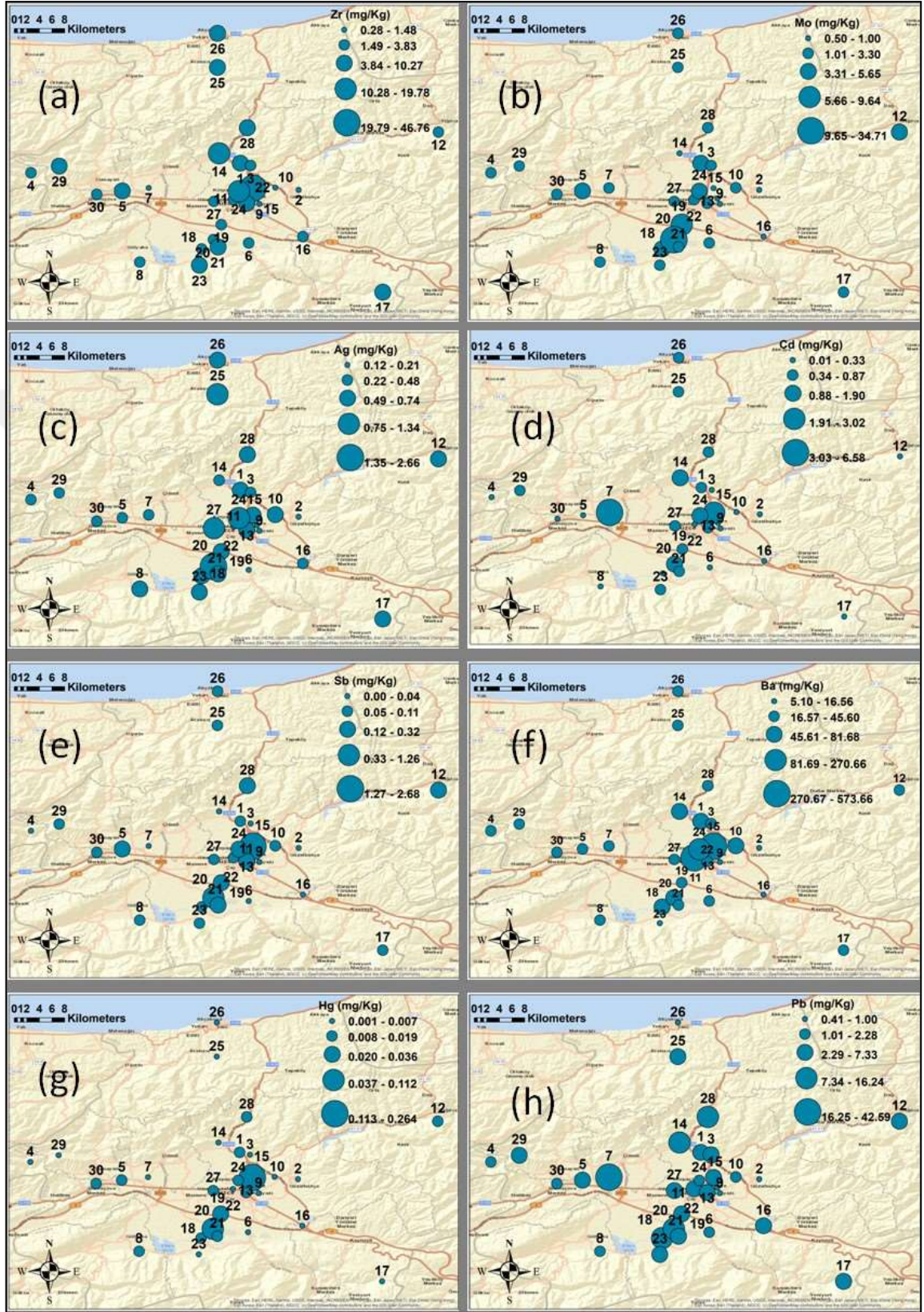
Baryum elementinin, trafik yoğunluğu yüksek olan konumlarda bulunan, eski evlerden alınan tozlarda yüksek seviyelerde olduğu belirtilmektedir [9],[97]. Bu element, duvar boyasında ve diğer yapı malzemelerinde kullanılmaktadır [70],[109]. Harita 4.3 incelendiğinde, ev10, ev11, ev15, ev20, ev24'ün yüksek konsantrasyonlu evler olduğu belirlenmiştir. Ev11, ev15, ev20, ev24'ün anayola yakın olmaları nedeni ile trafik emisyonlarından kaynaklı, ev11 ve ev24'te boya tadilatı yapılmasından kaynaklı, ev15 ve ev20'de evcil hayvan bulunması kaynaklı olarak konsantrasyonların yüksek çıktığı düşünülmektedir. Çalışmada, Ba seviyeleri açısından ev2, ev9, ev13, ev16, ev23 düşük konsantrasyonlu evlerdir. Düşük konsantrasyonların ölçüldüğü evler trafik yoğunluğunun az olduğu konumlarda bulunmakta ve bu evlerde tadilat yapılmamıştır.

Civa elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.3'te görülmektedir. Civa elementi iç ortam tozunda trafik, kömür yanması, boya ve sigara içilmesi kaynaklı olarak bulunmaktadır [88],[70],[97]. Yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü evler ev5, ev15, ev19, ev20, ev24 olarak belirlenmiştir. Ev15, ev20, ev24'ün ana yola yakın olmaları nedeni ile trafik emisyonlarından etkilendiği, ev5, ev19, ev20 ev24'te kömür kullanımı, ev20'de sigara içilmesi, ev24'te boya tadilatı yapılması nedeni ile konsantrasyonların yükseldiği düşünülmektedir. Civa elementinin nispeten düşük seviyelerde ölçüldüğü evler ise ev2, ev9, ev10, ev13, ev25 olarak belirlenmiştir. Ev2, ev10 numaralı evlerin, ana caddeye yakın olmamaları nedeni ile trafik emisyonlarından etkilenmediği düşünülmektedir.

Kurşun elementi için oluşturulan konsantrasyon dağılım haritası, Harita 4.3' te görülmektedir. Kurşun elementi ev tozlarında, trafik ve endüstriyel emisyonlar, duvar boyaları kaynaklı olarak bulunabilir [91],[97]. Çalışmada, ev7, ev14, ev18, ev20, ev28'de konsantrasyonlar nispeten yüksek ölçülmüştür. Konsantrasyon seviyeleri yüksek olan evlerin bina yaşı 15-20 yıl arasındadır. Bina yaşı arttıkça, Pb konsantrasyonları yükselmektedir [75]. Örnekleme yapılan evlerden ev7, ev14, ev18, ev20'de kömür kullanılmasının, ev20'nin ana yola yakın olmasının, ev28'de tadilat yapılmasının Pb elementi konsantrasyonlarına etki ettiği düşünülmektedir. Çalışma alanında, ev2, ev9,

ev13, ev26'dan alınan toz örneklerinde Pb elementi seviyeleri nispeten düşüktür. Bu evlerde doğalgaz kullanılması ve ev2, ev26 numaralı evlerin ana yoldan uzak olması konsantrasyon seviyelerinin düşük çıkması ile ilişkili olabilir.





Harita 4.3. a) Zr, b) Mo, c) Ag, d) Cd, e) Sb, f) Ba, g) Hg, h) Pb elementleri için konsantrasyon dağılım haritaları.

4.7. SAĞLIK RİSKİ DEĞERLENDİRİLMESİ

Toz örneklerindeki elementlerin neden olduğu kanserojen olmayan etkilerin değerlendirilmesine yönelik olarak hesaplanan tehlike katsayısı ve tehlike indeksi değerleri Çizelge 4.6 'de gösterilmektedir. Kanserojen olmayan etkiler için yapılan risk değerlendirmesi çalışmasında, çocuklar için hesaplanan tehlike indeksi değerlerinin, yetişkinlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tehlike katsayıları maruz kalma yollarına göre karşılaştırıldığında sıralamanın yutma>dermal temas>solunum şeklinde olduğu görülmektedir. Hem çocuklar hem de yetişkinler için tüm maruz kalma yolları için HI'ler 1'den (USEPA tarafından önerilen emniyet seviyesi) düşüktür. Bu durum, çalışmada Düzce kentinde ev tozlarında bulunan elementlerin çocuklar ve yetişkinler üzerindeki kanserojen olmayan olumsuz sağlık etkilerinin nispeten düşük olduğunu göstermektedir. Elementlerin kanser dışı tehlike indekslerinin sıralaması, çocuklar için: Cr(III) < Sr < Se < Hg < Ag < Ba < As < Sb < Cu < Mo < Zn < Li < Ni < Cr(IV) < Pb < Fe < Mn < Cd < Co ve yetişkinler için: Cr(III) < Sr < Se < Hg < Ba < As < Cu < Sb < Mo < Zn < Li < Ag < Ni < Pb < Cr(IV) < Fe < Mn < Cd < Co şeklinde birbirleri ile neredeyse aynıdır.

Çizelge 4.6. Kanserojen olmayan elementler için risk değerlendirme sonuçları.

Element	Tehlike İndeksi Çocuk				Tehlike İndeksi Yetişkin			
	HQ yutma	HQ Dermal	HQ solunum	HI=ΣHQ	HQ yutma	HQ Dermal	HQ solunum	HI=ΣHQ
Li	1,14E-02	3,19E-05		1,14E-02	1,22E-03	4,87E-05		1,27E-03
Cr(III)	8,77E-05	1,89E-05		1,07E-04	9,40E-06	2,88E-05		3,82E-05
Cr(VI)	1,46E-02	2,05E-03	4,51E-05	1,67E-02	1,57E-03	3,12E-03	2,42E-05	4,72E-03
Mn	4,98E-02	3,48E-03	2,46E-03	5,57E-02	5,33E-03	5,32E-03	1,32E-03	1,20E-02
Fe	4,86E-02	1,36E-04	1,43E-04	4,88E-02	5,20E-03	2,08E-04	7,65E-05	5,49E-03
Co	1,08E-01	3,03E-04	5,58E-04	1,09E-01	1,16E-02	4,63E-04	2,99E-04	1,24E-02
Ni	1,43E-02	8,18E-05	1,16E-03	1,56E-02	1,54E-03	1,25E-04	6,22E-04	2,28E-03
Cu	7,64E-03	2,14E-05	2,24E-07	7,67E-03	8,19E-04	3,27E-05	1,20E-07	8,52E-04
Zn	1,01E-02	2,84E-05	2,98E-07	1,02E-02	1,08E-03	4,33E-05	1,60E-07	1,13E-03
As	6,19E-03	1,73E-05	1,27E-05	6,22E-03	6,63E-04	2,65E-05	6,83E-06	6,97E-04
Se	9,27E-04	2,60E-06	2,39E-08	9,30E-04	9,93E-05	3,96E-06	1,28E-08	1,03E-04
Sr	7,90E-04	1,11E-05		8,01E-04	8,46E-05	1,69E-05		1,02E-04
Mo	9,52E-03	2,67E-05	2,45E-06	9,55E-03	1,02E-03	4,07E-05	1,31E-06	1,06E-03
Ag	1,55E-03	1,08E-03		2,63E-03	1,66E-04	1,66E-03		1,82E-03
Cd	9,84E-02	1,10E-03	1,01E-04	9,97E-02	1,05E-02	1,68E-03	5,43E-05	1,23E-02
Sb	6,67E-03	1,25E-04	9,16E-07	6,80E-03	7,15E-04	1,90E-04	4,91E-07	9,05E-04
Ba	4,70E-03	9,07E-07	1,93E-04	4,89E-03	5,03E-04	1,38E-06	1,04E-04	6,08E-04
Hg	1,66E-03	1,73E-07	9,10E-08	1,66E-03	1,78E-04	2,64E-07	4,87E-08	1,78E-04
Pb	2,13E-02	3,97E-04	6,22E-07	2,17E-02	2,28E-03	6,06E-04	3,33E-07	2,89E-03
Σ	4,17E-01	8,92E-03	4,68E-03	4,30E-01	4,46E-02	1,36E-02	2,51E-03	6,08E-02

Çalışmada, kanserojenlik sınıflarında yer alan Cr (IV), Co, Ni, As, Cd, Pb elementlerinin yutma, dermal temas ve solunum yoluyla gerçekleşen maruziyetler için kanser riskleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Çizelge 4.7’de Cr (IV), Co, Ni, As, Cd, Pb elementlerinin tüm maruziyet yolları için ayrı ayrı kanser riski değerleri ve her bir maruziyet yolu için bireysel risklerin toplanması ile elde edilen toplam kanser riski değerleri sunulmuştur. Toplam kanser riski değerleri incelendiğinde, risk değerlerinin Ni > Cd > Cr > As > Pb > Co sıralamasında olduğu görülmektedir. Seviyeler Ni, Cd, Cr elementleri için kabul edilebilir sınır değer aralığının (10^{-6} - 10^{-4}) üzerinde, As, Pb, Co elementleri için ise altında hesaplanmıştır. Her bir element için ayrı ayrı hesaplanan kanser risklerinin toplanması ile elde edilen, toplam kanser riski değerlerine bakıldığında sıralamanın yutma ($4,33E-05$) > dermal temas ($6,27E-07$) > solunum yolu ($2,45E-08$) şeklinde değiştiği anlaşılmıştır.

Çizelge 4.7. Kanserojen elementler için risk değerlendirme sonuçları.

Element	Kanser Riski			ΣKanser Riski
	CR yutma	CR Dermal	CR solunum	
Cr(VI)	2,68E-06	3,39E-07	1,46E-08	3,04E-06
Co			8,11E-09	8,11E-09
Ni	3,28E-05	2,59E-07	1,05E-09	3,31E-05
As	3,41E-07	2,63E-09	2,22E-10	3,44E-07
Cd	7,35E-06	2,32E-08	4,91E-10	7,38E-06
Pb	7,75E-08	2,45E-09	2,48E-11	8,00E-08
Σ	4,33E-05	6,27E-07	2,45E-08	4,40E-05

5. SONUÇ

Çalışmada, bölgesel bir kirlilik değerlendirmesi yapabilmek ve olası risk durumunu açıklayabilmek için Düzce ili kent merkezi ve ilçelerini kapsayacak şekilde belirlenen, farklı konumlara ve özelliklere sahip 30 adet evin iç ortamlarından toz numuneleri alınmıştır. Örneklenen evler için Li, Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Ba, Hg ve Pb elementlerinin aritmetik ortalama değerleri incelendiğinde, en yüksek ortalamaya sahip elementlerin sırasıyla Ca (6497,21 mg/kg), K (4011,17 mg/kg), Fe (2659,17 mg/kg), Na (2193,56 mg/kg) ve Mg (1012,20 mg/kg) elementleri olduğu, en düşük ortalamaya sahip elementlerin ise sırasıyla Hg (0,02 mg/kg), As 0,15 mg/kg), Sb (0,22 mg/kg), Se (0,36 mg/kg) ve Ag (0,61 mg/kg) olduğu anlaşılmıştır. Elementlerin ortalama değerleri $Ca > K > Fe > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Sr > Cu > Cr > Ni > Pb > Zr > Mo > Co > Li > Cd > Ag > Se > Sb > As > Hg$ şeklinde sıralanmaktadır.

Çalışmada, Ankara, Bolu, İstanbul, Avustralya, Nijerya, Japonya, Pakistan, Malezya, Suudi Arabistan, Birleşik Krallık, Kanada, Yunanistan, Avustralya, Çin, İran, Nepal ve Ürdün'de yapılan benzer çalışmalar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Dünyanın farklı yerlerinde, farklı özelliklere sahip ortamlarda yapılan çalışmaların birlikte değerlendirilmesi iç ortam kaynaklarının belirlenebilmesi ve dış ortamların iç ortamlara olan etkilerinin anlaşılabilmesi için gereklidir. Yapılan karşılaştırmalı değerlendirmeler, dış ortam kaynaklarının iç ortam kirliliği üzerinde belirleyici etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, binaların havalandırma türünün ve genel özelliklerinin (bina yaşı, inşaat materyalleri, evin bulunduğu kat gibi) iç ortam kirliliğinde, iç ortam kirletici kaynakları kadar etkili olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlar, element konsantrasyonlarının örneklenen evin konumu, özellikleri ve evde gerçekleşen aktiviteler ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, ev tozundaki elementlerin hem dış ortam hem de iç ortam kaynaklarından etkilendiğine işaret etmektedir.

Antropojenik faaliyetlerin ev tozlarındaki element konsantrasyonları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla her bir element için Zenginleşme faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan EF değerlerine göre Li, Mn, Ti, Mg, Fe ve Zr elementlerinin doğal kaynaklı elementler; Ag, Se, Cd, Zn, Cu, Sb, Pb, Mo, Ca, K, Ni, Hg, As, Ba, Cr, Na, Sr ve Co elementlerinin ise antropojenik kaynaklı elementler olduğu görülmektedir. Lityum, Mn, Ti, Mg, Fe ve Zr elementlerinin minimum zenginleşme değerlerinin, Ca, K, Ni, Hg, As,

Ba, Cr, Na, Sr ve Co elementlerinin orta dereceli zenginleşme değerlerinin, Mo, Pb ve Sb elementlerinin önemli derecede zenginleşme değerlerinin, Cu elementinin çok yüksek miktarda zenginleşme değerlerinin, Ag, Se, Cd ve Zn elementlerinin ise aşırı miktarda zenginleşme değerlerinin olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada, ev tozu örneklerinde ölçülen elementlerin birbirleri ile olan ilişkilerini inceleyebilmek için pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Korelasyon katsayıları incelendiğinde kömür ve biyokütle yanmasının belirteci olan K, Cd, Pb ve Zn elementleri arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir (pearson korelasyon katsayıları 0,79-0,88 $p < 0,01$). Bu elementler sigara dumanı ve yapı malzemeleri gibi bazı iç ortam kaynakları ile de ilişkili elementlerdir. Birbirleri ile yüksek korelasyonlar gösteren elementlerin oluşturduğu diğer bir grup Cr, Co, Ni, Se, Zr, Sb, Ba, Hg elementlerinden oluşmaktadır (pearson korelasyon katsayıları 0,65-1,00 $p < 0,01$). Bu elementler trafik ve kömür yanmasının belirteçidir. Ayrıca çelik üretiminde kullanılan Cr ve Ni elementlerinin bu grupta yer alması iç ortamlarda kullanılan çelik malzemeleri de diğer bir kaynak olarak düşünmemize neden olmaktadır.

Örneklenen elementlerin kaynaklarının belirlenebilmesi için gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçlarına göre, ev tozu örneklerinin element içeriği açısından 3 küme oluşturduğu görülmektedir. Küme 1, Sb, Hg, Cr, Co, Se, Ni, Zr, Ba elementlerinden oluşurken, küme 2, Mg, Mn, Mo, Ag, Na, Ti, Ca, Li, Sr, Fe elementlerini içermektedir, küme 3'de ise K, Pb, Zn, Cd, Cu, As elementleri bulunmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, küme 1'in iç ortamda kullanılan makine, malzeme, bina yapı materyalleri, sigara içilmesi gibi iç ortam kaynakları ve kirlenmiş yol tozlarının (trafik ve fosil yakıtların yanması ile) iç ortamlara taşınması ile ilişkili, Küme 2'nin toprak kaynaklı elementlerle ilişki, Küme 3'ün ise evsel ısınma ve evlerde kullanılan boyalar ile ilgili elementler olarak gruplandığı görülmektedir.

Tez kapsamında ölçülen kirletici konsantrasyon seviyelerinin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS 10.8) kullanılarak kirleticilerin konsantrasyon dağılım haritaları oluşturulmuştur. Örneklenen her bir element için derecelendirilmiş semboller kullanılarak hazırlanan dağılım haritalarının incelenmesi sonucunda, Na, Mg, Ca, Mn, Fe gibi toprak kaynaklı elementlerin örnekleme bölgesinde nispeten homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, kırsal bölgelerde, zemin ve 1. kat seviyesinde olan evler için konsantrasyon seviyelerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Krom, Co, Ni, Cu, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, Ba, Hg, Pb elementleri gibi antropojenik kaynaklı

elementlerin, örneklenen evlerin konumuna bağlı olarak trafik ve endüstriyel emisyonlardan, örnekleme noktasında ve civarında kullanılan yakıt türünden ve inşaat malzemeleri, duvar boyları, evlerde kullanılan malzemeler gibi iç ortam kaynaklarından etkilendiği anlaşılmıştır.

Örneklenen elementlerden bazıları ağır metal sınıfında yer almaktadır. Bu metaller insan vücudunda birikebildiğinden, ağır metallere maruziyet sağlık riski açısından oldukça önemlidir. Farklı alım yollarından kaynaklanabilecek tehlike indeksleri ve kanser riski USEPA yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve durum değerlendirmesi yapılmıştır. Ev tozlarındaki elementlerin sağlık riski değerlendirmesinin sonuçları, kanserojen olmayan etkiler açısından çocukların yetişkinlere kıyasla daha riskli durumda olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hesaplanan HI değerlerinin, hem çocuklar hem de yetişkinler için 1'den küçük olması ev tozlarında bulunan elementlerin kanserojen olmayan olumsuz sağlık etkilerinin nispeten düşük olduğunu göstermektedir. HI değerlerine en yüksek katkı sağlayan maruziyet yolunun yutma maruziyeti olduğu tespit edilmiştir. Elementler için hesaplanan HI değerleri güvenli seviyede belirlenmiştir. Ancak, iç ortamlardan maruz kalınan ve çalışmada yer almayan farklı inorganik ve organik bir çok kirleticinin var olduğu düşünüldüğünde kümülatif bir değerlendirmede durumun farklı olabileceği dikkate alınmalıdır. Kanserojenlik sınıflarında yer alan Cr (VI), Co, Ni, As, Cd, Pb elementlerinin yutma, dermal temas ve solunum yoluyla gerçekleşen maruziyetleri için kanser riskleri hesaplanmış ve toplam kanser riskinin kabul edilebilir sınır değer aralığının (10^{-6} - 10^{-4}) üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Toplam kanser riski değerlerine bakıldığında yutma ($4,33E-05$) > dermal temas ($6,27E-07$) > solunum ($2,45E-08$) yolu ile maruziyet sıralamasında olduğu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] J. İbadullayeva, K. Jumaniyazova, S. Azimzadeh, ve S. Canıgür, “Çevre Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Derg.*, c. 1, sayı 3, ss. 52–58, 2019.
- [2] X. Lu, X. Zhang, L. Y. Li, ve H. Chen, “Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi’an, China”, *Environ. Res.*, c. 128, ss. 27–34, 2014, doi: 10.1016/j.envres.2013.11.007.
- [3] H. Bayram ve Ö. Dikensoy, “Hava Kirliliği ve Solunum Sağlığına Etkileri”, *Tüberküloz ve Toraks Derg.*, c. 54, sayı 1, ss. 80–89, 2006.
- [4] Y. Cuclı ve E. E. Polat, “Gaziantep ’ in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi”, *KSU Mühendislik Bilim. Derg.*, c. 18, sayı 2, s. 11, 2015.
- [5] A. Müezzinoğlu, “Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları”, 2004, ss. 7–45.
- [6] C. Borrego, O. Tchepel, N. Barros, ve A. I. Miranda, “Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon region”, *Atmos. Environ.*, c. 34, sayı 27, ss. 4683–4690, 2000, doi: 10.1016/S1352-2310(00)00301-0.
- [7] D. Liu, “Value evaluation system of ecological environment damage compensation caused by air pollution”, *Environ. Technol. Innov.*, c. 22, s. 101473, 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101473.
- [8] L. Xu, H. Cai, ve Z. Wang, “Can air pollution reduce technology transfer? Evidence from China’s prefecture-level cities”, *Sci. Total Environ.*, c. 857, sayı October 2022, s. 159510, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159510.
- [9] A. Al Hejami, M. Davis, D. Prete, J. Lu, ve S. Wang, “Heavy metals in indoor settled dusts in Toronto, Canada”, *Sci. Total Environ.*, c. 703, s. 134895, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134895.
- [10] M. Wang vd., “Distribution, sources and health risks of heavy metals in indoor dust across China”, *Chemosphere*, c. 313, sayı October 2022, s. 137595, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137595.
- [11] F. M. Darus, R. A. Nasir, S. M. Sumari, Z. S. Ismail, ve N. A. Omar, “Heavy metals composition of indoor dust in nursery schools building”, *Procedia - Soc. Behav.*

Sci., c. 38, sayı December 2010, ss. 169–175, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.337.

- [12] H. Gül, A. Birgül, ve P. B. Kurt-Karakus, “Ev tozunda bulunan ağır metallerin insan sindirim sisteminin değişik basamaklarında biyolojik olarak alınabilirliği”, *Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ. J. Eng. Sci.*, c. 22, sayı 3, ss. 135–152, 2022.
- [13] A. Turner, “Oral bioaccessibility of trace metals in household dust: A review”, *Environ. Geochem. Health*, c. 33, sayı 4, ss. 331–341, 2011, doi: 10.1007/s10653-011-9386-2.
- [14] A. Ordonez, R. Alvarez, E. De Miguel, ve S. Charlesworth, “Spatial and temporal variations of trace element distribution in soils and street dust of an industrial town in NW Spain: 15years of study”, *Sci. Total Environ.*, c. 524–525, ss. 93–103, 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.024.
- [15] Z. Bozkurt *vd.*, “Atmospheric ambient trace element concentrations of PM10 at urban and sub-urban sites: source apportionment and health risk estimation”, *Environ. Monit. Assess.*, c. 190, sayı 3, 2018, doi: 10.1007/s10661-018-6517-6.
- [16] Z. Bozkurt, “Seasonal variation of water-soluble inorganic ions in PM10 in a city of northwestern Turkey”, *Environ. Forensics*, c. 19, sayı 1, ss. 1–13, 2018, doi: 10.1080/15275922.2017.1408159.
- [17] Z. Bozkurt, “Determination of airborne trace elements in an urban area using lichens as biomonitor”, *Environ. Monit. Assess.*, c. 189, sayı 11, 2017, doi: 10.1007/s10661-017-6275-x.
- [18] F. Taşpınar ve Z. Bozkurt, “Heavy metal pollution and health risk assessment of road dust on selected highways in Düzce, Turkey”, *Environ. Forensics*, c. 19, sayı 4, ss. 298–314, 2018, doi: 10.1080/15275922.2018.1519736.
- [19] S. Menteşe *vd.*, “A comprehensive assessment of ambient air quality in Çanakkale city: Emission inventory, air quality monitoring, source apportionment, and respiratory health indicators”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 11, sayı 12, ss. 2282–2296, 2020, doi: 10.1016/j.apr.2020.07.005.
- [20] E. Liu, T. Yan, G. Birch, ve Y. Zhu, “Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China”, *Sci. Total Environ.*, c. 476–477, ss. 522–531, 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.055.
- [21] N. Partigöç, S ve M. Çubukçu, K, “Hava kirliliği ve kent ilişkisine ampirik bakış:

ekolojik sürdürülebilirlik ekseninde bir değerlendirme”, *Akad. Disiplinlerarası Bilim. Araştırmalar Derg.*, c. 3, sayı 2, ss. 28–45, 2017.

- [22] B. Caliskan, G. Artun, H. Durmuş, E. O. Gaga, ve S. S. Cindoruk, “Atmospheric volatile organic compounds levels in furniture-manufacturing city in Turkey”, *Urban Clim.*, c. 43, sayı February, s. 101163, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101163.
- [23] B. Ghosh, M. De, T. K. Rout, ve P. K. Padhy, “Study on spatiotemporal distribution and health risk assessment of BTEX in urban ambient air of Kolkata and Howrah, West Bengal, India: Evaluation of carcinogenic, non-carcinogenic and additional leukaemia cases”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 14, sayı 10, s. 101878, 2023, doi: 10.1016/j.apr.2023.101878.
- [24] Ö. Ö. Üzmez, E. O. Gaga, ve T. Döğeroğlu, “Development and field validation of a new diffusive sampler for determination of atmospheric volatile organic compounds”, *Atmos. Environ.*, c. 107, ss. 174–186, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.040.
- [25] Z. Bozkurt, Ö. Ö. Üzmez, T. Döğeroğlu, G. Artun, ve E. O. Gaga, “Atmospheric concentrations of SO₂, NO₂, ozone and VOCs in Düzce, Turkey using passive air samplers: Sources, spatial and seasonal variations and health risk estimation”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 9, sayı 6, ss. 1146–1156, 2018, doi: 10.1016/j.apr.2018.05.001.
- [26] A. Kumar, D. Singh, K. Kumar, B. B. Singh, ve V. K. Jain, “Distribution of VOCs in urban and rural atmospheres of subtropical India: Temporal variation, source attribution, ratios, OFP and risk assessment”, *Sci. Total Environ.*, c. 613–614, ss. 492–501, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.096.
- [27] M. Y. Civan *vd.*, “Spatial and temporal variations in atmospheric VOCs, NO₂, SO₂, and O₃ concentrations at a heavily industrialized region in Western Turkey, and assessment of the carcinogenic risk levels of benzene”, *Atmos. Environ.*, c. 103, sayı 2, ss. 102–113, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.12.031.
- [28] G. Demirel, Ö. Özden, T. Döğeroğlu, ve E. O. Gaga, “Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment”, *Sci. Total Environ.*, c. 473–474, sayı 2, ss. 537–548, 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.034.
- [29] G. De Coster, P. Van Overmeiren, L. Vandermeersch, H. Van Langenhove, K. Demeestere, ve C. Walgraeve, “Indoor and outdoor air quality assessment in

- daycare centres in Ghent (Belgium) in view of outdoor sleeping in an urban environment”, *Atmos. Environ.*, c. 303, sayı September 2022, s. 119711, 2023, doi: 10.1016/j.atmosenv.2023.119711.
- [30] H. Istanbuluoğlu ve Ö. F. Tekbaş, “Kalıcı organik kirleticiler (KOK)”, *Türk Hij. ve Deney. Biyol. Derg.*, c. 70, sayı 3, ss. 163–174, 2013, doi: 10.5505/TurkHijyen.2013.49403.
- [31] J. L. Barber, A. J. Sweetman, D. Van Wijk, ve K. C. Jones, “Hexachlorobenzene in the global environment: Emissions, levels, distribution, trends and processes”, *Sci. Total Environ.*, c. 349, sayı 1–3, ss. 1–44, 2005, doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.03.014.
- [32] M. E. Aydın, S. Aydın, F. Bedük, ve A. Tekinay, “Atıksuların Sulamada Kullanımı: Toprak Ve Üründe Kalıcı Organik Kirleticiler”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Derg.*, c. 20, sayı 2, s. 99, 2015, doi: 10.17482/uujfe.01918.
- [33] Y. Gu *vd.*, “Insight into personal exposure characteristics and health effects of PM2.5 and PM0.25-bound PAHs and their derivatives with different heating ways in the Fenwei Plain, China”, *Environ. Pollut.*, c. 338, sayı June, s. 122699, 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2023.122699.
- [34] X. Zhang *vd.*, “Estimation of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and characteristics of atmospheric PAHs at a traffic site in Kanazawa, Japan”, *J. Environ. Sci.*, sayı xxxx, ss. 1–11, 2023, doi: 10.1016/j.jes.2023.09.009.
- [35] S. Mentese *vd.*, “A comprehensive assessment of ambient air quality in Çanakkale city: Emission inventory, air quality monitoring, source apportionment, and respiratory health indicators”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 11, sayı 12, ss. 2282–2296, 2020, doi: 10.1016/j.apr.2020.07.005.
- [36] P. Zhao *vd.*, “The effect of environmental regulations on air quality: A long-term trend analysis of SO2 and NO2 in the largest urban agglomeration in southwest China”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 10, sayı 6, ss. 2030–2039, 2019, doi: 10.1016/j.apr.2019.09.011.
- [37] J. Li *vd.*, “New insights into the influence of SO2 as an activator on the physicochemical properties of carbon materials and the influence of S-doping on SO2 adsorption: Experimental and density functional theory study”, *Chem. Eng. J.*, c. 474, sayı September, s. 145902, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2023.145902.
- [38] Z. Yan, S. Y. Lai, C. L. Ngan, H. Li, ve A. R. Mohamed, “Recent advances in

- energy-efficient and regenerative SO₂absorption over deep eutectic solvents”, *J. Environ. Chem. Eng.*, c. 10, sayı 6, s. 108967, 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.108967.
- [39] A. Babaroğlu, “Anaokullarında iç ortam hava kalitesi”, *Tesisat Mühendisliği Derg.*, c. 23, sayı 150, ss. 5–12, 2015.
- [40] Y. Chen, M. Li, J. Lu, ve B. Chen, “Influence of residential indoor environment on quality of life in China”, *Build. Environ.*, c. 232, sayı February, s. 110068, 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110068.
- [41] A. Norhidayah, C. K. Lee, M. K. Azhar, ve S. Nurulwahida, “Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings”, *Procedia Eng.*, c. 53, sayı 2010, ss. 93–98, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.014.
- [42] F. A. Adekola ve O. O. Dosumu, “Heavy metal determination in household dusts from Ilorin City , Nigeria”, *NISEB J.*, c. 1, sayı 3, ss. 217–221, 2001.
- [43] Z. Cheng *vd.*, “Characteristics and health risk assessment of heavy metals exposure via household dust from urban area in Chengdu, China”, *Sci. Total Environ.*, c. 619–620, ss. 621–629, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.144.
- [44] T. Shi ve Y. Wang, “Heavy metals in indoor dust: Spatial distribution, influencing factors, and potential health risks”, *Sci. Total Environ.*, c. 755, s. 142367, Şub. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.142367.
- [45] H. Özdeş ve N. Uygur, “Non-Dispersive Infrared CO₂ Sensörü Kullanılarak İç Ortam Co Düzeylerini Belirlenmesi: Şanlıurfa Örneği”, *Araştırma Makal. Res. Artic.*, c. 22, sayı 4, 2019.
- [46] W. H. Su, “Indoor air pollution”, *Resour. Conserv. Recycl.*, c. 16, sayı 1–4, ss. 77–91, 1996, doi: 10.1016/0921-3449(95)00048-8.
- [47] Y. Soysal, A., Demiral, “Kapalı Ortam Hava Kirliliği”, *TSK Koruyucu Hekim. Bülteni*, c. 6, sayı 3, ss. 221–226, 2007, [Çevrimiçi]. Available at: http://www.ejmanager.com/mnstemps/1/khb_006_03-221.pdf
- [48] H. Bulut, M. İ. Yeşilnacar, T. Rastgeldi, M. Aslan, ve D. Uçar, “Toz Bultlarının İç ve Dış Ortam Hava Kalitesine Etkileri: Şanlıurfa Örneği”, *Ulus. Hava Kalitesi Sempozyumu*, ss. 369–377, 2008.

- [49] S. C. Sofuoğlu, “İç Hava Kirleticileri ve İnsan Sağlığına Etkisi”, *Tesisat Mühendisliği*, sayı 153, ss. 33–44, 2016.
- [50] S. Uzun Duran ve B. Küçükömerlioğlu, “Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü’nde bazı ofislerde radon gazı ölçümü ve çevrelerindeki topraklarda radyonüklid seviyeleri”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, c. 9, sayı 1, ss. 68–77, 2020, doi: 10.17798/bitlisfen.576178.
- [51] Ş. Tokaloğlu ve Ş. Kartal, “Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the organized industrial district in Kayseri (Turkey)”, *Atmos. Environ.*, c. 40, sayı 16, ss. 2797–2805, 2006, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.01.019.
- [52] D. Klincic, B. Tariba Lovakovic, K. Jagic, ve M. Dvorscak, “Polybrominated diphenyl ethers and the multi-element profile of house dust in Croatia: Indoor sources, influencing factors of their accumulation and health risk assessment for humans”, *Sci. Total Environ.*, c. 800, s. 149430, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149430.
- [53] M. H. E. Monged, H. B. Hassan, ve S. A. El-Sayed, “Spatial distribution and ecological risk assessment of natural radionuclides and trace elements in agricultural soil of Northeastern Nile Valley, Egypt”, *Water. Air. Soil Pollut.*, sayı 7, ss. 231–338, 2020, doi: 10.1007/s11270-020-04678-9.
- [54] Y. Tasdemir ve C. Kural, “Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey”, *Environ. Pollut.*, c. 138, sayı 3, ss. 462–472, 2005, doi: 10.1016/j.envpol.2005.04.012.
- [55] C. Bilos, J. C. Colombo, C. N. Skorupka, ve M. J. Rodriguez Presa, “Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina”, *Environ. Pollut.*, c. 111, sayı 1, ss. 149–158, 2001, doi: 10.1016/S0269-7491(99)00328-0.
- [56] T. Moreno *vd.*, “Variations in atmospheric PM trace metal content in Spanish towns: Illustrating the chemical complexity of the inorganic urban aerosol cocktail”, *Atmos. Environ.*, c. 40, sayı 35, ss. 6791–6803, 2006, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.05.074.
- [57] R. Torres-Sanchez, A. M. S. de la Campa, M. Beltran, D. Sanchez-Rodas, ve J. D. de la Rosa, “Geochemical anomalies of household dust in an industrialized city (Huelva, SW Spain)”, *Sci. Total Environ.*, c. 587–588, ss. 473–481, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.167.

- [58] Z. Duan, J. Wang, X. Cai, Y. Wu, ve B. Xuan, “Spatial distribution and human health risk assessment of heavy metals in campus dust: A case study of the university town of Huaxi”, *Hum. Ecol. Risk Assess.*, c. 26, sayı 4, ss. 986–999, 2020, doi: 10.1080/10807039.2018.1548900.
- [59] C. M. A. Iwegbue *vd.*, “Characterization of metals in indoor dusts from electronic workshops, cybercafés and offices in southern Nigeria: Implications for on-site human exposure”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, c. 159, sayı May, ss. 342–353, 2018, doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.04.070.
- [60] T. K. Rout, R. E. Masto, L. C. Ram, J. George, ve P. K. Padhy, “Assessment of human health risks from heavy metals in outdoor dust samples in a coal mining area”, *Environ. Geochem. Health*, c. 35, sayı 3, ss. 347–356, 2013, doi: 10.1007/s10653-012-9499-2.
- [61] G. Özbolat ve A. Tuli, “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri”, *Arşiv Kaynak Tarama Derg.*, c. 25, sayı 23783, ss. 502–521, 2016, doi: 10.17827/aktd.253562.
- [62] C. Yerli, T. Çakmakçı, Ü. Şahin, ve Ş. Tüfenkçi, “Ağır metallerin toprak , bitki , su ve insan sağlığına etkileri”, *Türk Doğa ve Fen Derg.*, c. 9, sayı Özel Sayı, ss. 103–114, 2020.
- [63] S. Ardashiri ve S. E. Hashemi, “Health risk assessment of heavy metals in indoor dust from Bushehr, Iran”, *Iran. J. Heal. Saf. Environ.*, c. 5, sayı 2, ss. 966–971, 2018, [Çevrimiçi]. Available at: <http://ijhse.ir/index.php/IJHSE/article/view/302>
- [64] S. A. M. A. S. Eqani *vd.*, “Spatial distribution of dust-bound trace elements in Pakistan and their implications for human exposure”, *Environ. Pollut.*, c. 213, ss. 213–222, 2016, doi: 10.1016/j.envpol.2016.02.017.
- [65] Ç. İzin ve Denetim Şube Müdürlüğü, “Düzce ili 2022 yılı çevre durum raporu”, 2023.
- [66] <https://data.tuik.gov.tr/>, “Erişim Tarihi:05/12/2023”.
- [67] <https://tr.wikipedia.org/>, “Erişim Tarihi: 03.12.2023”.
- [68] A. Neisi *vd.*, “Study of heavy metal levels in indoor dust and their health risk assessment in children of Ahvaz city, Iran”, *Toxin Rev.*, c. 35, sayı 1–2, ss. 16–23, 2016, doi: 10.1080/15569543.2016.1181656.

- [69] H. Malvandi, “Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran”, *Mar. Pollut. Bull.*, c. 117, sayı 1–2, ss. 547–553, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.035.
- [70] H. K. Gul, G. Gullu, P. Babaei, A. Nikravan, P. B. Kurt-Karakus, ve G. Salihoglu, “Assessment of house dust trace elements and human exposure in Ankara, Turkey”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, c. 30, sayı 3, ss. 7718–7735, 2023, doi: 10.1007/s11356-022-22700-x.
- [71] I. C. Yadav, N. L. Devi, V. K. Singh, J. Li, ve G. Zhang, “Spatial distribution, source analysis, and health risk assessment of heavy metals contamination in house dust and surface soil from four major cities of Nepal”, *Chemosphere*, c. 218, ss. 1100–1113, 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.202.
- [72] T. N. Arslan Kaya, E. Sarı, M. A. Kurt, ve D. Acar, “Erdek Körfezi karot çökellerinin ağır metal dağılımı ve zenginleşme derecesi”, *Türkiye Jeol. Bülteni / Geol. Bull. Turkey*, c. 63, ss. 1–12, 2020, doi: 10.25288/tjb.563038.
- [73] İ. Balık ve E. Tunca, “Sedimentteki metal kirliliğini değerlendiren yöntemler üzerine bir derleme”, *Turkish J. Marit. Mar. Sci.*, c. 1, sayı 1, ss. 37–47, 2015.
- [74] W. M. Haynes, *Abundance of elements in the earth's crust and in the sea*, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th edition. 2016.
- [75] I. N. Y. Doyi, C. F. Isley, N. S. Soltani, ve M. P. Taylor, “Human exposure and risk associated with trace element concentrations in indoor dust from Australian homes”, *Environ. Int.*, c. 133, sayı June, s. 105125, 2019, doi: 10.1016/j.envint.2019.105125.
- [76] H. Bulut, “Isıtma sezonunda ofislerde iç hava kalitesinin araştırılması”, *Tesisat Mühendisliği Derg.*, c. 105, ss. 28–37, 1989.
- [77] Ş. Çelik, “Kümeleme analizine ile sağlık sektörlerine göre Türkiye’deki illerin sınıflandırılması”, *Doğuş Üniversitesi Derg.*, c. 14, sayı 2, ss. 175–194, 2013.
- [78] S. Küpçü, *Coğrafi Bilgi Sistemleri-I*. 2017.
- [79] A. Gad, A. Saleh, H. I. Farhat, Y. H. Dawood, ve S. M. Abd El Bakey, “Spatial distribution, contamination levels, and health risk assessment of potentially toxic elements in household dust in Cairo City, Egypt”, *Toxics*, c. 10, sayı 8, 2022, doi: 10.3390/toxics10080466.

- [80] B. Keshavarzi, Z. Tazarvi, M. A. Rajabzadeh, ve A. Najmeddin, “Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran”, *Atmos. Environ.*, c. 119, ss. 1–10, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.001.
- [81] USEPA, “Soil Screening Guidance: Technical Background Document Office of Solid Waste and Emergency Response”, (*EPA/540/R-95/128*), c. 17, sayı 1, ss. 282–291, 1996, [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32770796>
- [82] USEPA, “Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)”, *EPA/540/1-89/002*, c. I, sayı December, s. 289, 1989, doi: EPA/540/1-89/002.
- [83] Child Specific Exposure Factors Handbook, “Mid-Atlantic Risk Assessment”, *EPA-600-P-00-002B*, 1994, [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/human/info/guide1.htm>
- [84] US Environmental Protection Agency, “Exposure Factors Handbook: 2011 Edition”, *U.S. Environ. Prot. Agency*, c. EPA/600/R-, sayı September, ss. 1–1466, 2011, doi: EPA/600/R-090/052F.
- [85] H. Li, X. Qian, W. Hu, Y. Wang, ve H. Gao, “Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China”, *Sci. Total Environ.*, c. 456–457, ss. 212–221, 2013, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.03.094.
- [86] A. Miletic, M. Lucic, ve A. Onjia, “Exposure factors in health risk assessment of heavy metal(loid)s in soil and sediment”, *Metals (Basel)*, c. 13, sayı 7, 2023, doi: 10.3390/met13071266.
- [87] UESPA, “Department of energy. RAIS: Risk Assessment information system. https://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX_search?select=chemtox”, 2023.
- [88] A. Zararsız ve F. Öztürk, “Bolu’da Ev Tozu ile İlişkili Sağlık Risklerinin Tahmin Edilmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 8, ss. 2245–2265, 2020, doi: 10.29130/dubited.706362.
- [89] A. Argyraki, “Garden soil and house dust as exposure media for lead uptake in the mining village of Stratoni, Greece”, *Environ. Geochem. Health*, c. 36, sayı 4, ss. 677–692, 2014, doi: 10.1007/s10653-013-9589-9.

- [90] P. B. Kurt-Karakus, “Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk”, *Environ. Int.*, c. 50, ss. 47–55, 2012.
- [91] M. M. Gillings, K. L. Fry, A. L. Morrison, ve M. P. Taylor, “Spatial distribution and composition of mine dispersed trace metals in residential soil and house dust: Implications for exposure assessment and human health”, *Environ. Pollut.*, c. 293, sayı July 2021, s. 118462, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2021.118462.
- [92] A. Rehman vd., “Characterizing pollution indices and children health risk assessment of potentially toxic metal(oid)s in school dust of Lahore, Pakistan”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, c. 190, s. 110059, 2020, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.110059.
- [93] O. Al-Madanat, A. Jiries, M. Batarseh, ve F. Al-Nasir, “Indoor and outdoor pollution with heavy metals in Al-Karak City, Jordan”, *J. Int. Environ. Appl. Sci.*, c. 12, sayı 2, ss. 131–139, 2017.
- [94] P. Babaei, “Ev tozlarında ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi”, 2015.
- [95] J. Yoshinaga vd., “Lead and other elements in house dust of Japanese residences - Source of lead and health risks due to metal exposure”, *Environ. Pollut.*, c. 189, ss. 223–228, 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.03.003.
- [96] M. T. Latif vd., “Composition of heavy metals in indoor dust and their possible exposure: A case study of preschool children in Malaysia”, *Air Qual. Atmos. Heal.*, c. 7, sayı 2, ss. 181–193, 2014, doi: 10.1007/s11869-013-0224-9.
- [97] H. M. Salem Ali Albar vd., “Trace metals in different socioeconomic indoor residential settings, implications for human health via dust exposure”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, c. 189, sayı June 2019, s. 109927, 2020, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109927.
- [98] A. Turner ve L. Simmonds, “Elemental concentrations and metal bioaccessibility in UK household dust”, *Sci. Total Environ.*, c. 371, sayı 1–3, ss. 74–81, 2006, doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.08.011.
- [99] S. R. Asvad, A. Esmaili-Sari, N. Bahramifar, R. D. Behrooz, A. K. Paschalidou, ve D. G. Kaskaoutis, “Heavy metals contamination status and health risk assessment of indoor and outdoor dust in Ahvaz and Zabol cities, Iran”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 14, sayı 4, s. 101727, 2023, doi: 10.1016/j.apr.2023.101727.
- [100] P. R. Shakya, “Chemical associations of lead, cadmium, chromium, nickel and zinc

in household dust of Kathmandu metropolitan area”, *Pakistan J. Anal. Environ. Chem.*, c. 14, sayı 1, ss. 26–32, 2013, [Çevrimiçi]. Available at: <https://ezp.sub.su.se/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=97419095&site=ehost-live&scope=site>

- [101] M. Galazyn-Sidorczuk, M. M. Brzoska, ve J. Moniuszko-Jakoniuk, “Estimation of Polish cigarettes contamination with cadmium and lead, and exposure to these metals via smoking”, *Environ. Monit. Assess.*, c. 137, sayı 1–3, ss. 481–493, 2008, doi: 10.1007/s10661-007-9783-2.
- [102] L. Bisht, V. Gupta, A. Singh, A. S. Gautam, ve S. Gautam, “Heavy metal concentration and its distribution analysis in urban road dust: A case study from most populated city of Indian state of Uttarakhand”, *Spat. Spatiotemporal. Epidemiol.*, c. 40, sayı November 2021, s. 100470, 2022, doi: 10.1016/j.sste.2021.100470.
- [103] M. Moghtaderi, M. A. Ashraf, T. Moghtaderi, S. H. Teshnizi, ve S. H. Nabavizadeh, “Heavy metal concentration in classroom dust samples and its relationship with childhood asthma: A study from islamic Republic of Iran”, *East. Mediterr. Heal. J.*, c. 26, sayı 5, ss. 594–601, 2020, doi: 10.26719/emhj.19.072.
- [104] Y. Wang, F. Fang, Y. Lin, J. Cai, C. Zhang, ve Y. Ge, “Pollution and influencing factors of heavy metals from rural kitchen dust in Anhui Province, China”, *Atmos. Pollut. Res.*, c. 11, sayı 7, ss. 1211–1216, 2020, doi: 10.1016/j.apr.2020.04.011.
- [105] C. Y. Kuo, J. Y. Wang, W. T. Liu, P. Y. Lin, C. T. Tsai, ve M. T. Cheng, “Evaluation of the vehicle contributions of metals to indoor environments”, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, c. 22, sayı 5, ss. 489–495, 2012, doi: 10.1038/jes.2012.55.
- [106] C. Lanzerstorfer, “Potential of industrial de-dusting residues as a source of potassium for fertilizer production – A mini review”, *Resour. Conserv. Recycl.*, c. 143, sayı June 2018, ss. 68–76, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.12.013.
- [107] G. Sönmez ve M. Işık, “Kömür yanma atıklarının çevrese etkileri ve kullanım alanları”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, c. 9, sayı 1, ss. 72–83, 2020, doi: 10.28948/ngumuh.546144.
- [108] S. T. Y. Tong ve K. C. Lam, “Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong”, *Sci. Total Environ.*, c. 256, sayı 2–3, ss. 115–123, 2000, doi: 10.1016/S0048-9697(00)00471-X.

- [109] L. Ferreira-Baptista ve E. De Miguel, “Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment”, *Atmos. Environ.*, c. 39, sayı 25, ss. 4501–4512, 2005, doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.03.026.
- [110] L. Zhou, G. Liu, M. Shen, R. Hu, ve Y. Liu, “Source identification of heavy metals and stable carbon isotope in indoor dust from different functional areas in Hefei, China”, *Sci. Total Environ.*, c. 710, s. 135599, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135599.
- [111] W. A. Jadoon *vd.*, “Heavy metals in urban dusts from Alexandria and Kafr El-Sheikh, Egypt: implications for human health”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, c. 28, sayı 2, ss. 2007–2018, 2021, doi: 10.1007/s11356-020-08786-1.
- [112] S. Mondal ve G. Singh, “Pollution evaluation, human health effect and tracing source of trace elements on road dust of Dhanbad, a highly polluted industrial coal belt of India”, *Environ. Geochem. Health*, c. 43, sayı 5, ss. 2081–2103, 2021, doi: 10.1007/s10653-020-00785-y.
- [113] T. Shi ve Y. Wang, “Heavy metals in indoor dust: Spatial distribution, influencing factors, and potential health risks”, *Sci. Total Environ.*, c. 755, s. 142367, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142367.
- [114] W. U. Anake ve E. A. Nnamani, “Physico-chemical characterization of indoor settled dust in Children’s microenvironments in Ikeja and Ota, Nigeria”, *Heliyon*, c. 9, sayı 6, s. e16419, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16419.

7. EKLER

7.1. EK 1: ANKET ÇALIŞMASI

SORULAR	CEVAPLAR					
Binanın yaşı kaç?	< 5 yıl		>5 yıl			
Evde kaç kişi yaşıyor?	< 2	2-4	4 kişi den fazla			
Binanın yapısı nedir?	Beton	Ahşap	Gecekond	Tuğla	Çelik	Diğerleri
Isınmak için ne tür yakıt kullanıyorsunuz?	Doğalgaz	Kömür	Kömür ve Odun	Odun	Şişelenmiş gaz	Diğerleri
Fırında yemek pişirmek için ne tür yakıt kullanıyorsunuz?	Doğalgaz	Kömür	Kömür ve Odun	Odun	Tüp	Diğerleri
Evin zemin kaplaması nedir?	Cilalı ahşap	Sert ahşap	Laminat		Fayans	
Evinizin zemin seviyesi nedir?	Zemin kat	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4	Kat 4 üstü
Evde sigara içen var mı?	Evet		Hayır			
Eviniz ana caddeneye yakın mı?	Evet		Hayır			
Eviniz herhangi bir sanayiye yakın mı?	Evet		Hayır			
Elektrikli süpürgezinin torbası var mı?	Evet		Hayır			
Haftada kaç kez temizlik yapıyor?	1		2	2 den fazla		
Gün içerisinde ev havalandırılıyor mu?	Evet		Hayır			
Ev son bir yılda onarıldı mı/boyadı mı?	Evet		Hayır			
Evde evcil hayvanınız var mı?	Evet		Hayır			

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merve BELLİKLİ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Çevre Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2024
Lisans	Çevre Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Ön Lisans	Çevre Koruma	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Mersin Toroslar Lisesi	2007

YAYINLAR

M. Bellikli ve Z. Bozkurt, “Düzce İlinde Ev Tozlarının Elementel İçeriğinin Literatür ile Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi”, 8. *Ulusal Çevre Kongresi*, (çevrimiçi)5-26 Aralık, 2023. E-ISBN:978-625-98726-6-7, ss. 93–98, 2023.

M. Bellikli ve Z. Bozkurt, “Determination of Trace Element Levels in and Health Risks Posed by House Dust in Düzce Province”, *15th National 3rd International Environmental Engineering Congress (UCMK'23) of UCTEA Chamber of Environmental Engineers, Ankara, Türkiye*, (online)November23-25, 2023, (inpress). 2024.