

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



ÇEVRESEL ETKİLERİ BAKIMINDAN BAZI MİNERAL BETON
KATKI MADDELERİNİN KİMYASAL İÇERİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

İBRAHİM SALEH İBRAHİM ELAJAIL

DOKTORA TEZİ

DOÇ. DR. HAKAN ŞEVİK

OCAK - 2023
KASTAMONU

TEZ ONAYI

İBRAHİM SALEH İBRAHİM ELAJAIL tarafından hazırlanan “ÇEVRESEL ETKİLERİ BAKIMINDAN BAZI MİNERAL BETON KATKI MADDELERİNİN KİMYASAL İÇERİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **Tarih girmek için burayı tıklatın** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi	
Eş Danışman	Ünvan. Ad SOYAD XXX Üniversitesi (yoksa bu alanı siliniz)	
Jüri Üyesi	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi (yoksa bu alanı siliniz)	
Jüri Üyesi	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi (yoksa bu alanı siliniz)	
Jüri Üyesi	Ünvan Ad SOYAD XXX Üniversitesi (yoksa bu alanı siliniz)	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V.

Doç. Dr. Osman ÇİÇEK

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

IBRAHİM SALEH İBRAHİM ELAJAIL

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÇEVRESEL ETKİLERİ BAKIMINDAN BAZI MİNERAL BETON KATKI MADDELERİNİN KİMYASAL İÇERİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

İBRAHİM SALEH İBRAHİM ELAJAIL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DOÇ. DR. HAKAN ŞEVİK

Son yüzyılda dünya genelinde nüfus artışı ve nüfusun kentsel alanlarda yoğunlaşması, bu alanlarda yeni binaların yapılmasını zorunlu kılmıştır. Yapılan binalar büyük oranda betonarme binalar olup, temel yapıtaşını beton oluşturmaktadır. Beton ise çeşitli katkı maddelerinin bileşiminden oluşmaktadır. Günümüzde betonun yoğun kullanımından dolayı beton katkı maddeleri konusunda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Ancak, bu katkı maddelerinin kimyasal içerikleri konusunda yapılmış çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu katkı maddelerinin kimyasal içerikleri konusunda önemli bilgi eksikliği bulunmaktadır ve bu durum sektörde çalışan insanların sağlığı yanında inşaat faaliyetlerinin çevresel etkileri konusunda da bilgi eksikliği oluşmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, beton katkı maddesi olarak kullanılan bazı malzemelerde, insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olan ağır metallerden Pb, Cr, Zn, Ba, Mn, Li, Ga, Ag, B, Co, Bi, Mg, As, Cd, Ni, Se, Pt, Na, K, Ca, Fe, Cu, In, P, Sr, S, V, Sn, Au, Ti, Mo, Nb, Sb, Ge ve Al elementlerinin konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları özellikle bazı çimentolar ile yüksek fırın cürufu ve bakır cürufu gibi bazı katkı maddelerinde çalışmaya konu metallerden insan ve çevre sağlığı bakımından son derece zararlı olabilen Pb, Cr, Zn, Ba, Mn, Li, Ga, Ag, B, Co, Bi, Mg, As, Cd gibi metallerin çok yüksek konsantrasyona ulaşabileceğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Beton, katkı maddesi, kimyasal içerik, ağır metal

Ocak 2023, 110 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

COMPARISON OF CHEMICAL CONTENTS OF SOME MINERAL CONCRETE ADDITIVES IN TERMS OF ENVIRONMENTAL EFFECTS

IBRAHIM SALEH IBRAHIM ELAJAIL

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**

SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

In the last century, worldwide population growth and the concentration of the population in urban areas necessitated the construction of new buildings in these areas. The buildings are mostly reinforced concrete, and the basic building block is concrete. Concrete, on the other hand, consists of a combination of various additives. Due to the intensive use of concrete, many studies have been carried out on concrete additives. However, the number of studies on the chemical contents of these additives is quite limited. There is a significant lack of information about the chemical contents of these additives, which causes a lack of information about the environmental effects of construction activities as well as the health of the people working in the sector.

In this study, heavy metals such as Pb, Cr, Zn, Ba, Mn, Li, Ga, Ag, B, Co, Bi, Mg, As, Cd, which are highly harmful to human and environmental health, were investigated in some materials used as concrete additives. Concentrations of Ni, Se, Pt, Na, K, Ca, Fe, Cu, In, P, Sr, S, V, Sn, Au, Ti, Mo, Nb, Sb, Ge and Al elements were evaluated. The study results include Pb, Cr, Zn, Ba, Mn, Li, Ga, Ag, B, Co, Bi have shown that metals can reach very high concentrations.

KEYWORDS: Concrete, additive, chemical content, heavy metal

January 2023, 110 Page

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince katkılarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Hakan ŞEVİK'e, numunelerin temin edilmesinde ve tez yazımındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Gökhan KAPLAN ve Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR'a, tezimden yazılan makaledeki katkıları dolayısıyla Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL ve Berkant IŞIK'a, tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Mehmet ÇETİN ve Doç. Dr. Nurcan YİĞİT'e, özellikle de verilerin yorumlanması ve tez yazımındaki yardımları yanında manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

IBRAHİM SALEH IBRAHİM ELAJAIL

Kastamonu, 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Beton Katkı Maddeleri Konusunda Yapılan Çalışmalar	4
2.2 Ağır Metaller Konusunda Yapılan Çalışmalar	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1 Materyal	35
3.2 Yöntem.....	36
3.3 Verilerin Değerlendirilmesi	36
4. BULGULAR	38
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	84
6. ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1 Pb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	39
Şekil 4.2 Cr (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	40
Şekil 4.3 Zn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	41
Şekil 4.4 Ba (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	43
Şekil 4.5 Mn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	44
Şekil 4.6 Li (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	45
Şekil 4.7 Ga konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	47
Şekil 4.8 Ag (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	48
Şekil 4.9 B (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	49
Şekil 4.10 Co (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	51
Şekil 4.11 Bi (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	52
Şekil 4.12 Mg (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	53
Şekil 4.13 As (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	55
Şekil 4.14 Cd (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	56
Şekil 4.15 Ni (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	57
Şekil 4.16 Se (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	58
Şekil 4.17 Pt (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	60
Şekil 4.18 Na (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	61
Şekil 4.19 K (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	62
Şekil 4.20 Ca (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	63
Şekil 4.21 Fe (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	65
Şekil 4.22 Bi (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	66
Şekil 4.23 Cu (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	67
Şekil 4.24 In (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	68
Şekil 4.25 P (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	70
Şekil 4.26 Sr (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	71
Şekil 4.27 S (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	72
Şekil 4.28 V (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	73
Şekil 4.29 Sn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	75
Şekil 4.30 Au (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	76
Şekil 4.31 Ti (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	77
Şekil 4.32 Mo (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	78
Şekil 4.33 Nb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	80
Şekil 4.34 Sb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	81
Şekil 4.35 Ge (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi	82
Şekil 4.36 Al (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi.....	83

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Atık maddeler	35
Tablo 4.1 Malzemelerin Pb, Cr ve Zn içerikleri	38
Tablo 4.2 Malzemelerin Ba, Mn ve Li içerikleri	42
Tablo 4.3 Malzemelerin Ga, Ag ve B içerikleri	46
Tablo 4.4 Malzemelerin Co, Bi ve Mg içerikleri	50
Tablo 4.5 Malzemelerin As, Cd, Ni ve Se içerikleri	54
Tablo 4.6 malzemelerin Pt, Na, K ve Ca içerikleri	59
Tablo 4.7 Malzemelerin Fe, Bi, Cu ve In içerikleri	64
Tablo 4.8 Malzemelerin P, Sr, S ve V içerikleri	69
Tablo 4.9 Malzemelerin Sn, Au, Ti ve Mo içerikleri	74
Tablo 4.10 Malzemelerin Nb, Sb, Ge ve Al içerikleri	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
Pb	: Kurşun
Cr	: Krom
Zn	: Çinko
Ba	: Baryum
Mn	: Mangan
Li	: Lityum
Ga	: Galyum
Ag	: Gümüş
B	: Bor
Co	: Kobalt
Bi	: Bizmut
Mg	: Magnezyum
As	: Arsenik
Cd	: Kadmiyum
Ni	: Nikel
Se	: Selenyum
Pt	: Platin
Na	: Sodyum
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
Cu	: Bakır
In	: İndiyum
P	: Fosfor
Sr	: Stronsiyum
S	: Kükürt
V	: Açıklaması veya Adı
Sn	: Kalay
Au	: Altın
Ti	: Titanyum
Mo	: Molibden
Nb	: Niyobyum
Sb	: Antimon
Ge	: Germanyum
Al	: Alüminyum
°C	: Santigrad derece
km	: kilometre

Kısaltmalar

WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ATSDR	: Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Kurumu
GDA	: Geri dönüşüm agregası
YFC	: Yüksek fırın cürufu
UCK	: Uçucu kül
KRC	: Kireç
ODK	: Odun külü
ALC	: Alçı
KMT	: Kırmataş
PMZ	: Pomza
TBK	: Taban külü
SKU	: Silis kumu
TGT	: Tuğla tozu
SLD	: Silis dumanı
BKC	: Bakır cürufu
CII	: Cem II Çimento
VKL	: Vermikülit
CIV	: Cem Iv Çimento
DYT	: Diyatomit
CIH	: Cem III Çimento
CI	: Cem I Çimento
LST	: Lastik tozu
MMT	: Mermer tozu
ZEO	: Zeolit
PRL	: Perlit
KRP	: Kırmızı pomza

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ölçekte dünyanın baş etmek zorunda kaldığı ve geri döndürülemez olarak nitelendirilen iki büyük sorun küresel iklim değişikliği (Canturk ve Kulaç, 2021; Varol vd., 2021) ve kentleşme olarak tanımlanmaktadır (Dogan vd., 2022; Kilicoglu vd., 2021). Son yüzyılda sanayileşme ile birlikte, üretim için ihtiyaç duyulan hammadde gereksinimi artmış, yeraltındaki mineral kaynakların çıkartılarak yoğun bir şekilde sanayideki hammadde olarak kullanımına bağlı olarak çeşitli elementlerin hava (Cetin vd., 2020; Savas vd., 2021), su (Ucun Ozel vd., 2020) ve topraktaki (Jia vd., 2020; Kaplan vd., 2022; Yang vd., 2022) konsantrasyonları önemli ölçüde artmıştır. Böylece sanayileşme, küresel iklim değişikliği ve kentleşmeye ek olarak çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir (Cesur vd., 2021; Zeren Cetin vd., 2022).

Dünya genelinde nüfus artışına ek olarak, nüfus yoğunluğu kentsel alanlarda yoğunlaşmış, 1750 yılında dünya toplam nüfusunun %10'undan daha azı kentsel alanlarda yaşarken (Kilicoglu vd. 2020), 2019 verilerine göre bu oran %56 civarına yükselmiş (Karadag, 2020), 2030 yılına kadar ise %90'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Ghoma vd., 2022; Sen vd., 2018). Ülkemizde ise bu oran çok daha yüksek seviyelerde olup 2020 yılı itibariyle toplam nüfusun yaklaşık %93'ü kentsel alanlarda yaşamaktadır (Cetin vd., 2023). Bununla birlikte kırsal alanlardan kentsel alanlara göç halen devam etmekte (Kilicoglu vd. 2021), bu durum kentsel alanlarda birim alanda yaşayan insan sayısının önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak da birim alanda daha çok insanın yaşamasına imkân veren çok katlı binaların yapımı zorunlu olmaktadır (Kaplan vd., 2022).

Günümüzde inşaa edilen çok katlı binaların büyük bölümünün temel yapıtaşı betondur (Gencel vd., 2021). Beton, o kadar yoğun kullanılmaktadır ki, dünyada sudan sonra en çok tüketilen yapı malzemesidir (Bayraktar, 2021). Beton ayrıca inşaat maliyetlerinin de en önemli gider kalemlerinin başında gelmektedir. Beton maliyetlerini düşürebilmek amacıyla farklı maddelerin beton katkı maddesi olarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Kaplan vd., 2021a,b). Özellikle, diğer

sektörlerin üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atık malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeli konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Bayraktar vd., 2019).

Çoğunluğu çevresel kirleticisi olan bu maddelerin beton katkı maddesi olarak kullanımı, çevre kirliliğinin azaltılmasına da önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Cetin vd., 2019; Gencel vd., 2022a,b). Günümüzde çevre kirliliği, dünya genelinde en önemli problemlerin başında gelmektedir (Cetin vd., 2019; Kuzmina vd., 2023). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre nüfusun yaklaşık %90'ı kirli hava solumaktadır. Felç, kalp rahatsızlıkları, akciğer kanseri gibi çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilen hava kirliliğinin dünya üzerinde her yıl yaklaşık 7 milyon insanın ölümüne sebep olduğu belirtilmektedir (Cesur vd., 2022; Isinkaralar, 2022a). Buna ek olarak hava kirliliği atmosferin bileşiminde meydana getirdiği değişiklikler sonucunda doğrudan veya dolaylı olarak dünyanın ekosistemini etkilemekte, küresel iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır (Sevik vd., 2021; Tekin vd., 2022; Varol vd., 2022a,b).

Kirlilik etmenleri arasında; belki de en önemli ve tehlikeli olanları doğada uzun süre bozulmadan kalabilen, canlı bünyelerinde biyobirikim yapan ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya kanserojen olabilen ağır metaller olarak gösterilmektedir (Key ve Kulaç, 2022; Koç vd., 2022; Pirinc Bayraktar vd., 2022). Ağır metal içeriği yüksek olan maddelerin beton katkı maddesi olarak kullanımı, beton içeriğini önemli ölçüde değiştirebilmektedir (Elajail vd., 2022). Beton, binaların en temel yapı taşıdır (Gencel vd., 2022c,d) ve bundan dolayı beton içeriği, çevresel etkileri bakımından büyük önem taşımaktadır. Çünkü inşaat faaliyetlerinin hem yapım hem de yıkım aşamasında havadaki partikül madde miktarını en çok etkileyen faktörlerden birisi olduğu belirtilmektedir (Elajail vd., 2022). Partikül maddeler de hava kalitesini belirleyen en önemli etkenlerdendir (Elsunousi vd., 2021; Key vd., 2022) ve beton bileşiminde bulunan partikül maddelerin kimyasal yapısı da çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla beton katkı maddesi olarak kullanılan malzemeler içerisindeki kimyasallar, hem yapım aşamasında inşaat faaliyetlerinde çalışan işçiler, hem kullanım esnasında konutlarda yaşayan insanlar, hem de yıkım aşamasında bütün çevre açısından tehdit oluşturabilir (Elajail vd., 2022).

Bundan dolayı beton bileşimini oluşturan katkı maddelerinin zararlı element içeriklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ancak, yapılan çalışmaların neredeyse tamamı, söz konusu katkı maddelerinin, beton özelliklerine etkisi konusunda yapılmaktadır (Gencel vd., 2021). Oysa, bu katkı maddelerinin kimyasal içerikleri konusundaki verilerin yeterli düzeyde olmaması, ağır metaller başta olmak üzere insan sağlığını tehdit edebilecek kimyasalları içermeleri riski, sektörde çalışan insanların sağlığı yanında inşaat faaliyetlerinin çevresel etkileri konusunda da bilgi eksikliği oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, beton katkı maddesi olarak kullanılan bazı katkı maddelerinde, insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olabilen bazı element içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Beton Katkı Maddeleri Konusunda Yapılan Çalışmalar

Çalışma kapsamında değerlendirilen beton katkı maddelerinin genel özellikleri ile bazı atık maddelerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliğine ilişkin bazı çalışmalar bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır.

Çimento; Günümüzde yapı malzemelerinin vazgeçilmezi haline gelen çimento, su ile kolayca birleşerek hidrolik bir bağlayıcı oluşturan bir maddedir. Çimento üretiminde katkı maddesi olarak çoğunlukla puzolanik özellik gösteren malzemeler kullanılmaktadır. Puzolanik malzeme, kendiliğinden bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az olan, ince öğütüldüklerinde kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelere denilmektedir. Bu bağlayıcılığı kazanabilmesinin en büyük etkenlerinden biri, bünyesinde reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum dioksit (Al_2O_3) bulundurmasıdır. Normal şartlar altında bağlayıcı olmayan bu silisyum dioksit, çok ince öğütüldüğü durumda bağlayıcılık etkisi kazanmaktadır. Puzolanik maddeler genelde yüksek oranlarda kolloidal halde silisyum ve alüminyum içermektedir (Akan, 2019). Genel çimentolar 5 ana tipte gruplara ayrılmıştır. Bunlar: CEM I Portland Çimentosu, CEM II Portland Kompoze Çimento, CEM III Portland Yüksek Fırın Cürufllu Çimento, CEM IV Puzolanik Çimento ve CEM V Kompoze Çimentodur (Karakulak, 2019).

Uçucu kül; günümüzün en önemli enerji kaynaklarından biri olan kömürün ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak için kömür kullanılan termik santrallerde düşük kalorili kül oranı yüksek olan linyitler tercih edilmektedir. Termik santrallerdeki kömürün yanması ile ortaya baca gazı, cüruf ve uçucu kül gibi atıklar ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de yılda yaklaşık olarak 45 ton kömürün yakılması ile 15 milyon ton uçucu kül atığı meydana gelmektedir. Bu da önemli bir atık ve çevresel sorunu beraberinde getirmektedir. Uçucu küllerin endüstriyel atık olmasından dolayı geri dönüşüm malzemesi olarak diğer sektörlerde değerlendirilebilme imkânı bulunmaktadır (Güler vd. 2005).

Uçucu Kül; Elektrik enerjisi hidroelektrik santrallerinden ve kömür ile çalışan termik santrallerden, bunlara ek özellikle son yıllarda ise doğalgaz santrallerinden elde edilmektedir. Termik santrallerinde daha az kalorili linyit kömürleri yakılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi esnasında toz haldeki bu kömürün yakılması neticesinde baca gazları ile sürüklenip, elektro filtreler ile tutulan çok küçük boyutlu kül tanecikleri oluşmaktadır. Uçabilen ve atık olarak değerlendirilen bu küllere “Uçucu Kül” denilmektedir (Karakulak, 2019). Keefer ve Sajwan, (1993) kömür külünü; kalsine edilmiş veya pişmiş kile benzer kimyasal ürünler olarak tanımlamaktadır. Uçucu kül, kimyasal olarak alüminyum, silikon, demir ve kalsiyum oksitleri olan küçük ayrı cam censferlerden oluşan toz halinde bir üründür. Kömür külünden üç tür kül meydana gelmektedir. Bunlar uçucu kül, taban külü ve kazan cürufu olarak adlandırılmaktadır. Küllerin üretimi ve karakteristiklerinin belirlenmesindeki etken üretilen miktara, kazan tipine, yakılan kömürün özelliklerine, kömür kompozisyonuna, yakma sistemine ve/veya işlenme şekillerine bağlıdır (Görhan vd. 2009; Güler vd. 2005).

Uçucu kül ve volkanik kül çimentonun hidratasyonu sırasında açığa çıkan kireçle reaksiyona girmeleri nedeniyle puzolanik malzemelerdir (Hossain, 2004). Uçucu küller çok ufak taneli koyu gri renktedir. Renginin koyu ya da açık olması elde edildiği kömürün yanma özelliklerine göre değişmektedir. Yanmanın tam gerçekleşmediği durumlarda uçucu külün siyah olmasını sağlayan içinde bulunan yanmamış halde bulunan aktif karbondur. İyi şekilde yanmış bir açıcı külün rengi ise daha açık bir renkte olmaktadır. Uçucu külün incelik boyutu kazana giren kömürün öğütülme derecesi ile ilgilidir. Diğer bir faktör ise bacadan çıkan küllerin tutunması ile ilgilidir. Bacadan dışarı çıkan miktar azaldıkça küllerin incelik boyutu artmaktadır. Uçucu küllerin boyutları genellikle 0,5 ile 200 μm arasında değişmektedir. Küller camsı ve çoğunlukla da küresel karakterlidir. Spesifik yüzeyleri 1800 - 5000 cm^2/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm^2/gr civarındadır (Güler vd. 2005).

Bugüne kadar yapılan çeşitli çalışmalarda uçucu külün beton katkı malzemesi olarak değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Örneğin Wang vd., (2022b) atık materyal olan uçucu külün çimento ve agrega yerine kullanımını ve bu kullanım sonucu oluşan beton harcının mekanik dayanımlar ve bazı dayanıklılık özelliklerine göre aktivitesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda uçucu külün çimento ikame malzemesi olarak en

ideal kullanımının tuğla tozu ile karıştırılarak olduğu ve böylece betonun hem mukavemet hem de bazı durabilite özelliklerini olumlu yönde etkilediği vurgulanmış, uçucu külün beton içerisinde %10'luk kullanımının en ideal kullanım olduğu ancak bazı durabilite özelliklerinden taviz verilerek %20 oranına kadar kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kaplan vd., (2020), çimento ve uçucu kül bünyesinde bulunan ağır metallerin hidratasyon ve çevre sağlığı açısından değerlendirmesini yapmışlardır. Çimentonun su ile reaksiyonu sonucunda oluşan C-S-H, etranjit, CH, monosülfat gibi hidratasyon ürünlerinin uçucu küllerin bünyesinde bulunan insan sağlığı açısından zararlı olan kurşun, baryum, nikel, vanadyum, molibden ve kobalt gibi ağır metallerini bağlama özelliği bulunduğundan ve bundan dolayı da bu gibi zararlı ağır metallerin çimento sektöründe kullanılarak bertaraf edilebileceğini belirtmişlerdir (Güler vd., 2005). Ağır metal içeriği yüksek olan kömür atığı uçucu küllünün de çimento ile birlikte kullanılarak zararlarının azalacağını da belirtmişlerdir. (Sayılğan ve Kürklü, 2018; Turgut, 2018), termik santrallerden oluşan uçucu küllerin metal veya ağır metalbirikimlerinin fazla olması depolama alanlarına döküldükten sonra ciddi çevre ve sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir. Termik santrallerde meydana gelen atıkların azaltılması işçi ve çevre sağlığı açısından fayda sağlayacaktır (Kaplan vd., 2020).

Şahin vd., (2022), C tipi uçucu külün, farklı öğütme sürelerine göre (0, 10, 20 dk) çimento içerisinde %10 oranında karıştırılarak elde edilen uçucu kül katkılı betonların, %5 ve %10 sülfatlı suya maruz bırakılarak betonun performansını ve direncini sülfat atağına karşı etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda uçucu kül ikame edilmiş betonların normal betonlara göre sülfat etkisine karşı direncinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. %10 uçucu kül ikame edilen ve 20 dk öğütme işlemi uygulanan numunelerin performans ve dayanımlarının en iyi seviyede olduğu görülmüştür. Uçucu küllerin incelik artışı sülfata karşı direncin artmasına fayda sağlamıştır. Ayrıca beton içerisine karıştırılan uçucu küllerin inceliğinin artması, betonun geçirimsizliğini azaltarak beton içerisine agresif suların girişini de azaltmıştır. Uçucu kül gibi puzolan ürünlerin beton bileşiminde çimento olarak tercih edilmesi hidratasyon sonucu zarara neden olan kimyasal reaksiyonların oluşmasını

engellemektedir. Uçucu küllerin ince taneleri beton içerisindeki boşlukları doldurarak dayanımı daha yüksek betonların oluşturulmasına ve kimyasal reaksiyon sonrasında C-S-H yapısı ile daha kompakt bir hale gelmesi ile de uzun ömürlü, dışarıdan gelebilecek saldırılara karşı dayanıklı ve durabilitesi yüksek betonların elde edilmesine imkân sağlamıştır.

Topçu ve Cambaz, (2001), betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan endüstriyel bir atık olan uçucu külün kullanımının özelliklere etkisini araştırmışlardır. Çayırhan Termik Santralinden elde etmiş oldukları uçucu kül ile Eskişehir bölgesinden alınan agregalar ile PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanarak beton numuneleri oluşturmuşlardır. Numunelere 300, 350, 400 kg/m³ dozaj uygulaması yapmışlardır. Bu dozajların her birine çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül karıştırılarak beton numunelerini hazırlamışlardır. Çalışma sonucunda taze betonların yayılma, çökme, birim ağırlık ve VeBe deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda işlenebilirlik açısından bakıldığında uçucu kül katkısız betonlara göre dozaj azaldıkça uçucu kül katkılı betonların VeBe sürelerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Uçucu kül miktarının arttırılması ile beton dayanımının daha geç kazanıldığı ve uçucu külün kullanılması ile beton basınç dayanımının azaldığını belirlemişlerdir.

Geri dönüşüm agregası; Sefidehkhan ve Şimşek, (2018) geri dönüşüm agregalarının aynı boyuttaki kırma taş agregasına göre su emme oranları çok daha yüksek olurken yoğunluklarının daha az olduğunu; bu durumun geri dönüşüm agregalarının pürüzlü yüzeylerinin daha olmasından, boşluklu bir yapıya sahip oluşunun ve bünyesinde bulunan çimento hamurunun fazla su emmesinden dolayı (Demirel ve Şimşek, 2015), da olabileceğini belirtmiştir. Döndüren ve Şişik (2016), GDA'sının kuru ağırlığının ve yüksek geçirgenliğinin %5-10 oranında su tutma özelliğinde olduğunu belirtmişlerdir. Bundan dolayı su emme oranı yüksek olan geri dönüşüm agregasının ikame oranında artış olurken çökme değerini azalmaktadır (Sefidehkhan ve Şimşek, 2018). Aydın vd., (2021) geri dönüşüm agregası ile oluşturulan beton gruplarının geri dönüşüm agregasının artışının su emme kuvvetinden artışa, birim hacim ağırlık, komposite, basınç dayanımı ve yoğunluk gibi diğer değerlerinin de düşüşüne sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir. Beton numunelerinin hazırlanmasında geri dönüşüm agregalarının

fazla kullanımının beton işlenebilirliği üzerine olumsuz etki yaptığını da vurgulamışlardır.

Döndüren ve Şişik, (2016), taze harç ile geri dönüştürülmüş agregası arasındaki aderansın düşük olmasından dolayı betonun dayanımının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Normal betona göre geri dönüştürülmüş agregası kullanılan betondaki donma-çözünmeden sonraki ağırlık kaybının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Genellikle geri dönüştürülmüş agregalardan aynı beton miktarı ve işlenebilirlik için yapılan betonun mukavet değerinin geleneksel beton değerinden bir sınıf daha düşük olduğunu söylemişlerdir. İnşaat beton üretiminde geri dönüştürülmüş agregalı beton ile normal beton arasındaki farkın da düşük olmasından dolayı geri dönüştürülmüş agregası ana agregası olarak kullanılabilir.

Kadiroğlu vd., (2017), yapmış oldukları çalışmada inşaat moloz atığının ve geri dönüşüm agregasının kullanımının beton birim hacim ağırlığını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca genel olarak betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini ancak inşaat moloz atığı ve geri dönüşüm agregalı karışımlarda yüksek çimento dozajlı karışımlarda basınç dayanım kaybının daha az olduğunu belirtmişlerdir. Artan çimento dozajı ile klor iyon geçirimsizliğinin azaldığı ve artan geri dönüşüm agregası ikamesi ile de azaldığını tespit etmişlerdir.

Göksu, (2021), geri dönüştürülmüş agregası kullanılmış beton ile üretilen kolonların kırılma eğrilerinin deprem sonrası performansa dayalı yapısal değerlendirmesini incelemiştir. Geri dönüştürülmüş agregası kullanılarak oluşturulan betonlardan oluşan kolonlarda, göçme modu ve donatı tipi fark etmeksizin tüm kolonlarda betonun ezilmesini önlemekte olan daha küçük basınç derinliği olduğu için düşük eksenel yüklerde daha büyük deformasyonlar görüldüğünü belirtmiştir. Tüm hasar durumları için, geri dönüştürülmüş agregası karıştırılan beton ile üretilen çerçeve tipi numunelerin kolonlarından elde edilen öteleme oranlarının hem kolon hem de kirişlerdeki deformasyonları içerdiğinden daha düşük değerlere doğru bir eğilim gösterdiğini belirtmiştir.

Başka bir çalışmada lastik agregası ikamesi ile ilgili yapılan betonda lastik agregaları hem taze hem de sertleşmiş betonun bütün özelliklerini kötüleştirdiği tespit edilmiştir. Bu tür lastik agregası kullanılacak olan betonların önceden detaylı bir deneysel çalışmadan geçmesi gerekmektedir. Lastik agregalı betonların yüksek mekanik özellik gereksinimi duyulmayan işlerde kullanılması lastik atıklarının geri dönüşümünde etkili ve güvenli bir yöntem olacaktır (İpek vd., 2022). Abut, (2022), Türkiye’de her yıl 300.000 ton civarında kullanılmış araç lastiği atığının meydana geldiğini ve bu araç lastiklerinin ekonomik ve çevreci yolların yapılabilmesi ve sürdürülebilirlik açısından asfalt kaplamalarda kullanımının ekonomik ve tasarımsal yönden avantaj sağlayacağını belirtmiştir. Ayrıca öğütülmüş lastik granüllerinin, kuru işlem uygulanarak bitüm ağırlıklarının %20’si kadarının karışıma ilave edilerek esnek üst yapı sistemlerinde elastikiyet kabiliyeti daha yüksek kaplamaların yapılabileceğini tespit etmiştir.

Frigione, (2010), yaptıkları çalışmada betonda yıkanmamış geri dönüştürülmüş pet şişelerin %5 doğal ince kum ikamesini incelemiştir. Yıkanmamış pet şişe ikamesi içeren betonun basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımını referans betonlara göre %0,4-1,9 daha düşük, ancak sünekliğini biraz daha yüksek bulmuşlardır.

Rashad, (2016), Portland çimentosuna katkı malzemesi olarak atık kauçuk malzemelerin harç/beton karışımlarında kısmen veya tamamen doğal ince agregası olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Harç/beton karışımına kauçuk kumunun uygun W/C oranına göre ikame edilmesi ile betonun aşınma direncini arttırdığını, betona %5 kauçuk kumu eklenmesi ile de sülfata karşı korozyon direncine yol açtığını tespit etmiştir. Betona %10’dan daha fazla kauçuk kumu eklenmesi donatı kütlesi kaybının artmasına neden olmuştur. Kauçuk kum betonun donma/çözünme direncini, ısı yalıtımını, ses emilimini, sünekliğini, tokluğunu ve elektrik direncini de artırmıştır. Fakat betona kauçuk kumunun karıştırılması mekanik mukavemetin, karbonasyon ve korozyon direncinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca kauçuk kumun betona eklenmesinin yangına dayanıklılığı azalttığını belirtmiştir.

Ogrodnik vd. (2018), yüksek sıcaklık durumu dikkate alınarak sıhhi seramik atıklarının betona agregası olarak kullanılmasına ilişkin araştırma yapmışlardır. Çalışma

kapsamında tasarlanan betonun Boehme bıçağı ile aşınma testi uygulanmıştır ve ayrıca silindirik numuneler üzerinde basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Araştırmada Polonya sıhhi seramik fabrikalarından birinde agregası olarak yalnızca öğütülmüş atık seramikleri kullanmışlardır. Bu agregalar 4-8 mm fraksiyonlu ve ortalama kırma oranını %6,75 olan seramik kırıntılardan oluşmaktadır. Benzer diğer agregaların kırılma oranları; kireçtaşı agregasının kırma oranı %18-20, granit yaklaşık %18, kuvarsitik kumtaşı yaklaşık %15'tir; çakıl ise %12-16'dır. Bu da sıhhi seramik atıklarından elde edilen agregaların kırılmaya karşı dayanıklı olduğu göstermektedir. Portland ve çeşitli havalandırıcı katkı içeriğine sahip kalsiyum alüminat çimentosu üzerinde karışımlar bazı karışımlar denemişlerdir. Bu numunelerin, mukavemet testlerinden önce başlangıçta 400 veya 800 °C'de tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlamanın faz içeriğine ve beton numune yapısına etkisini belirlemek için, faz içeriği (XRD—X-ışını kırınımı) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) üzerinde analizler yapılmıştır. Basınç dayanımı testleri, seramik agregası ve kalsiyum alüminat çimentosu içeren betonun yüksek sıcaklıklara karşı önemli bir direnci olduğunu belirlemiştir. Aşınma testleri, seçilen karışımların aşınmaya karşı yüksek bir dirence sahip olduğunu ve beton kaplama olarak uygulanabileceğini göstermiştir. Kalsiyum alüminat çimentosu formundaki bağlayıcı kullanılarak elde edilen betonun sıkıştırmaya karşı yüksek direnç göstermiştir. Havalandırma katkı maddesinin etkisi, kalsiyum alüminat çimentosu içeren bazı numuneler grubunda hafif bir mukavemet artışı belirlemiştir. Böyle bir geri dönüşüm ürünlerinin agregası olarak kullanılmasının doğal kaynak çıkarma ve kullanımının azaltılmasına katkıda bulunabileceğini ve bu tür atıkların değerlendirilmesine olanak sağlayacağını belirtmişlerdir.

Yüksek fırın cürufu (YFC); İçerisinde oldukça fazla miktarda demir filizleri bulunan kayalar, 1400 °C'de “Yüksek Fırın” adı verilen fırınlarda ısıtılırlar. Bu fırınlarda eriyen demir filizleri akkor halinde aşağıya doğru akarlar. Akkor halinde erimiş demir, çelikhaneye taşınır. Fırın içerisinde geriye kayaç kalıntıları kalır ve bunlar soğumaya bırakılırlar. Soğuduktan sonra elde edilen, kum görünümlü bu malzemeye “Yüksek Fırın Cürufu” denilmektedir. Kısaca cüruf, ham demir üretimi artığıdır (Karakulak, 2019). Yüksek Fırın Cürufu; aluminosilis, silis, kalsiyum ve bazik esaslı bileşikler içeren, yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında ısı etkisi ile sıvı hale geçmiş katı bir maddeden oluşan bir atık üründür. YFC; %37,00 CaO, %34,00 SiO₂, %11,00 Al₂O₃,

%8,00 MgO, %2,10 MnO, %1,10 Fe₂O₃, %2,85 TiO₂, %0,90 S'den oluşmaktadır. Kızdırma kayı ise %1,00 olmaktadır. Yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığı 2,51 g, tane boyutu $\mu\text{m} \leq 50$ 'dir (Bingöl ve Balanji, 2019).

Cürufların elde edildikleri ürün tipine ve üretim yöntemlerine göre kimyasal bileşimleri ve özellikleri farklılık göstermektedir. YFC'ler Tip H ve Tip G iki gruba ayrılmaktadır. Gruplandırmada YFC'lerin işlevsellikleri dikkate alınmaktadır. Tip H tipi YFC'ler, puzolanik özelliği diğerlerine göre daha yüksek olan çok ince toz halinde öğütülen, sıvı haldeki YFC'nin su ile doyurulması ile ya da su ve havanın birlikte kullanılarak söndürülmesi ile oluşan bir üründür. Tip G ürünü; ergimiş halde bulunan YFC'nin hava veya az miktarda su ile soğutulmasıyla puzolanik özelliği çok zayıf olan çok ince taneli camsı yapı haline getirilmesi ile oluşan bir üründür. Tip H cürufunun camsı madde oranı daha yüksektir. Çok hızlı soğutulmasından dolayı düzensiz bir yapıya sahiptir. Düzensiz yapısı nedeniyle daha reaktif bir ürün olduğundan Tip H'ler beton üretiminde daha çok tercih edilmektedir. YCF'lerin aktivitelerinde etkin olan temel faktörler; kalsiyum içeriklerinin yanı sıra, karakteristikleri, tane boyutları, camsı madde bileşimi ve oranıdır. Cürufların tane boyutları ne kadar küçük olursa betonun erken dayanımına sağladıkları katkı da o kadar artmaktadır. Tane boyutları 45 μm 'den daha büyük olan cürufların hidrasyonu zorlaştığı için beton dayanımına katkısı düşük olmaktadır (Bingöl ve Balanji 2019; Erdoğan ve Gurbetçi 2003). Bugüne kadar yapılan bazı çalışmalarda yüksek fırın cürufunun beton ve diğer alanlardaki kullanımları incelenmiştir.

Ahmad vd., (2022), yapmış oldukları çalışmada, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanarak çimentoya alternatif olarak kullanımını ve bu konuda bilimsel çalışmalara ışık tutarak granüle yüksek fırın cürufunun fiziksel, kimyasal, hidrolik aktivitesi ve hidrasyon ısısı hakkında temel bilgileri tartışmışlardır. Granüle yüksek fırın cürufunun çimento içerisinde kullanımının akışkanlık ve mekanik dayanım üzerine etkilerini incelemişlerdir. Granüle yüksek fırın cürufunun betona ikamesinden dolayı hidrasyon ısısında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Sıradan Portlad çimentosunun granüle yüksek fırın cürufu ile değiştirilmesinde betonun işlenebilirliğini azalttığını bulmuşlardır. Cürufun kullanılmasıyla kuru büzülme, geçirgenlik, klorür penetrasyonu ve asit atağı gibi performanslarda dayanıklılığın

arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; granüllü yüksek fırın cürufunun kimyasal yapısının çimentonun kimyasal yapısına paralel olduğu sonucuna da varmışlardır. Yaptıkları incelemeler sonucunda cüruf eklenen betonun mukavemetinde belirli bir oranda artış gözlemlerken betonun akışkanlığında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca granüllü yüksek fırın cürufu içeren betonun dayanıklılığının da üstün olduğunu belirtmişlerdir.

Benzer bir çalışmada Shi vd. (2022a), titanyum içeren cürufların düşük maliyetli olması ve geri dönüşümlü olması nedeniyle titanyum endüstrisinin gelişimini ve sürdürülebilirliğini sağlamak açısından döngüsel ekonomide önemli bir yer tutabileceğini belirtmişlerdir. İkinci bir kaynak olarak yüksek dereceli titanya içeren cürufun geri dönüşüm için kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Aynı zaman titanyumun ortaya çıkartılırken yüksek elektrot tüketimi, yüksek reaksiyon sıcaklığı, yüksek hidroklorik asit tüketimi, cüruf ve kok arasındaki zayıf reaktivite, toksik HCl ve Cl₂ gazlarının atılması ve klorun kullanılması gibi dezavantajlarının da olduğunu belirtmişlerdir.

Shi vd., (2022b), yaptıkları başka bir çalışmada fiber takviyeli alkali ve aktifleştirilmiş malzemeler içerisine öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve hava soğutmalı yüksek fırın cürufu katarak ve 1000 °C' ye maruz bırakarak fiber takviyeli alkali aktifleştirilmiş malzemelerin performans gelişmesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda hava soğutmalı yüksek fırın cürufu katılan alkali ve aktifleştirilmiş malzemede cüruf katılmamış malzemeye göre daha az termal bozulma olduğunu belirtmişlerdir. Çelik, cam ve polipropilen elyafların karıştırılması ile alkali ve aktifleştirilmiş malzemelerin yüksek sıcaklarda termal direncini arttırdığını tespit etmişlerdir. Çelik liflerin, alkali ve aktifleştirilmiş malzemenin (%0,4 hacim), yüksek sıcaklıklarda eğilme mukavemetini ve tokluğunu daha iyi koruduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda alkali ve aktifleştirilmiş malzemelerin performansının bozulmasının ana sebebinin jel ayrışması ve mikro çatlak gelişmesinden kaynaklandığını söylemişlerdir.

Başka bir çalışmada El-Mir vd. (2022), çöl kumu ince taneleri ve yüksek fırın cürufu ile yapmış oldukları jeopolimer harcın taze ve sertleştirilmiş özelliklerini, maliyetini ve karbon ayak izi üzerindeki karışım tasarım parametrelerin etkisini incelemişlerdir.

DeneYlerin tasarımında Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Her biri üç seviyeye sahip olan ve toplam dokuz jeopolimer harç karışımına yol açan dört faktörü dikkate almışlardır. Faktörler, ince taneli çöl kumu değıştirme yüzdesi, alkali-aktivatör solüsyon/bağlayıcı oranı, sodyum silikat-sodyum hidroksit oranı ve sodyum hidroksit molaritesinden oluşmuştur. Çalışma sonucunda, yüksek fırın cürufunun %25, %50, %75 ve %100 oranında çöl kumu ince taneleri ile değıştirilmesi %100 yüksek fırın cürufu içeren kontrol karışına göre karbon ayak izini sırasıyla %3, %5, %5 ve %7 oranında azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüksek fırın cürufunun ince taneli çöl kumu ile değıştirildiğinde (her %25 değışimde) maliyeti (%7 oranında) azalttığını da belirtmişlerdir. Ayrıca ince taneli çöl kumu ile yüksek fırın cürufunun değıştirilmesi sonucunda jeopolimer harçlarda akışkanlığın azaldığını gözlemlemişlerdir. İnce taneli çöl kumu ve yüksek fırın cürufu karışimli geopolimer harçların taze ve sertleşmiş yoğunlukları %25 ince taneli çöl kumu ikamesi ilavesi ile arttığını ancak daha yüksek ikame seviyelerinde azaldığını belirtmişlerdir. İnce taneli çöl kumu değışimlerinin %50'den %75 ve 100'e çıkarmasıyla su emilimlerinin sırasıyla %102, %275 ve %344 yükseldiğini de tespit etmişlerdir. İnce taneli çöl kumu ve yüksek fırın cürufu karışımı olan geopolimer harçların nihai priz süresinin yüksek fırın cürufu ile ince taneli çöl kumunun değıştirmesi ile arttığını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları ANOVA sonuçlarına göre ince taneli çöl kumunun değışmesinin taze ve sertleştirilmiş özelliklere ve maliyete en yüksek katkıyı sağladığını ancak bunun aksine alkali-aktivatör solüsyon/bağlayıcı oranı, sodyum silikat-sodyum hidroksit oranı ve sodyum hidroksit molaritesinin de maliyeti ve karbon ayak izini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Kireç üretiminin başlangıç noktası kireçtaşıdır. Kireçtaşı kalsiyum karbonattan ve magnezyum karbonattan oluşan bir mineraldir. Kireçtaşı birçok biçimde bulunur ve kökeni, kimyasal bileşimi, yapısı ve jeolojik oluşumu açısından sınıflandırılmaktadır (Oates, 2000). Kireç, kireçtaşının 850- 1400 °C'de yanması sonucu elde edilen, su veya havada katılaşma özelliği gösteren beyaz renkli inorganik esaslı bir bağlayıcıdır. Kirece sönmemiş kireç de denilmektedir. Sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucu sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) meydana gelmektedir (Çiçek, 1999; Mavi, 2000).

Cüruflar çeliğin üretiminde önemli bir yere sahiptir. Çelik malzemelerde kullanılan hammaddenin kontrolünü son aşamada ne derece önemli ise ilk aşamasında da

malzemelerin birbirine yapışması veya tutunmasında da o derece önemli olmaktadır. Kireç de bu aşamada kullanılan ekonomik ve çevre dostu olan cüruflardan bir tanesidir. Dolim ile birlikte kullanıldığında kirliliklere karşı panzehir görevi görerek çeliğin temizlenmesine ve refrakterlerin korunmasına katkı sağlamaktadır (Manocha ve Ponchon, 2018).

Kireç taşının ($\text{CaCO}_3\text{-CaMg}(\text{CO}_3)_2$) çeşitli derecelerde (850-1400 °C) pişirilmesi sonucu elde edilen su ile karıştırıldığında tipine göre hava veya suda katılaşma özelliği gösteren beyaz renkli inorganik esaslı bağlayıcı bir türdür. Kireç, kireç taşının yanmasıyla oluşmaktadır. Kirece sönmemiş kireç de denilmektedir. Sönmüş kireç sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksittir. Kireç, eski zamanlardan beri tuğla, blok ve taşların örülmesi için harç hazırlanmasında, bağlayıcı bir malzeme olarak duvar ve tavan sıvası ayrıca beton için bir şekil verici malzeme olarak kullanılmıştır. Tebeşir, kireç taşı, tamamen veya büyük bir miktar CaCO_3 içeren kalkerli malzemelerin yakılmasından yapılmıştır. Kirecin hammaddesi kalker taşı, tebeşir vb. gibi CaCO_3 (kalsiyum karbonat) kökenli kütleler veya dolomit gibi CaCO_3 , MgCO_3 (kalsiyum ve magnezyum karbonat) tan oluşan kütlelerdir. Birinci gruptan elde edilen kireç beyaz renklidir. İkinci gruptan elde edilen kireç ise esmer dayanımı nispeten daha yüksektir. Dört çeşit kireç mevcuttur. Çalı kireci, kömür kireci, mermer kireci ve esmer kireçtir. Kireci içindeki kil miktarına bağlı olarak yalnız havada katılaşma özelliği gösteren hava kireci (yağlı kireç) ve suda katılaşma özelliği gösteren su kireci (hidrolik kireç) olmak üzere iki grupta da ayırmak mümkündür (Mavi, 2000).

En düşük kirlilik seviyesine sahip yüksek kalsiyumlu yumuşak yanmış kireç, üretkenliğini potansiyel olarak arttırmaktadır. Kireçtaşı, genellikle ooidler, peloidler, krinoidler (deniz zambakları), deniz kabukları, algler, mercanlar ve çeşitli mikroorganizmalar gibi inorganik ve organik karbonat tanelerinin deniz tabanında ilerleyici birikimi ve çimentolaşmasından kaynaklanan tortul bir kayadır. Kireçtaşı aslında farklı kristallikler ve dokulara sahip büyük bir kayaç ailesini tanımlamaktadır. Karbonik asit ile çözünme ve çökeltme, az ya da çok yoğunluğa sahip yoğun kristalize bir taşta yol açmaktadır.

Kireçtaşı kimyasal saflığı, kirecin kimyasal saflığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Esas olarak taşın etrafına yerleştirildiğinde safsızlıkları gidermek için bazı olasılıklar vardır, ancak aksi takdirde daha sonraki işlem adımları, safsızlıkları bitmiş ürüne gömülü halde tutacaktır. Kireçtaşındaki ana safsızlıklar kil, silt, kum veya bazen organik madde şeklindedir. Kalsiyum (Ca) ve karbon dioksit (CO₂), Mg, Si, Al, S, P, K ve Na dahil olmak üzere safsızlıklarla birlikte kalsiyum karbonatı (CaCO₃) oluşturur. Metalurjik bir taş sınıfı, halihazırda minimum %95 karbonat (Ca ve Mg) gerektirir (Manocha ve Ponchon, 2018). Puzolanik malzemelerde bulunan amorf silika, kireç (kalsiyum hidroksit) ile birleşerek çimentolu malzemeler oluşturur (Hossain, 2004).

Pomza Tozu; Volkanik küllerin tatlı su göllerinde ve denizel ortamda yataklanması ile oluşmuştur. Toprağı nemli, geçirgen ve havadar tutar. Elektriksel olarak yüklü iyonların fazlalığı nedeniyle toprağa enerji verir. Toprağa besin elementleri takviyesi yapar (Çitoğlu ve Bayraktar, 2018). Bu katkı maddelerinin yanı sıra şeker fabrikası uçucu külü, taban külü (termik santral taban külü), pirinç kabuğu külü, tuğla tozu, mermer tozu, lastik tozu, odun külü, perlit tozu, tras, vermikülit, zeolit, diatomit, atapulgit gibi pek çok madde de beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Afshar vd., 2019; Ebrahimi vd., 2018; Golewski, 2018; Herath vd., 2019; Lukutsova vd., 2019; Reches, 2018).

Pomza, lavın katılaşması sırasında gazların salınmasıyla üretilen volkanik kökenli doğal, karmaşık lüminesans davranışına sahip, doğal, kristal olmayan, karmaşık bir katodo- ve termolüminesans ışıma eğrileri sergileyen doğal Si bakımından zengin bir malzemedir. Pomza pH nötrdür ve ayrışmaz veya yanmaz, lav akışı 800 °C'ye yakın sıcaklıklarda katılaşırken hapsolmuş gaz kabarcıkları içeren oldukça gözenekli ince taneli volkanik bir kayadır. Silikat bileşeni, ana camsı hamur içinde dağılmış küçük bir mineral mikro kristal (sanidin, plajiyoklaz, biyotit, vb.) fraksiyonundan oluşmaktadır. Camda, her bir silikon atomunun dört yüzlü koordineli oksijen atomu ile çevrelendiği ve bitişik silikon atomlarının tek bir oksijen atomu ile köprü bağlı olduğu varsayılmaktadır. Volkanik pomza, dünyanın birçok ülkesinde hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmaktadır. Pomza, hem toz halinde hem de pomza taşı olarak değerli bir ovma, ovma ve cilalama malzemesi olarak, geleneksel olarak

inşaat endüstrisinde ve biyotıpta kullanılmaktadır. Günümüzde pomza sabunların peelinginde, diş cilalama maddelerinde, içme suyunun filtrasyonunda veya kokunun giderilmesinde vb. inşaat ve inşaat malzemelerinin yanı sıra hava arıtma alanında kullanılmaktadır (Correcher vd. 2017; Çiftçi ve Meriç, 2016; Hossain, 2004).

Pomza, tarım, inşaat, kimya, tekstil ve diğer sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ramírez-Gómez, vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada pomza taşıyı tarımda kullanarak pomzanın fiziksel özelliklerini ve hidroponikte domatesin bitki morfolojisi, verim ve kalitesine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, daha yüksek nem tutma kapasitesine sahip ve topraktaki suyun alımının zorluğu ile büyüyen bitkilerin daha büyük gövde, kutup ve ekvatorial meyve çaplarına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Elenmiş pomza taşı substratının kullanılması ile en yüksek meyve verimine ulaşıldığını tespit etmişlerdir.

Wang, vd. (2022a), pomza betonu imalatında buz aşınma testi için agrega olarak pomza taşıyı kullanmışlardır. Buzun aşındırma sürecinde doğal pomza taşı betonunun aşınma miktarını, aşınma özelliklerini ve aşınma mekanizmasını analiz etmişlerdir. Doğal pomza taşı betonu üstündeki buzun aşındırma miktarlarının tahmini bir modelini oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda, doğal pomza taşı betonunun aşınma miktarı, mukavemet miktarının artmasıyla azalmıştır. Ortam sıcaklığının azalması ile de artmıştır. Sıvı basıncının doğal pomza taşına verdiği zararlar gözeneklerdeki mikro çatlaklar genişlemekte ve gözeneklerin tabanı da kaybolmaktadır. Hasarın merkez pomza taşı agregasından ara yüzey geçiş bölgelerine ve onu çevreleyen çimento malzemesine kadar uzandığını tespit etmişlerdir. Doğal pomza betonun açıklıklarının genellikle artan bir eğilim gösterdiğini ve aşınma yolunun artması ile birden fazla gözenegin birleşerek tek bir gözenek olduğunu belirtmişlerdir. Açıklıkların artması ile gözenek duvarında da ciddi bir hasar tespit etmişlerdir.

Başka bir çalışmada Indah vd. (2022), pomza taşının doğal absorpsiyon özelliğini arttırmak için Cu(II)'nin sulu çözeltiden uzaklaştırılarak fiziksel ve kimyasal işlemlerle modifikasyonunu değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, modifiye pomza kullanılarak uzaklaştırma veriminin ve Cu(II) alımının %71,19 ve 1,19 mg/g'dan %84,45 ve 1,41 mg/g'ye arttığını tespit etmişlerdir. En yüksek uzaklaştırma veriminin

ve Cu(II) alımı, asit çözeltisi için 300°C ısıtma sıcaklığında ve HCl'den elde etmişlerdir. Fiziksel uygulamalar ve kimyasal muameleler ile modifikasyonunun doğal ponzanın verimini ve ağır metal alımını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Hossain, (2004), inşaat sektöründe pomzanın çimento ikame malzemesi olarak kullanımını incelemiştir. Ağırlıkça %0-25 çimento ve hacimce %0-100 iri agrega değiştirilerek beton deneyleri yapmıştır. Volkanik pomza taşının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin hem taze hem de sertleşmiş çimento üzerindeki olası etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, farklı Portland çimentosu-volkanik pomza tozu karışımlarında standart testlerin volkanik pomza tozunun %15'i kadarının kullanılması ile daha yüksek sertleşme süresine sahip Portland volkan pomza çimentosu üretme potansiyeli gösterdiğini tespit etmiştir. Farklı yüzdelerde volkanik pomza agregası kullanarak volkanik pomza betonunun işlenebilirlik, mukavemet, kuruma büzülmesi, yüzey emme ve su geçirgenliği üzerine yapmış olduğu testler sonucunda volkanik pomza betonunun hafif beton olarak kabul edilebilecek yeterli dayanıma ve yeterli yoğunluğa sahip olduğu sonucuna varmıştır. Kontrol betonu ile karşılaştırıldığında volkanik pomza betonunun elastikiyetinin kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca daha fazla geçirgenliğe ve yüzey emilimine sahip olduğunu da tespit etmiştir.

Odun külü, organik ve inorganik bileşenler içeren doğal olarak alkali türevli bir maddedir. Odun külü, odun veya ağartılmamış odun lifinin yanmasından kalan organik ve inorganik bir kalıntıdır. Fiziko-kimyasal özellikleri dikkat çekici bir şekilde birden fazla parametreye bağlıdır. Genel olarak, sert ağaçlar yumuşak ağaçlardan daha fazla kül üretebilir. Yanma sıcaklığı, yakacak odun temizliği, toplama yeri ve uygulanan prosedür gibi çeşitli proses koşulları, endüstrilerde kül üretimini önemli ölçüde etkiler. Odun külü bileşimi coğrafi konuma ve uygulanan modifikasyon prosedürüne göre farklılık göstermektedir (Etiegni ve Campbell, 1991; Olanders ve Steenari, 1995; Rostamian vd. 2022). Son yıllarda artan sera gazı etkisinin azaltılması için inşaat sektöründe de sera gazı saldığı için çevre için önemli bir kirlilik kaynağı olan çimento için alternatif malzemeler araştırılmaktadır. Geopolimerler, alüminosilikat içeren tüm endüstriyel atıklar yeniden kullanım ve beton uygulamaları için en iyi alternatif malzemelerden biridir. Atık odun külü, jeopolimer üretiminde diğer atık malzemelerle

birlikte kullanılır. Kâğıt hamuru ve kâğıt, odun yakan endüstriyel tesisler ve odunla çalışan tesislerde bulunmaktadır. Atık odun külünün kalitesi ve miktarı, farklı özelliklere, özellikle atık odunun yanma sıcaklığına ve atık odun için kullanılan yakma tekniğinin türüne bağlıdır. Bu nedenle, jeopolimer beton karışımlarının geliştirilmesinde bir bileşen malzeme olarak kullanılmadan önce odun külünün uygun sınıflandırması zorunludur. Odun külü parçacıklarının dağılımı genellikle çimentoya kıyasla daha grenlidir (Martínez-García vd. 2022). Bugüne kadar yapılan benzer çalışmalarda beton ikamesi malzemesi olarak odun külü tercih edilmiştir.

Martínez-García vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada atık odun külünün inşaat sektöründeki kullanımına yönelik bir inceleme yapılmakta ve mekanik, dayanıklılık ve mikroyapısal özellikler açısından gelişim eğilimleri değerlendirilmektedir. Odun külünün kimyasal düzenlemesinde odun biyokütlesinin elde edildiği ağaç türleri arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ve genellikle CaO ve SiO₂ elementlerini içerdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca odun külü jeopolimer karışımları düşük hidrasyon ısısına sahip olma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir. Jeopolimer beton karışımının hazırlanmasında fraksiyonel bağlayıcı ikamesi olarak odun külünün dahil edilmesi, jeopolimer betonun sıkıştırma, eğilme ve ayırık çekme mukavemetini azalttığını tespit etmişlerdir. Fraksiyonel bağlayıcı ikamesi olarak odun külü içeren jeopolimer beton karışımları, odun külü içermeyen karışımlara kıyasla güçlü asitlere maruz kaldıklarında paslanmaya karşı daha fazla direnç gösterdiğini tespit etmişlerdir. Beton karışımları dışında odun külünü Abelenda ve Aiouache (2022), yavaş salınan bir gübrenin hazırlanması için anaerobik çürütücünün değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Moure Abelenda vd. (2022)'de benzer bir çalışmada yavaş salınan bir gübre olarak davranması amaçlanan harmanda sıfır şarj noktası pH'ına ulaşmak için odun küllerinin eklenmesinden önce gerekli olan bir tarımsal atık çürütücünün ve bir gıda atığı çürütücünün asitlendirme işlemini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, optimum asit dozunun ve tipinin anaerobik çürütücünün doğasına çok bağlı olduğunu bulmuşlardır. Tarımsal atık çürütücünün maksimum tampon kapasitesi 0,07 mmol H⁺-H₂SO₄/g, olarak bulmuşlardır. Fakat, bunun daha fazla amonyak azotu içeriğine sahip gıda atığı çürütücünün eklenmesiyle arttığını tespit etmişlerdir. Daha fazla sindirilmemiş lif içeriğine sahip tarımsal atık çürütme ürününün, nitrik asit tarafından daha kolay oksitlendiğini belirlemişlerdir.

Harja vd. (2022), kilsiz tuğla üretiminde hammadde olarak iki kapsamlı atığın (atık su arıtma çamuru ve meşe odun külü) kullanılmasının fizibilitesini incelemişlerdir. Tuğla imalatında su arıtma çamurunun yerine ağırlıkça farklı miktarlarda (%10-30 arasında), meşe odunu külü ile yer değiştirmişlerdir. Kil içermeyen yeşil yapı tuğlasının özelliklerini, standart yöntemlerle geleneksel tuğlalarla karıştırmışlardır. Elde edilen ağırlıkça %30 meşe odunu külü içeriğinin gözenekleri artırarak, su emme üzerinde doğrudan etki ettiğini ve basınç dayanımını da azalttığını belirlemişlerdir. Su arıtma çamurunun meşe odunu külü ile değiştirildiğinde yüzeydeki çiçeklenme üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğunu ve CaO içeriğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ancak, ağırlıkça %30 meşe odunu külü içeren pişmiş numunelerdeki sızıntı sularındaki ağır metal miktarının Çevre Koruma Kurumu tarafından belirlenen limitlerin altında olduğunu belirlemişlerdir. Ağırlıkça %80 atık su arıtma çamuru ve ağırlıkça %20 meşe odun külü içeren tuğlaların, kil duvar malzemeleri için standart gereksinimleri karşıladığını görmüşlerdir.

Geopolimerler malzemeler inşaat sektöründe iyi bir beton bağlayıcı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Arunkumar vd. (2023) atıkların jeopolimer betona dahil ederek atıkların beton malzemesi olarak kullanılmasının giderek yaygınlaşacağını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada uçucu kül kullandıkları beton malzemesinin ikame oranlarını değiştirerek, uçucu kül yerine atık odun külünü beton ikamesi olarak kullanmışlardır. Araştırma sonucunda %30 atık odun külü ikamesi ile beton malzemesinin basınç ve çekme mukavemetinde bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Joseph vd. (2022), odun külünün toprak kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Biyoenerji üretimi için orman biyokütlesinin yakılmasına bağlı olarak artık odun külündeki artışında buna paralel olarak arttığını belirtmişlerdir. Atık olarak depolanan odun küllerinin ticari orman topraklarına uygulanması yönünde son yıllarda atan bir ilginin olduğunu vurgulamışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, odun külü uygulamasının saha verimliliği, üretkenliği, toprak biyoçeşitliliği ve toprak organik madde özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda odun külü uygulamasının fizyo-kimyasal etkilerinin uygulanmış olan topraklarda nispeten kısa ömürlü olduğunu ve saha verimliliği veya toprak kalitesi üzerinde değişiklik yapmak

için yüksek oranda odun külü uygulamasının veya tekrarlanan uygulamaların gerekli olabileceğini belirtmişlerdir. Odun külünün uyguladıkları alanlarda toprak organik materyali üzerinde kayda değer bir değişiklik oluşturmadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak orman toprağı üzerine odun külü eklenmesinin herhangi bir avantajlı veya zararlı etkisinin olmadığını görmüşlerdir. Kim vd. (2022)' de yapmış oldukları çalışmada artan odun külü kalıntılarının orman topraklarının Ca eksikliğinin giderilmesinde ve verimliliğı artırabileceğı yönünde çalışma yapmışlardır. Odun külünün orman topraklarına uygulanması sonucunda odun külü, verimliliğı artırırken topraktaki Ca ve diğer besin maddelerinin kaybının da önlenmesine yardımcı olabilecek materyal olduğunu belirtmişlerdir. Hem endüstriyel hem de endüstriyel olmayan kaynaklardan elde edilen odun külünün depolama alanlarına eklenen atık miktarlarını azalttığını, orman topraklarının ıslahında Ca ve diğer besin maddelerinin eksiklerinin giderilmesi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Farhain vd. (2022), bir kâğıt hamuru ve kâğıt fabrikasından gelen odun külü ve kâğıt çamuru atıklarının poting ortamı olarak potansiyelini ve bunların podzolik toprağın fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, odun külü ve kâğıt çamurunun podzolik toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirdiğini görmüşlerdir. Kâğıt çamurunun bitki büyümesi için daha iyi ortam oluşturmada toprağın hidrolojik özelliklerini iyileştirmekte odun külünden daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca saksı ortamına biyokömürün dahil edilmesi ile su kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Alçı; kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan alçıtaşı (jips), çimento sanayide, tıpta, dolgu malzemesi yapında, tarımda, dişçilikte ve kimya sanayide yaygın olarak kullanılan bir mineraldir (Bilgin, 2019).

Cao vd. (2022), artan kalsinasyon sıcaklıklarında alçı sıvanın özellikleri üzerindeki safsızlıkların etkisini araştırmışlardır. Fosfa alçının ve safsızlıkların faz dönüşümünü X-ışını floresan, X-ışınımı kırınımı, Fourier transform kızılötesi spektroskopi kullanarak karakterize etmişlerdir. Çalışma sonucunda, kalsinasyon sıcaklığındaki artışın daha yüksek anhidrit içeriğı ile sonuçlandığını ve kalsine fosfoalçının yüksek sıcaklıklarda (500 C- 800 C) benzer kimyasal ve mineral bileşimler gösterdiğini tespit

etmişlerdir. Ayrıca düşük kalsinasyon sıcaklıklarında 150-400 C zararlı safsızlıkların çok az miktarda değiştiğini ve bunun da daha yüksek hidratasyon derecesine sahip olmasına rağmen mekanik özelliklerinin azaldığını görmüşlerdir. Anhidrit hazırlamak için fosfoalçının geri dönüştürülerek geleneksel yapı malzemesi olarak kullanımının daha düşük enerji tüketimine yol açacağını belirtmişlerdir. Maleki vd. (2020), faz değiştiren malzemenin iç ortam hava sıcaklığındaki dalgalanmayı azalttığını ve yılın çoğu zamanında iç mekân termal konforunu koruyabildiğini tespit etmişlerdir. Bundan dolayı nanokapsüllenmiş faz değiştiren malzemenin alçıya katılarak kullanılmasının uygun olabileceğini belirtmişlerdir.

Kırma taş; dünya çapında agregalar ağırlıkça en fazla çıkarılan malzeme kaynaklarıdır. Kum, çakıl ve kırma taş topluca inşaat agregaları olarak adlandırılmaktadır (Ren, vd. 2022). Kırma taş tozu ve alüminyum külü endüstriyel atıklardır. Bu atıkların ana bileşenleri Si, Al ve O olduğundan, bu atıkların bazı türleri katalizör ve iyon değiştirici olarak ticarileştirilen zeolitlerin sentezi için başlangıç malzemeleri olarak kullanılabilir (Kuroki vd. 2019). Son yıllarda, kullanılan toplam agrega hacmi 40-50 milyar metrik tona ulaşmıştır (Ren, vd. 2022). Artan nüfusun taleplerini karşılamak için altyapıdaki hızlı büyüme, mühendisleri kritik altyapı onarımları için sürdürülebilirlik açısından daha fazla düşünmeye ve çalışmaya zorlamaktadır (Monteiro ve Silva, 2018; Mupparisetty vd. 2022). Kırma taş endüstrisinin faaliyetleri, inşaatta agrega olarak kullanılmak üzere taşların çıkarılması ve işlenmesi ile karakterize edilmektedir (Monteiro ve Silva, 2018).

Kırma taş inşaatın en önemli unsurlarından biri olmasının yanında yol çalışmalarının da temel alt yapısı olarak kullanılmaktadır. Kırma taş, her zaman tek başına tercih edilmemektedir. Bundan dolayı kum taşı ve molozla birlikte ikame edilerek de kullanılmaktadır (Hydzik-Wisniewska vd. 2018). Kırma taş madenciliği, ormansızlaşma, doğal kaynakların tüketilmesi, modifikasyon ve doğal bitki örtüsünün yok edilmesi gibi çeşitli çevresel etkilere neden olduğu için potansiyel kirletici olarak nitelendirilmektedir (Saha ve Padhy, 2011). Rajput, (2018), kırma taş tozunun hazır katı atık olarak çimento beton inşaat işlerinde doğal kuma alternatif olarak kullanıldığında malzeme ve inşaat maliyetlerini azaltabileceğini ve çevre sorunlarının düzeltilmesine yardımcı olabileceğini belirtmiştir. Salehi vd. (2021)'de kırma taş

atığının toprak özelliklerini iyileştirmek için stabilizatör olarak çimento ile birleştirilebileceğini belirtmişlerdir. Liang vd. (2022)'de, dereceli kırma taşın tekrarlı sıkıştırması ve eleme kullanarak taşın tekrarlı sıkıştırma karakteristik eğrilerinin gelişimi üzerine çalışmışlardır. Parçacık boyutu dağılımının fraktal boyutu ile tekrarlanan sıkıştırma süreleri, su içeriği ve kuru yoğunluk arasındaki korelasyonlarını analiz etmişlerdir. Testte kullanmış oldukları dereceli kırma taş parçacık boyutu dağılımının fraktal boyutu 2,33 ila 2,57 olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda tekrarlanan sıkıştırma süreleri arttıkça hem maksimum kuru yoğunluğunun hem de optimal su içeriğinin arttığını belirlemişlerdir. Sonuçlara göre fraktal boyutu arttıkça dereceli kırma taşın maksimum kuru yoğunluğunun arttığını tespit etmişlerdir. Sabit tekrarlı sıkıştırma dereceli kırma taşın parçacık boyutu dağılımının fraktal boyutunun arttığını ve su içeriğinin artması ile de azaldığını belirlemişlerdir.

Buruchenko vd. (2020), seramik fırınlarında kırma taş üretiminden elde edilen doleritin ince taneli atığının kullanılmasının, katı faz sinterleme sırasında atıkların her türlü hammadde için yağın büzülmesini azalttığını bulmuşlardır. Sinterleme sırasında sıvı fazın varlığında atıkların seramik malzemenin oluşumunu güçlendirdiği ve eşyalara da yüksek fiziko mekanik özellikler kazandırdığını tespit etmişlerdir.

Taban külü; kömür ile çalışan termik santrallerde yanma sırasında meydana gelen kazan tabanında mikron (μm) boyutundaki atık/ yan ürün olarak adlandırılmaktadır. Taban külü bileşimi genellikle silisyum ve alüminyum tabanlı olduğundan puzolanik özellik göstermektedir. Bundan dolayı harç ve beton katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Cihan vd. 2021; Karalar ve Konak, 2019). Öztürk Yarar (2021), ince agregalar, poliproblen lifler ve tabak külü içeren köpük beton karışımları üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, beton karışımlarının Amerikan Beton Enstitüsü yönergelerine göre orta mukavemetli beton olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca geliştirilmiş köpük betonun sürdürülebilir yapıların tasarlanmasına da katkı sağlayacağını vurgulamıştır.

Yılmaz (2020), düşük plastisiteli killi bir zemin üzerinde yapmış olduğu çalışmada, killi zemine uçucu kül (%25) ve mermer tozu (%0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında) ilavesi yapmıştır. Oluşturmuş olduğu karışımların geoteknik, dayanım ve indeks

özellikleri üzerinde durmuştur. İnceleme sonucunda sadece uçucu kül katkı maddesi içeren karışımlarına göre uçucu kül ve mermer tozu karışımlarının daha yüksek dayanıma sahip olduğunu belirlemiştir.

Silis kumu; kuvars doğada değişen saflıkta bulunmaktadır (Platias vd. 2014). Kuvars kumu, kaya döngüsünün önemli bir parçası olan kaya ayrışmasının son ürünü olarak adlandırılmaktadır (Shaffer, 2006). Başka bir deyişle kuvars, 2,5 km'den daha derinden olan kumtaşları içerisinde hacimsel olarak en önemli diyajenetik çimento türüdür (Oye vd. 2020). Tane boyutları 0,05-2 mm arasında değişmektedir (Kurşun ve İpekoğlu, 1995). Kuvars kumları beyaz renkli ince taneli bir mineraldir. Silis içeren kuvars kumu az miktarda kil, feldspat, demir oksit ve karbonatlar içermektedir. Kimyasal formülü ise SiO_2 'dir. Saf haldeki kimyasal içeriğinde %46,5 Si ve %53,3 O bulunmaktadır (Akçıl vd. 2007; Kurşun ve İpekoğlu, 1995; URL 1, 2022). Mosh skalasına göre sertlik derecesi 7, özgül ağırlığı 2,65, erime sıcaklığı ise 1785 °C'dir. Kuvars içeride doğada eriyik halde Na, Ti, Li, Mg ve Al elementleri bulunmaktadır (Akçıl vd. 2007).

Kuvars kumu, pomza, perlit, diatomit gibi yalıtımlı hafif bir malzemedir (Kurşun ve İpekoğlu, 1995). Kuvars kumunu diğer kumlar arasında ayırıcı davranış farklılıkları bulunmaktadır. Örneğin; kuvars ve kireçli kumları arasındaki davranış farklılıkları, sertlik, tane geometrisi, gradasyon ve parçacık içi boşlukların miktarlarındaki zıtlıklardan kaynaklanmaktadır. Kalkerli kumların ise ortalama rijitlik ve sönüm oranı trend eğrileri kuvars kumuna göre daha düşük olmaktadır (Brandes, 2011).

Silis kumu cam ve seramik endüstrisinde kullanılan önemli hammaddelerden birisidir. Silis kumu cam sanayisinde belirli bir tane boyu dağılımına ve kimyasal bileşimine sahip olmadığından dolayı doğrudan kullanılmaya uygun değildir. Bundan dolayı çıkarıldıktan sonra belirli işlemlere tabi tutularak cam sanayisinde kullanılabilir hale getirilmektedir. Ayrıca kuvars kumu döküm sanayide ve silika tuğla üretiminde, seramik endüstrisinde, inşaat sektöründe gaz beton ve metalurji üretiminde kullanılmaktadır (Akçıl vd. 2007; Bayat vd. 2004; Kurşun ve İpekoğlu, 1995; Özkan vd. 2001; Yüçetürk, 2010). Kuvars kumları içerisindeki ağır metal miktarı kuvars kumlarının kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Kuvars kumları içerisindeki demir

miktarı ne kadar düşük miktarda olursa uygulama alanı da o derece büyük olmaktadır. Demir içeriği 350 ppm'den düşük olan kumların kullanımları düz camlar için uygun olmaktadır. Demir içeriği 70 ile 105 ppm arasında olan son derece düşük demir miktarına sahip kumlar ise optik ve özel flot cam yapımı için uygun olmaktadır (Banza vd. 2006).

Tuğla tozu; tesislerde üretilen pişmiş kil tuğlaların çeşitli nedenle işlevsiz duruma gelerek öğütülmesi ile oluşan bir katkı maddesidir (Bayraktar, 2018; Bayraktar vd. 2019; Kinuthia ve Nidzam, 2011). Tuğla tozunun üretimi sırasında kesme işlemi yaparken ortaya çıkacak olan toz ve sürtünmeyi en aza indirmek için su jeti kullanılmaktadır. Tuğla tozu süspansiyonu, fazla suyun akması için kendir toplarında toplanmaktadır (Kinuthia ve Nidzam, 2011).

Kırma tuğla ve tuğla tozu gibi atıklar tarihi harçlarda hem bağlayıcı olarak hem de agrega olarak kullanılmıştır. Tuğla tozlarını, yapılara özel renk tonu verirken, matrislerin puzolotisini ve neme karşı dayanıklılığını arttırmak için ve karışımların yoğunluğunu azaltmak için tercih etmişlerdir (Pachta vd. 2021). Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde kırma-düz tuğla katkılı kireçler yaygın olarak kullanılmaktaydı. Bu harç yapımı Horasan harcı olarak bilinmektedir (Dinç-Şengönül vd. 2020). Bu uygulamaların örneklerine Bizans döneminde kireç esaslı harçlarda kullanmış oldukları kiremit, tuğla ve çömlleklerden elde edilen ezilmiş seramik malzemelerin kullanımında rastlanılmaktadır. Roma İmparatorluğunda da volkanik malzemelerin bulunmadığı zamanlarda puzolanik malzeme olarak taşıyıcı duvarların derzlerinde kırma tuğla yaygın olarak kullanılmıştır. Helenistik dönemden Osmanlı dönemine kadar direnç ve dayanıklılığı arttırmak için, su tutan yapıların duvarlarını nemden korumak amacıyla kullanılmıştır. Yaygın olarak hamam, kanal ve su kemerlerinde kullanımına rastlanılmaktadır. İnce tuğla tozlarını sıva için tercih ederlerken daha iri taneli tuğla parçalarını genel olarak duvarlarda, temellerde ve kemerlerde kullanmışlardır (Nežerka vd. 2014).

Kentsel dönüşüm nedeni ile ortaya tonlarca tuğla atığı ortaya çıkmaktadır. Tuğla, taş ve inşaat endüstrilerinin büyük miktarda ortaya çıkarmış olduğu biyolojik olarak parçalanmayan atık malzemelerin betona dahil edilmesi yeşil ve sürdürülebilirlik

açısından önem arz etmektedir (Chakradhara Rao, 2021). Tuęla tozu savurgan bir malzemedir. Çevreye atıldığında araziyi kaplamakla kalmayıp aynı zamanda canlılar içinde çeşitli evre sorunlarına neden olmaktadır (Khan vd. 2018). Ortaya çıkan tuğla atıklarının beton ikamesi olarak kullanılabilirliği açısından çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ezilmiř kil tuğla parçalarının imento ikamesi olarak kullanılması imento harcının daha dūřuk sorptiviteye ve klorūr iyonu penetrasyon oranına sahip olduğu belirlenmiştir (Li vd., 2020). Ayrıca %15-25 imento harcı yerine ūtlmūř tuğla tozunun katılması alkali-silika reaksiyonunu önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Bektař ve Wang, 2012).

Silis Dumanı 200 C'deki elektrik ark fırınlarında, silisyum metali ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi esnasında, yüksek oranda saflık içeren kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu meydana gelen puzolanik malzemeye "Silis Dumanı" adı verilmektedir. Bu olay sonrasında açığa çıkan SiO gazı, fırınların st bölümünde hava ile etkileşime girerek okside olur ve hızla soğuyarak amorf silis haline gelir. Bu amorf yapı, silis dumanı bileşiminin büyük kısmını oluşturmaktadır. Silis dumanının ana bileşeni 1 m'den küçük silis partikülleridir (Karakulak, 2019).

Silis dumanı, oksitleri (SiO₂) sıradan Portland imentosunun hidrasyonu ile üretilen kalsiyum hidroksitlerle reaksiyona girip tükettiği için beton karışımlarına eklenmesi daha dūřuk gözeneklilik geçirgenlik, daha dūřuk ısı salınımı ve mukavemet gelişimi ile sonuçlanan en popüler puzolanlardan birisidir (Mazloom vd. 2004). Silika dumanı, metalik silikon ve ferrosilikon endüstrisindeki alaşımların eritme işleminin bir yan ürünü olarak elektrik ark fırınlarında üretilen ince kristal olmayan silikadan oluşmaktadır (Chung, 2002; Khan ve Siddique, 2011). Mikro silika, yoğunlaştırılmış silika dumanı, uçucu silika veya silika tozu olarak da bilinmektedir. Silika dumanı rengi birinci sınıf beyaz veya gri renklidir. Silis Dumanı, yüzey alanı 13.000 ile 30.000 m² /kg arasında olan çok ince camsı parçacıklardan oluşmaktadır. Parçacıkları, ortalama imento parçacığından yaklaşık 100 kat daha küçüktür. Ařırđ inceliği ve yüksek silika içeriği nedeniyle, silis dumanı oldukça etkili bir puzolanik malzemedir. Yani volkanik kül gibi reaktif özellik göstermektedir. Silis dumanı, betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu etkiler, gömülü çeliğin mukavemeti, modülü, sünekliği, titreşim sönümleme kapasitesi, ses emilimi, aşınma

direnci, hava boşluğu içeriği, büzülme, takviye çeliği ile yapışma mukavemeti, geçirgenlik, kimyasal saldırı direnci, alkali-silika reaktivitesinin azaltılması, korozyon direnci ile ilgilidir. Silis dumanının basınç dayanımını, bağ dayanımını ve aşınma direncini iyileştirdiği bilinmektedir. Geçirgenliği azalttığı için takviye çeliğinin korozyondan korunmasına yardımcı olmaktadır. (Chung, 2002; Khan ve Siddique, 2011).

Silis dumanı parçacıklarının %95'inden daha fazlasının tanecik boyutu 1 μm 'den daha incedir. Ortalama tane boyutu 0,1-0,2 μm arasındadır. SiO_2 içeriği %85 ile %98 arasında değişmektedir (Chung, 2002). Silis dumanı kimyasal bileşiminde çok yüksek oranda amorf silikon dioksit bulunmaktadır. Küçük miktarlarda da demir, magnezyum ve alkali oksitler içermektedir. Yüksek saflıkta kuvarsın 2000 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıklarda silikona indirgenmesi, düşük sıcaklık bölgelerinde kristal olmayan silikadan oluşan küçük parçacıklara oksitlenen ve yoğunlaşan SiO_2 buharını oluşturmaktadır. Silikon metal üretiminin yan ürünleri ve %75 veya daha fazla silikon içeriğine sahip ferrosilikon alaşımları, %85-95 oranında kristal olmayan silika içermektedir. %50 silisyum içeren ferrosilikon alaşım üretiminin yan ürünü çok daha düşük silis içeriğine sahiptir. Bundan dolayı da puzolanik özelliği daha az olmaktadır. Bu nedenle silis dumanın içeriği üretilen alaşımın tipi ile ilişkilendirilmektedir. Silis dumanı aynı zamanda mikro silika, yoğunlaştırılmış silika dumanı, uçucu silika veya silika tozu olarak da bilinmektedir. Silis dumanı, yüksek mukavemetli yüksek performanslı betonun tasarımında ve geliştirilmesinde çok etkilidir. Silika dumanı, aşırı inceliği ve çok yüksek amorf silikon dioksit içeriği nedeniyle çok reaktif bir puzolanik malzemedir. Silis dumanının puzolonik malzeme olarak yüksek erken basınç dayanımı, çekme kuvveti (dayanımı) (Bhania ve Sengupta 2005; Demir 2009), eğilme mukavemeti, esneklik modülü, artan tokluk değeri, yüksek bağ gücü, gelişmiş dayanıklılık sağlaması, klorür ve su girişine karşı çok düşük geçirgenlik sağlaması, artan aşınma direnci (klorürler, asitler, nitratlar ve sülfatlara karşı direnç) ve yüksek elektrik direnci göstermesinden dolayı beton ikamesinde kullanılmaktadır. Silis dumanı içeren yüksek dayanımlı beton, otoyol köprülerinde, park tabliyelerinde, deniz yapılarında, köprü tabliye kaplamalarında kullanılmaktadır. Silis dumanı içeren püskürtmeli betonlar ise, kaya stabilizasyonunda, maden tünel kaplamalarında ve bozulan köprü, deniz kolonları ile kazıklarının rehabilitasyonunda kullanılmaktadır.

Ayrıca çeşitli çimentolu onarım ürünlerinde de kullanılmaktadır (Bhania ve Sengupta 2005; Khan ve Siddique, 2011; Siddique, 2011; Topçu ve Kaval, 2001;).

Bakır cürufu, bakırın mat ergitilmesi ve rafine edilmesi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür (Mithun ve Narasimhan, 2016; Murari vd. 2015; Shi vd. 2008; Zuo vd. 2022). Mat eritme sırasında iki ayrı sıvı faz oluşmaktadır. Birinci faz; bakırca zengin mat (sülfidler), ikinci faz; cüruf (oksitler) 'tan oluşmaktadır. Bakır cevherlerinden pirometalurjik bakır üretimi sırasında oluşan bir bakır cürufu, alümina, demir, kalsiyum oksit, silis vb. maddeler içermektedir. Kullanılan her bir ton bakır üretiminde 2,2-3 ton bakır cürufu ortaya çıkmaktadır. Dünyada bakır üretiminden yaklaşık 24,6 milyon ton cüruf oluştuğu tahmin edilmektedir (Ahmad vd. 2022a,b; Al-Jabri vd. 2009; Goraj ve Jana, 2003; Mithun ve Narasimhan, 2016; Shi vd. 2008;). Belirli bir cürufun bileşimi çıkarılan cevherin bileşimine, fırın tipine, onu üreten metalürjik işleme bağlıdır. Bakır cürufu, %35-60 Fe_2O_3 , %2-10 CaO, %0,7-3,5 MgO, %25-40 SiO_2 , %0,3-2,1 CuO'dan oluşmaktadır. Bakır cürufun özgül ağırlığı yaklaşık olarak 3,5 g/cm³'tür (Shi vd. 2008). Bakır cürufu taneleri siyah camsı bir renktedir. Sertliği yaklaşık olarak 7 Moh ölçeğinde ve 3,5 incelik modülüne sahiptir. Granüle bakır cürufu boyutları ise genellikle 4,75 mm (3/4 inç) ile 0,075 mm arasında düzenli şekilli ve köşeli parçacıklardan oluşmaktadır (Murari vd. 2015; Wu vd. 2010).

Bakır cürufu düşük CaO içerdiğinden dolayı granüle bakır cürufu puzolonik özellik göstermektedir (Goraj ve Jana, 2003). Bakır cürufunun su emmesi çok düşük miktarda olmaktadır. Granüle bakır cürufu daha gözenekli bir yapıya sahip olduğundan dolayı hava soğutmalı bakır cürufu ile karşılaştırıldığında daha yüksek su emme ve daha az birim ağırlığa sahiptir (Shi vd. 2008). İşlenmiş hava soğutmalı ve granüle bakır cürufu, sağlamlık özellikleri, iyi stabilite ve aşınma direnci özelliklerinden dolayı agrega kullanımı için uygun mekanik özelliklere sahiptir. Bakır cürufunun Portland çimentosu ikamesi olarak uygulanması betonun maliyetinin düşürülmesi ve bertaraf maliyetinin ortadan kaldırılmasına da imkân sağlamaktadır. Bakır cürufu çimento ve beton endüstrisinde, yol temel inşaatında, cam, kiremit, asfalt ve çatı kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Goraj ve Jana, 2003).

Vermikülit yer kabuğunda doğal olarak bulunan minerallerden birisidir (Rathore ve Shukla, 2021). "Vermikülit" adı, kristaller aniden yüksek sıcaklığa maruz kaldığında üretilen kavisli, uzun ve bükülmüş sütunlar nedeniyle Latince - vermicularis'ten türetilmiştir. Vermikülit, fillosilikat grubunun bir üyesi olan parlak pullara sahip mika benzeri bir mineraldir. Tek başına vermikülite maruz kalmaktan kaynaklanan ciddi sağlık riskleri bulunmamıştır ve vermikülit lifleri ile ilgili olarak bile uzun vadeli kimyasal dayanıklılığı göz önüne alındığında herhangi bir risk beklenmemektedir. Vermikülit cevherleri, önemli miktarlarda mevcut olmaları halinde üreticiler ve son kullanıcılar için sağlık riski oluşturabilecek asbest de dahil olmak üzere çeşitli başka mineraller içerebilir (Addison, 1995; Rashad, 2016).

Vermikülit 650–950 °C'de ısıtıldığında orijinal hacminin 30 katına kadar genişlebilmektedir. Vermikülit, biyotitin hidrotermal münavebesi veya ayrışma veya flogopit gibi doğal koşullar altında oluşmaktadır. Vermikülit cevheri başlıca %37–42 SiO₂, %14–12 MgO, %10–13 Al₂O₃, %5–17 Fe₂O₃, %8–18 H₂O ve daha az miktarda %1–3 FeO'dan oluşmaktadır. Vermikülitin kimyasal bileşimindeki değişiklik, fiziksel özelliklerinde bir değişikliğe neden olabilebilmektedir. Kimyasal olarak nötr, inert ve pH ~7'dir. Genel kimyasal formül (Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺)₃[(SiAl)₄ O₁₀] OH₂, 4H₂O'dur. Vermikülit, ince inorganik filmler, köpükler veya kaplamalar üretmek için kaynak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kil polimer kompozitler için dolgu maddesi olarak, sirkülasyon sondaj çamuru ve çeliğin tavlanması da kullanılabilir. Pul pul dökülmüş vermikülit, ısıtmadan önce 1 kHz frekansta 0,7–0,8 aralığında ses emme katsayısı, %10'a ulaşan su emme, ~%98 hava nemi ile ağırlıkça %3'ten fazla olmayan higroskopisite, düşük toz oluşturma ve aşındırıcı özellikler sergilemektedir. Termal genişleme sırasında vermikülitin kimyasal bileşimi değişmez, sadece kimyasal olarak bağlı su uzaklaştırılır. Vermikülit ısıtmadan önce orijinal boyutunun >10 katından fazla genişlerse, iyi kalite olarak sınıflandırılabilirken, genişleme <10 kat ise, düşük dereceli olarak sınıflandırılabilir (Rashad, 2016).

Diyatomitler doğal olarak oluşan silisli topraklardır (Al-Degs vd. 2001). Diyatomitler, opokalar, tripolis, spongiyolitler ve radyolaritler, ağırlıklı olarak opal ve kristobalitten oluşan bir tortul silika kayaç grubunu oluşturmaktadır (Ivanov ve Belyakov, 2008). Diyatomit veya iki atomlu toprak, dünyanın tüm sularında yaşayan küçük planktonik

algler olan diatomların fosilleşmiş kalıntılarıdır. Diatomlar Bacillariophyta filumuna aittir ve neredeyse tamamen silikadan (SiO_2) yapılmış bir hücre duvarına sahip tek hücreli organizmalardır. Diatomit hem toksik değildir hem de kokusuzdur, doğal olarak büyük miktarlarda ve yüksek saflıkta bulunmaktadır. Bundan dolayı da düşük maliyetle elde edilebilir. Doğal olarak oluşan malzemeler arasında diatomit, yüksek gözeneklilik, yüksek geçirgenlik, küçük parçacık boyutu, yüksek yüzey alanı, düşük termal iletkenlik ve kimyasal inertlik gibi benzersiz özelliklerinden dolayı özellikle ilgi çekicidir (Ediz vd. 2010; Namor vd. 2012).

Diatomitler, esas olarak iki atomlu alglerin - diatomların son derece küçük opalin iskeletlerinden (veya bunların parçalarından) oluşan hafif ince gözenekli kayalardan oluşmaktadır. Diatomitler beyaz, sarımsı gri, açık gri bazen koyu gri ve kahverengimsi gri renklidir. Diatomitlerin koyu ve kahverengi rengi, içlerinde bitki kalıntıları da dahil olmak üzere organik safsızlıkların bulunmasından kaynaklandığını göstermektedir. Diatomelerin gözenekleri ve gözenek duvarları genellikle nano boyutta olduğundan nano malzemeler olarak sınıflandırmaktadır (Ivanov ve Belyakov, 2008). Diatomit, %80-90'a kadar boşluk içeren bir yapıda, tipik olarak 10–200 μm olan çok çeşitli şekil ve büyüklükteki diatomelerden oluşmaktadır (Al-Degs vd. 2001; Erdem vd. 2005).

Diatomit yüksek doğal su içeriğine sahiptir. Ancak konsolidasyon akma gerilmesi, üst örtü basıncından çok daha yüksektir (Hong vd. 2006). Kaya rengi ve dokusu tebeşirle benzerlik gösterir, ancak diatomit neredeyse hiç karbonlu malzeme içermez. Mineral bileşimi öncelikle biyojenik silika, detritus ve şeyldir. Derinliğe ve bileşime bağlı olarak silika, Opal-A, Opal-CT veya Brown Shale olarak mevcut olabilir. Genel olarak, amorf silika en sığ derinliklerde bulunur. Diatomit, karmaşık bir küçük çaplı gözenek ağından kaynaklanan yaklaşık 0,1 ila 10 mD arasında değişen geçirgenlikler ile karakterize edilir (Akin vd. 2000). Diatomit fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı dolgu malzemesi, adsorban, filtre yardımcı malzemesi, izolasyon malzemesi, katalizör taşıyıcı, hafif yapı malzemesi, kimyasal malzeme imalatında silis kaynağı olarak birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Çalışkan vd. 2015).

Lastik tozu; genel olarak 1 µm ila 5 mm boyutlarındaki termoplastik malzemeler olarak tanımlanan mikropplastik partiküllerin çevresel karakterizasyonu hem insan sağlığını hem de çevreyi ilgilendirmektedir (Kovochich vd. 2021). Lastik tozu, egzoz dışı trafik emisyonlarının önemli bir bileşenidir (Klöckner vd. 2021). Lastik tozu, kentsel alanlarda bir çinko kaynağı olarak önemli bir kirleticidir. Lastik aşınma döküntüsü yani lastik tozu, lastik sırtının yol yüzeylerine sürtünmesi ile oluşmaktadır. Lastik sırtı ağır metaller içerdiği için çevre için önemli bir kirletici etkiye sahiptir. Çalışmalarda lastik sırtında bulunan Mn, Fe, Cu, Ni, Co, Cd, Pb ve Zn gibi ağır metallerin toz şeklinde havaya karıştığı belirlenmiştir. Lastik tozuna ve trafikle ilgili diğer toz parçacıklarının çapları birkaç mikrometre ile 0,2 µm arasında değişmektedir. Ağır metal parçacıkları, yol boyası, dizel egzoz parçacıkları, fren tozu, yol yapım malzemeleri veya araba katalizör malzemelerin bir parçası olarak yol yüzeyine yayılmaktadır (Adachi ve Tainosho, 2004). Lastik tozlarının yoğunluğu çoğunlukla 1,3-1,7 g/cm³ aralığındadır. Lastik bileşenlerin kütle dağılımları <20 µm maksimum boyut fraksiyonundadır. Tünel tozundaki lastik aşınım parçacıkları, yol simülatörlerinden daha küçük ve daha az yoğun olmaktadır (Klöckner vd. 2021). Lastik ve yol aşınma parçacıkları partikül madde olarak havada asılı kalabilir ya da yol kenarlarında birikerek yüzey akışı yoluyla karasal ve su ortamlarına karışabilmektedir (Kovochich vd. 2021).

Mermer, ısı, sıcaklık ve stres nedeni ile derin fiziksel ve kimyasal değişimlere uğramış olan metamorfik kayalardır (Awad vd. 2019). Mermer tozu, kalsiyum, magnezyum, alüminyum, silikon ve demir oksitlerden oluşmaktadır (Oza vd. 2022). Türkiye de yaklaşık olarak 3872.000.000 m³ mermer rezervi bulunmaktadır (Aruntaş vd. 2010). Türkiye’de günde 1 mm’nin altında 1400 ton mermer tozu atık olarak depolanmaktadır (Topçu vd. 2009). Mermer tozunun uzun süreli solunması akciğerlerdeki hücrelere zarar vererek tüberküloz riskine neden olan silikoza neden olmaktadır. Cildin maruz kalması ise cilt dokularının ve bağ dokularının sertleşmesine, sıkışmasına, nadir olsada enfeksiyona neden olmaktadır (Oza vd. 2022). Mermer tozu, maden ocaklarında kesme işleminden sonra ortaya çıkmaktadır. Doğal bir agrega olarak mermer tozu beton ikamesi olarak çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Betonda %10 mermer tozu ikamesinin kullanılmasının emisyonları azalttığı belirlenmiştir (Yang vd. 2022). Mermer tozu, mekanik özellikleri düşük yoğunluğu ve aşınmaya karşı yüksek direnci

dolgu maddesi ikamesi olarak kullanılmasına imkân sağlamaktadır (Rajawat vd. 2022).

Genel olarak mermer endüstrisi, madencilik ve işleme operasyonlarının farklı aşamalarında atık oluşumu çeşitli çevre sorunlarının oluşmasına neden olmuştur. Atık üretimi madenin üretim sürecinden bitmiş ürüne kadar devam etmektedir. Oluşan atıklar çıkarılan madenin %50'sini oluşturmaktadır. Kurutulmuş mermer tozundan oluşan bulamacın partiküllerinin boyutu %90'ını 200 µm 'nin altındadır. Yapılan işlemin türüne göre oluşan çamur, işlenen taşın ağırlığının %20 ile %30 'u kadar oluşmaktadır (Aliabdo vd. 2014). Genellikle mermer tozu, tuğla, seramik çeşitli alanlarda uygulamalarda hammadde ve takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca mermer tozu; harç, karo, ısva ve beyaz çimento yapımında kullanılmaktadır (Aruntaş vd. 2010). Atık mermer tozu kolayca elde edilebilmesinden dolayı maliyeti düşürmektedir. Sert parçacıklar olduğundan mukavemeti de önemli ölçüde arttırmaktadır (Rajawat vd. 2022).

Zeolitler, adsorpsiyon, ayırma ve kataliz dahil olmak üzere birçok endüstriyel işlemde uygulanan önemli bir kristal gözenekli malzeme sınıfıdır (Mardiana vd. 2022). Zeolitler geniş uygulama alanına sahip önemli endüstriyel malzemelerdir. Farklı yapı ve bileşime sahip birçok zeolit, ticari olarak temin edilebilmektedir. Kimyasal işlemlerde katalizörler, absorpsiyon malzemeleri ve kurutma maddeleri olarak ve ayrıca iyon değiştirme işlemlerinde de kullanılmaktadır (Lobo vd. 1995). İyi tanımlanmış mikro gözeneklere sahip zeolitler, petrol arıtma, ince kimyasallar ve çevre koruma alanlarında heterojen katalizör olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Wang vd. 2022b).

Perlit dünyanın birçok ülkesinde bulunmaktadır. Dünyada 2011 yılında üretilen toplam 3.470.000 metrik tonluk perlit üretiminin %95'inin 10 ülkeden oluştuğu görülmektedir. Dünya'da başlıca perlit üretiminde Çin, İran, Yunanistan, Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya gelmektedir (Maxim vd. 2014; Rashad, 2016). Türkiye dünyanın en büyük perlit rezervlerinden birine sahiptir. Mevcut perlit rezervinin yaklaşık 4,5 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir (Şengül vd. 2011). Perlit, tipik olarak oluşan amorf bir volkanik alümina- silikat kaynağıdır. Nispeten

yüksek su içeriğine sahiptir (%2-5 w/w). Obsidyenin hidrasyonu ile şeffaf, griden parlak siyaha kadar değişen renklerde bulunmaktadır. Perlit hızlı bir şekilde 760-980 °C 'ye ısıtıldığında olağan dışı bir genişleme (4-20 kat) özelliğine sahiptir. Hem cevher hem de genişletilmiş ürün perlit olarak adlandırılmaktadır (Maxim vd. 2014; Rashad, 2016). Perlit cevherinin içeriği esas olarak SiO₂, Al₂O₃ ve daha az miktarlarda sodyum, potasyum, demir, kalsiyum ve magnezyum gibi çeşitli metal oksitlerden oluşmaktadır. Genişletilmiş malzeme yansımadan dolayı parlak beyaz renktedir. Parçacıklar birçok şekle sahip içi boş ve gözenekli yapıdadır. Dünya'da 2014 ve 2015 yıllarında sırasıyla yaklaşık 2530 ve 2680 bin ton perlit üretildiği tahmin edilmektedir (Rashad, 2016).

Kırma, kurutma ve eleme işlemleri genişletilme tesislerine gönderilmeden önce maden sahalarında gerçekleştirilmektedir. Genişletilmiş perlitin düşük yoğunluğu, nakliye maliyetini en aza indirmek için genişleyen tesislerin pazar alanına yakın yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Genişletilmiş perlitin, ticari uygulamalar için, düşük termal iletkenlik, yüksek ısı direnci, düşük ses iletimi, yüksek yüzey alanı ve kimyasal inertlik gibi birçok fiziksel özelliği bulunmaktadır. Perlitin kullanımının 1800'lere kadar uzandığı bilinmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde modern perlit kullanımının 1940'larda başladığı bilinmektedir (Maxim vd. 2014).

Perlit, beton ve harç yapımında agrega malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Perlitin kullanım durumları, ürünü inşaat, petrokimya endüstrileri, endüstriyel, kimya ve bahçecilik alanlarındaki bol uygulamalara uygun hale getirmiştir. İnşaat, genişletilmiş perlit, geleneksel çimentolu malzemelerde çimento veya agreganın bir parçası olarak veya jeopolimerler için bir kaynak malzeme olarak kullanılabilir. İnşaat, genişletilmiş perlit formu, portland çimentosu veya alçı bazlı sıvada kullanıldığında ısı yalıtımı, yangına dayanıklılık, ses yalıtımı, iyi yangın direnci ve düşük yoğunluk sağlamaktadır (Rashad, 2016; Singh ve Garg, 1991; Şengul vd. 2011).

2.2 Ağır Metaller Konusunda Yapılan Çalışmalar

Ancak kişisel bilgisayar ayarlarından kaynaklı olarak şekil yazısı bölüm numarası olmaksızın sıralı devam etmesi halinde (Çalışmaya kapsamında, bazı beton

bileşenlerinin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağır metaller son yıllarda gündeme gelen ve üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan birisidir. Bunun sebebi birçoğunun düşük konsantrasyonlarda dahi insan ve çevre sağlığı açısından toksik, zararlı hatta ölümcül olmalarıdır. Örneğin çalışmaya konu elementlerden kobalt (Co) toksik etkilere sahip bir element olup, solunum yoluyla alındığında; alveol, bronş tümörleri, akut inflamasyon, alveol epitel hiperplazisi, bronşiyal nekroz ve akciğer kanserine neden olmaktadır (Suh vd, 2016). Kurşun (Pb), ağır metaller içerisinde insan ve çevre sağlığı açısından en tehlikelilerindendir. Pb, metal veya bileşik olarak atmosfere yayılan ve her durumda toksik özellik taşıyan, ekolojik sisteme en çok zarar veren ağır metallere dendir (Elajail vd., 2022). Baryum (Ba), en tehlikeli ağır metallere dendir birisi olup insanlarda felç ve hatta ölümlere sebep olabilir ve bütün bileşikleri zehirlidir (Cetin ve Jawed, 2022). Krom (Cr) kanserojen bir element olup yaşayan organizmalar için en toksik ağır metallere dendir birisidir (Savas vd., 2021). Mn, insanlarda parkinson, akciğer ambolisi ve bronşite sebep olabilmektedir (Elajail vd., 2022). Li bugüne kadar çalışmalarda ihmal edilen ama sağlık açısından oldukça zararlı olabilen bir elementtir (Cetin vd., 2020).

Bizmut (Bi) solunum yolu ile vücuda alınması sonucu solunum yollarında tahrişe ve dış eti iltihabına neden olurken ağız yolu ile alımlarda sülfür birikimi nedeniyle mide bulantısı, iştah ve kilo kaybı, halsizlik albüminüri, ishal, deri reaksiyonları, baş ağrısı, ateş, uykusuzluk, depresyona neden olur. Ayrıca gözlerde tahriş, karaciğer ve böbrek fonksiyonlarında etkilenmeler olabilmektedir (Elajail ve Sevik 2022a). Çalışmaya konu elementlerden en zararsız olanlarından birisi olarak görülen ve besin elementi sınıfında yer alan Magnezyum (Mg) dahi ağır metallere dendir birisidir ve yapılan çalışmalar, canlılar için besin elementi olarak gerekli olan ağır metallerin dahi yüksek konsantrasyonlarda zararlı olduğunu göstermektedir (Cobanoglu vd., 2023; Isinkaralar, 2022a,b; Karacocuk vd., 2022). Ayrıca solunum yolu ile alınan ağır metallerin özellikle insan bünyesi için son derece zararlı olduğu belirtilmektedir (Elajail ve Sevik, 2022b). Bundan dolayı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve değişiminin izlenmesi konusunda özellikle son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda ağır metallerin özellikle kentsel alanlarda (Bisht vd., 2022; Cetin vd., 2022a,b; Han vd., 2020; He vd., 2022; Jahandari, 2020; Sultan vd., 2022;), bitkilerde (Bayraktar vd., 2022; Chen vd., 2022; Cui vd., 2022; Isinkaralar vd., 2022; Kravkaz Kuşçu vd., 2022; Martini vd., 2022; Ozel vd., 2021a,b,c; Patel vd., 2022; Pietrelli vd., 2022; Sulhan vd., 2022; Yayla vd., 2022) ve sularda (Bai vd., 2022; Saleh vd., 2022; Uzun Ozel vd., 2019; Xu vd., 2022;) ağır metal kirliliğinin belirlenmesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalara sürekli olarak yenileri eklenmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışma kapsamında bazı beton mineral katkı malzemelerinin kimyasal içeriklerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle betonun hammaddesi olan çimento başta olmak üzere, beton hammaddesi olarak en çok kullanılan mineral katkı malzemeleri belirlenmiş ve beton katkı maddesi olarak kullanılan bu maddelerden numuneler alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan atık maddeler şunlardır:

Tablo 3.1 Atık maddeler

Sıra No	Kod	Malzeme Adı
M1	GDA	Geri dönüşüm agregası
M2	YFC	Yüksek fırın cürufu
M3	UCK	Uçucu kül
M4	KRC	Kireç
M5	ODK	Odun külü
M6	ALC	Alçı
M7	KMT	Kırmataş
M8	PMZ	Pomza
M9	TBK	Taban külü
M10	SKU	Silis kumu
M11	TGT	Tuğla tozu
M12	SLD	Silis dumanı
M13	BKC	Bakır cürufu
M14	CII	Cem II Çimento
M15	VKL	Vermikülit
M16	CIV	Cem IV Çimento
M17	DYT	Diyatomit
M18	CIII	Cem III Çimento
M19	CI	Cem I Çimento

Tablo 3.1 devamı...

M20	LST	Lastik tozu
M21	MMT	Mermer tozu
M22	ZEO	Zeolit
M23	PRL	Perlit
M24	KRP	Kırmızı pomza

3.2 Yöntem

Çalışma kapsamında temin edilen malzemeler, öncelikle ön analizler için hazırlanmıştır. Bu aşamada elde edilen malzemeler öğütüldükten sonra elenmiş, daha sonra iki hafta oda kurusu hale gelene kadar laboratuvar şartlarında bekletilmiş ve sonrasında da cam petri kaplarına alınarak iki hafta 45 °C etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numunelerden 0,5 g örnek tartılarak mikrodalga için tasarlanmış tüplere konulmuş ve üzerine 10 ml %65'lik HNO₃ ve 2 ml %30'luk H₂O₂ ilave edilmiştir.

Hazırlanan örnekler özel olarak tasarlanmış mikrodalga cihazında 280 PSI basınç ve 180 °C'de 20 dakika yakılmıştır. Mikrodalgadan çıkartılan tüpler soğuduktan sonra üzerine deiyonize su ilave edilerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Örnekler filtre kağıdından süzülerek ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma- Optik Emisyon Spektromesi) cihazında uygun dalga boylarında okunmuştur.

Bu yöntem son yıllarda element tayininde en sık kullanılan yöntemlerdendir (Arıcak vd., 2020; Isinkaralar vd., 2022). Çalışmada bütün ölçümler üç tekrarlı olarak yapılmış, çalışma sonuçları hassasiyetin daha yüksek olması açısından ppb düzeyinde değerlendirilmiştir.

3.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Elde edilen veriler tablolar halinde düzenlenerek Excell programına girilecek ve SPSS paket programı yardımıyla değerlendirilecektir. Verilere varyans analizi uygulanarak istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde ($p < 0,05$) anlamlı farklılıklar bulunduğu belirlenen verilere Duncan testi uygulanacaktır. Varyans analizi ve Duncan testi

sonuçları sadeleştirilerek tablolaştırılacak ve sonuçlar yorumlanacaktır. Ayrıca gerekli görülürse verilerin malzemeler bazında değişimlerinin algılanmasını kolaylaştırmak amacıyla Excel programı kullanılarak grafikler oluşturulacaktır.

Çalışma kapsamında ayrıca çalışmaya konu elementlerin birbirleri ile olan ilişki düzeylerini belirleyebilmek amacıyla verilere SPSS paket programı yardımıyla korelasyon analizi uygulanacak ve elde edilen sonuçlar tablolaştırılarak yorumlanacaktır.



4. BULGULAR

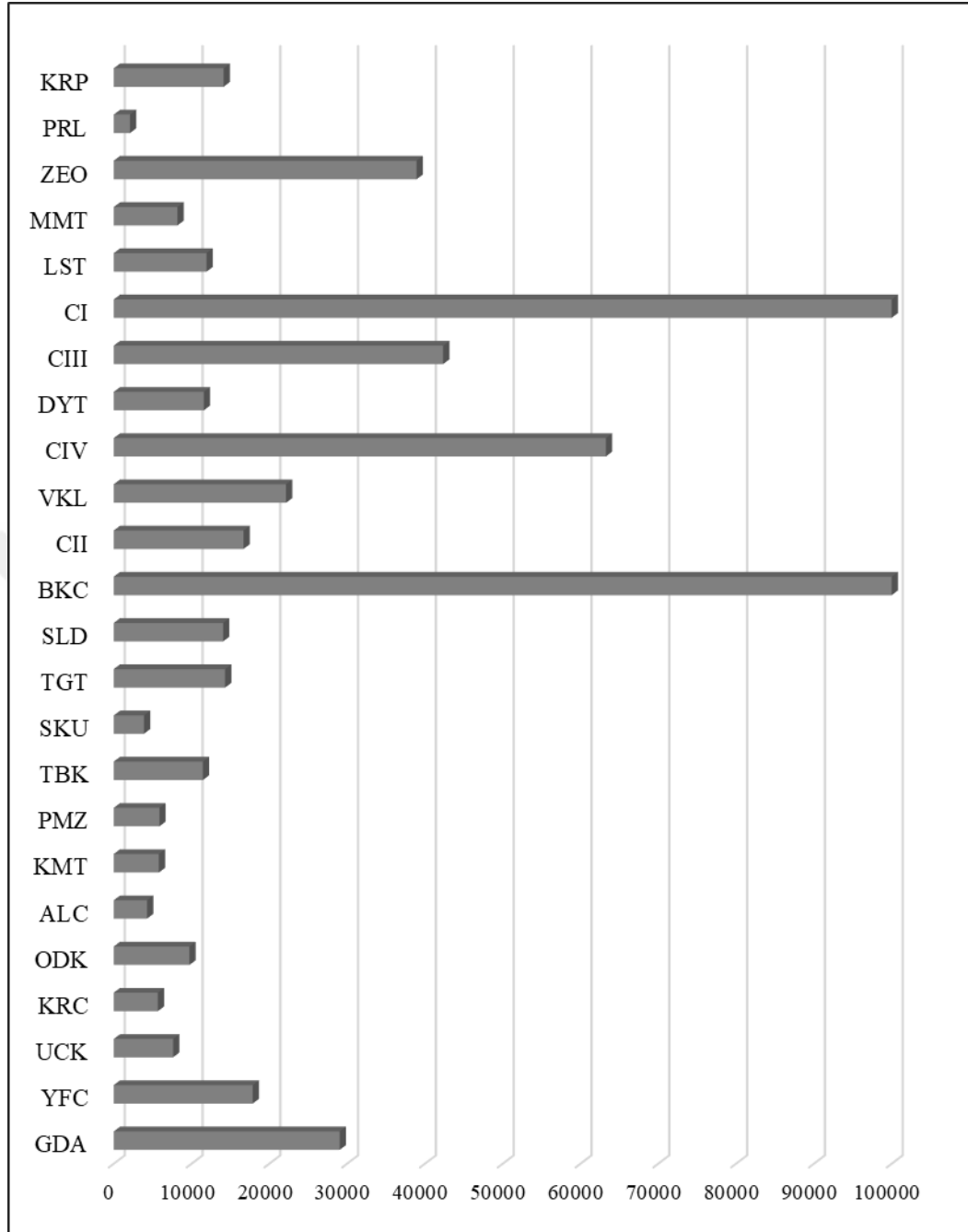
Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Pb, Cr ve Zn içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Malzemelerin Pb, Cr ve Zn içerikleri

Malzeme	Pb (ppb)	Cr (ppb)	Zn (ppb)
GDA	29.048,7 i	27.944,4 k	60.925 f
YFC	17.862 g	34.411 l	11.192,9 abcd
UCK	7.633,3 cd	17.694,2 j	14.691,9 abcd
KRC	5.675,1 bc	6.207,4 de	4.892,7 a
ODK	9.731,3 de	104.428,4 p	449.455 i
ALC	4.281,8 ab	4.591,3 c	5.658,5 ab
KMT	5.805,3 bc	9.493,8 f	11.525,7 abcd
PMZ	5.871,5 bc	5.873,9 d	10.931,8 abcd
TBK	11.455 e	11.008,9 g	52.402,5 f
SKU	3.882,3 ab	11.897,5 h	5.302,1 a
TGT	14.318,4 f	104.910 p	25.983,8 de
SLD	14.062,3 f	5.074,9 c	16.617,6 abcd
BKC	1.078.256,7 n	229.317,8 s	9.624.583,3 p
CII	16.692,5 g	55.551,7 m	50.231,5 f
VKL	22.148 h	12.451,5 h	24.088 cde
CIV	63.263,2 l	92.281 o	335.800,8 h
DYT	11.577 e	13.495,8 i	36.240,2 e
CIII	42.346 k	63.853,3 n	127.218,3 g
CI	128.181,3 m	204.828,9 r	851.960 j
LST	11.923,2 e	2.306,7 b	LA
MMT	8.192,1 d	2.574,2 b	10.353 abcd
ZEO	38.933,1 j	9.247,8 f	19.083,2 abcd
PRL	2.093,2 a	1.165,7 a	9.753,9 abc
KRP	14.134,9 f	6.699,1 e	21.326,3 bcd
F Val.	87.468,0***	67.483,1***	176.171,5***

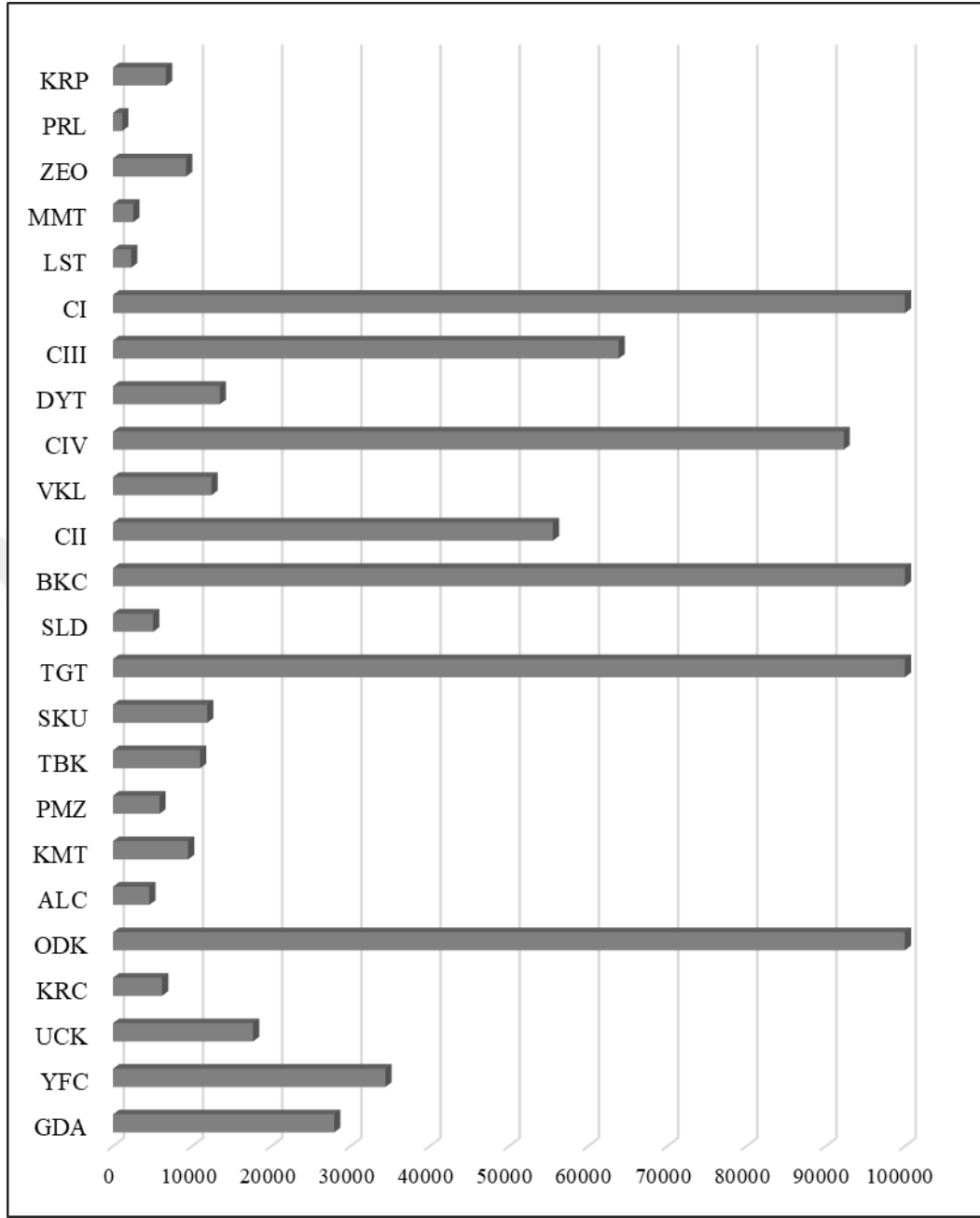
P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

Tablo sonuçları incelendiğinde Pb, Cr ve Zn’nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde ($p<0,001$) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Pb’de 14 grup, Cr’de 18 grup, Zn’de 11 grup oluşturğu belirlenmiştir. LST’de Zn konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Pb konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Pb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

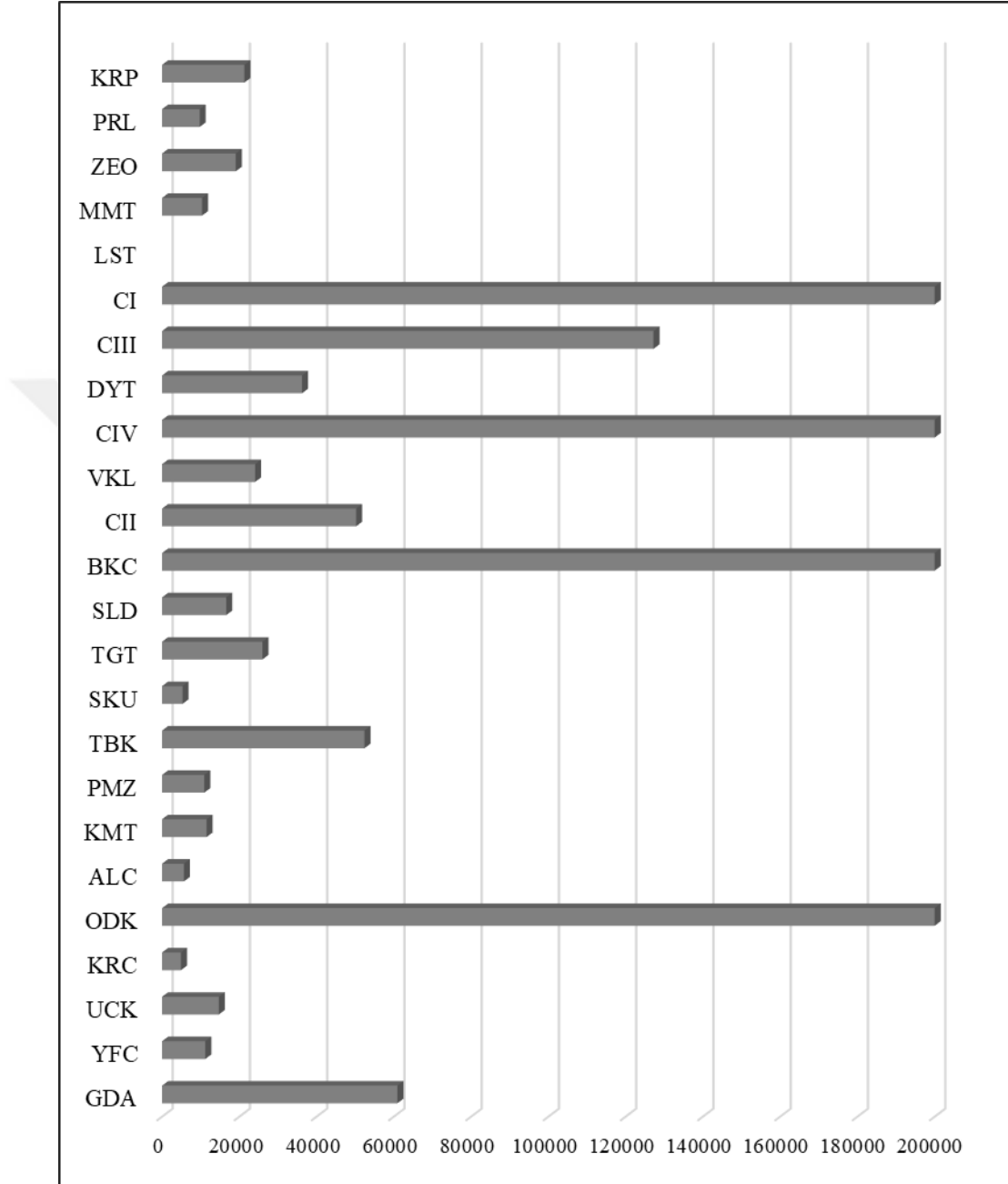
Şekil 4.1 incelendiğinde Pb konsantrasyonunun 1.078.256,7 ile 2.093,2 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (2.093,2), ALC (4.281,8) ve SKU (3.882,3) 'da elde edilirken en yüksek değerler BKC (1.078.256,7), CIV (63.263,2) ve CI (128.181,3)'da elde edilmiştir. Genelde değerler 30.000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece BKC (1.078.256,7), CIV (63.263,2), CI (128.181,3), CIII (42.346) ve ZEO (38.933,1)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. Cr konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Cr (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.2 incelendiğinde Cr konsantrasyonunun 22.931,8 ppb ile 1.165,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin PRL (1.165,7), LST (2.306,7) ve MMT (2.574,2)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin BKC (229.317,8), CI (204.828,9), TGT (104.910), CIV (92.281) ve ODK (104.428,4)'de olduğu görülmüştür. En yüksek değerin, en düşük değerin yaklaşık 196,7 katı olduğu hesaplanmıştır. Genelde değerler 50.000 ppb'nin altında kalmış, bu sınırı sadece ODK (104.428,4), TGT (104.910), BKC (229.317,8), CII (55.551,7), CIV (92.281), CIII

(63.853,3) ve CI (204.828,9)'nın geçtiği saptanmıştır. Zn konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Zn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.3 incelendiğinde Zn konsantrasyonunun 9.624.583,3 ppb ile 4.892,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. Değerler incelendiğinde en düşük değerlerin ALC (5.658,5), SKU (5.302,1) ve KRC (4.892,7)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin BKC (9.624.583,3), CIV (335.800,8), CI (851.960) ve ODK (449.455)'de olduğu görülmektedir. En yüksek değerin, en düşük değerin yaklaşık 1.967,1 katı

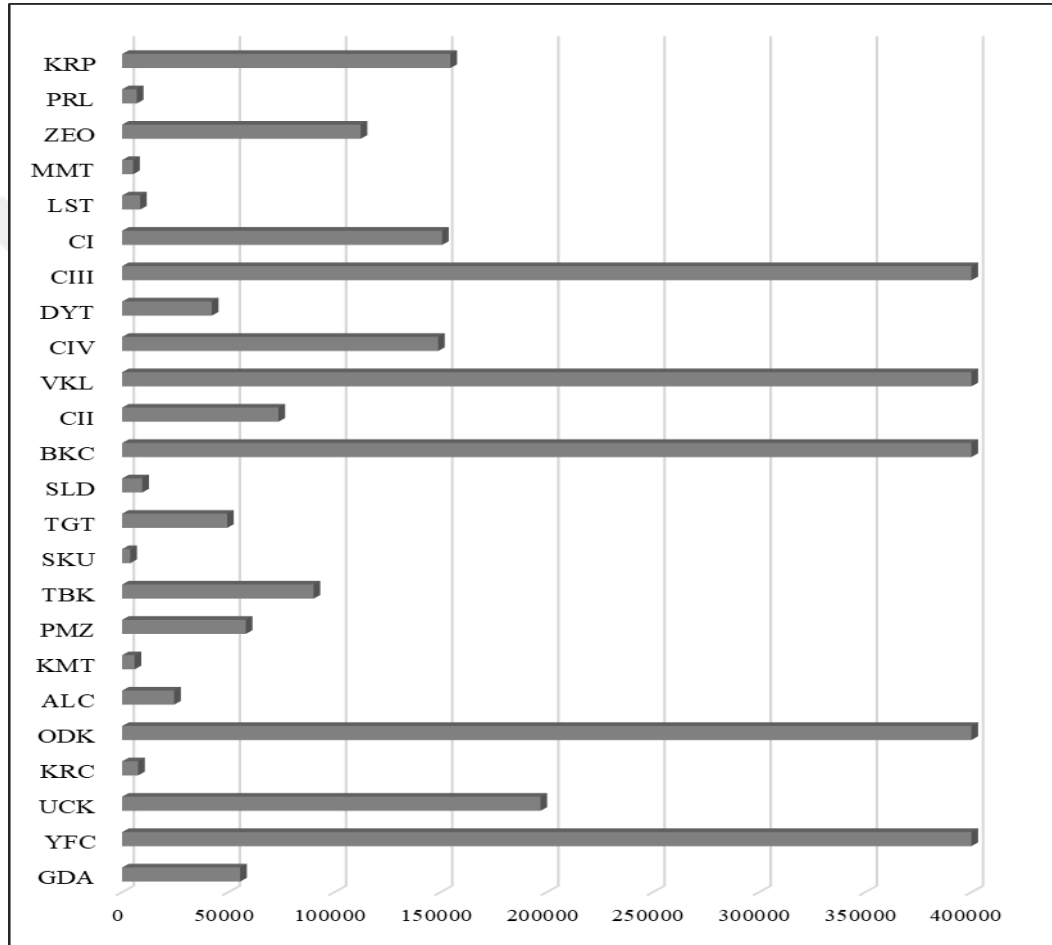
olduğu hesaplanmıştır. Grafiğe bakıldığında pek çok değer 100.000 ppb sınırını geçemezken bu sınırı yalnızca CI (851.960), CIII (127.218,3), CIV (335.800,8), BKC (9.624.583,3) ve ODK (449.455)'nin geçtiği görülmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Ba, Mn ve Li içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Malzemelerin Ba, Mn ve Li içerikleri

Malzeme	Ba (ppb)	Mn (ppb)	Li (ppb)
GDA	55.585,3 de	139.519,9 f	3.624,5 c
YFC	1.973.397,5 n	7.964.083,3 p	38.179 r
UCK	197.070 j	207.103,3 g	10.023,8 i
KRC	7.541,2 a	31.834,3 ab	2.307,3 b
ODK	506.635 k	479.019,2 i	14.656,5 m
ALC	24.502,2 b	24.809,4 ab	6.767,8 f
KMT	5.897,3 a	64.761,5 cd	2.566,9 b
PMZ	58.250,6 e	134.407,9 f	5.306,6 e
TBK	90.198,3 g	213.975 g	11.479,8 j
SKU	3.822,3 a	29.018,5 ab	3.763,9 c
TGT	49.453,3 cd	669.225 l	8.755,2 h
SLD	9.510,3 a	86.104,4 de	140.27 l
BKC	1.385.854,2 m	2.201.644,2 n	77.871,3 s
CII	73.646,1 f	361.411,7 h	12.519,3 k
VKL	636.816,7 l	641.420 k	14.063,1 l
CIV	148.853,2 i	643.845 k	14.518,3 lm
DYT	42.243,7 c	44.485,1 bc	9.724,8 i
CIII	2.102.506,7 o	7.212.091,7 o	35.201,7 p
CI	150.669 i	1.512.307,5 m	20.340,5 o
LST	8.490,4 a	13.970,1 a	4.479,4 d
MMT	5.226,9 a	LA	669,6 a
ZEO	112.339,9 h	100.663,5 e	16.961 n
PRL	6.944,8 a	10.930,3 a	5.658,3 e
KRP	154.639,3 i	555.993,3 j	7.593,1 g
F val.	48.341,8***	65.644,7***	8.869,6***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

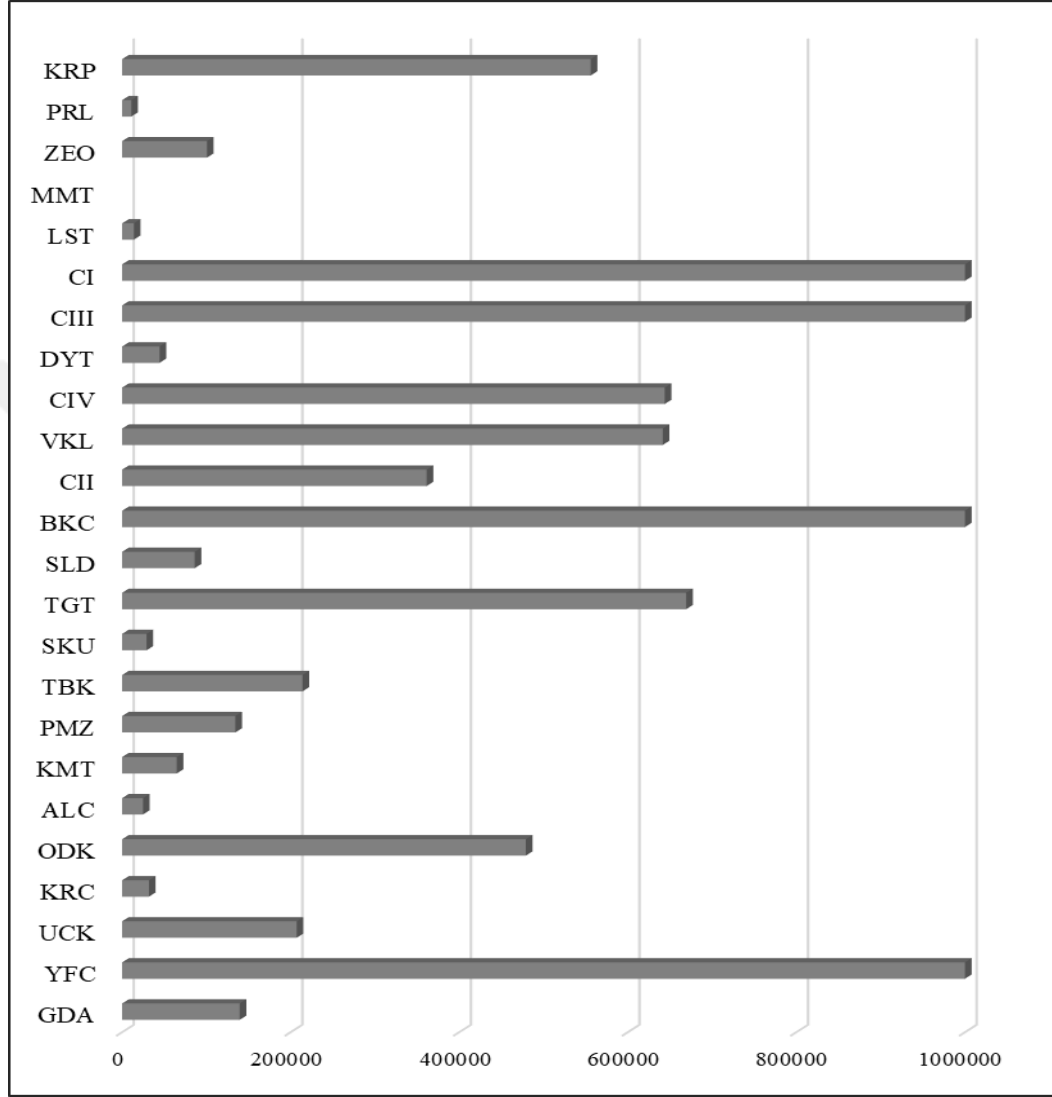
Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Ba, Mn ve Li'nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde ($p<0,001$) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Ba'da 15 grup, Mn'de 16 grup ve Li'de 18 grup oluşturduğu belirlenmiştir. MMT'de Mn konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Ba konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Ba (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.4 incelendiğinde Ba konsantrasyonunun 2.102.506,7 ppb ile 3.822,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler SKU (3.822,3), MMT (5.226,9) ve KMT (5.897,3)'de elde edilirken en yüksek değerler CII (2102506,7), VKL (636.816,7), BKC (1.385.854,2), ODK (506.635) ve YFC (1.973.397,5)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en yüksek değer, en düşük değerden yaklaşık 550 kat daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Genelde değerler 100.000 ppb'nin altında kalmış, sadece YFC (1.973.397,5), UCK (197.070), ODK (506.635), BKC

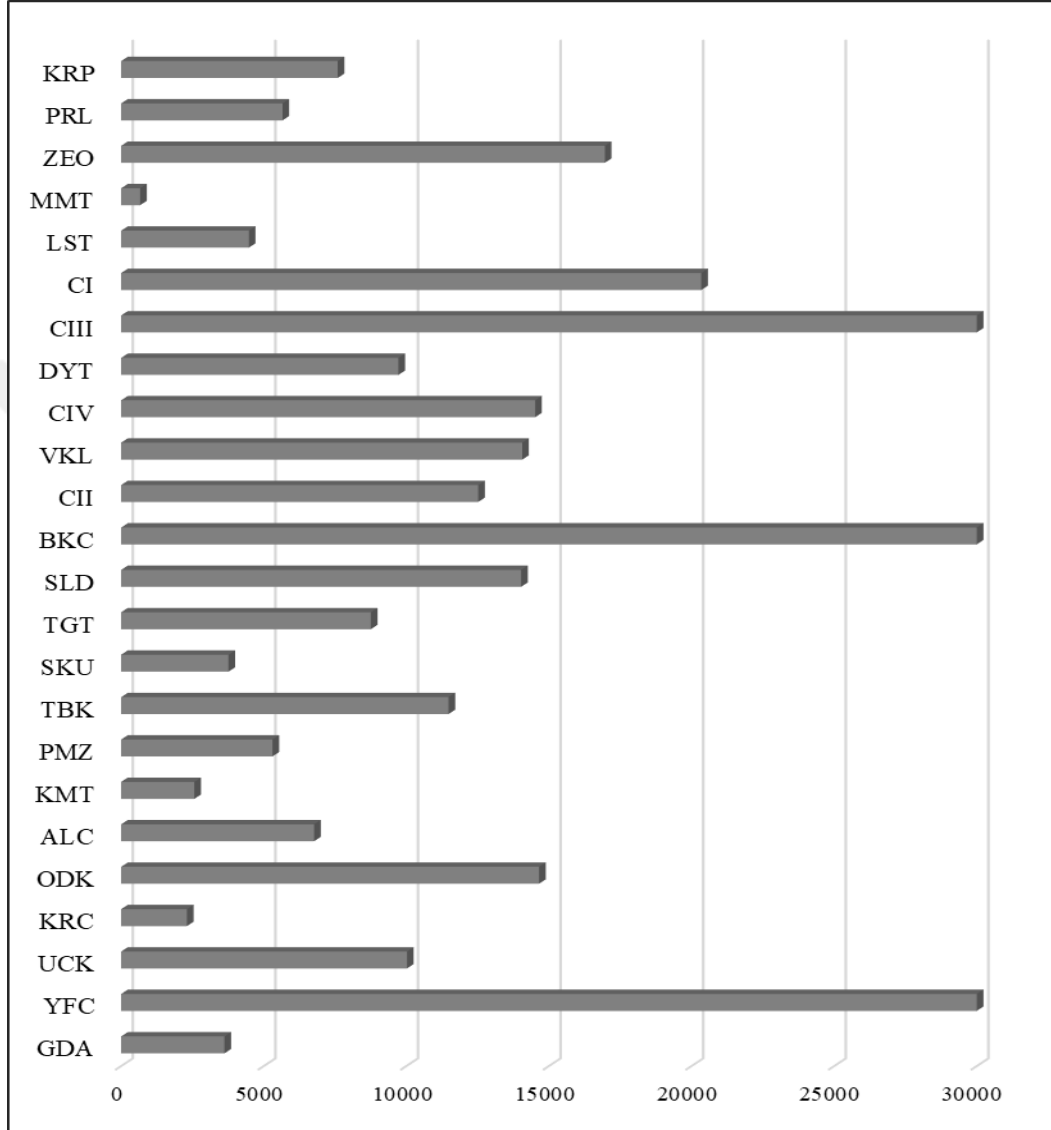
(1.385.854,2), VKL (636.816,7), CIII (2.102.506,7), CI (150.669), ZEO (112.339,9) ve KRP (154.639,3) 'nin bu sınırı geçtiği belirlenmiştir. Mn konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Mn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.5 incelendiğinde Mn konsantrasyonunun 7.964.083,3 ppb ile 10.930,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin PRL (10.930,3) ve LST (13.970,1)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin YFC (7.964.083,3), BKC (2.201.644,2), CIII (7.212.091,7) ve CI'de (1.512.307,5) olduğu belirlenmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 728,6 kat fark olduğu hesaplanmıştır. Genelde değerler 400000 ppb'nin altında kalmıştır. YFC (7.964.083,3), ODK (479.019,2), TGT (669.225), BKC (2.201.644,2) VKL

(641.420), CIV (643.845), CIII (7.212.091,7), CI (1.512.307,5) ve KRP (555.993,3) ise bu sınırı geçmiştir. Li konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 Li (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere Li konsantrasyonu 77.871,3 ppb ile 669,6 ppb arasında değişmektedir. Değerler incelendiğinde en düşük değerlerin MMT (669,6), KMT (2.566,9) ve KRC (2.307,3)’de ve en yüksek değerlerin CII (12.519,3), BKC (77.871,3) ve YFC (38.179)’de elde edildiği görülmektedir. En yüksek değerin, en düşük değerin yaklaşık 116,3 ppb katı olduğu hesaplanmıştır. Grafiğe bakıldığında çoğu değerin 15.000 ppb’nin altında olduğu görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca YFC (38.179), BKC (77.871,3), CIII (35.201,7), CI (20.340,5) ve ZEO

(16.961) olduğu saptanmıştır. Çalışmaya konu elementlerden Ga, Ag ve B konsantrasyonlarının malzemeler bazında değişimi ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Malzemelerin Ga, Ag ve B içerikleri

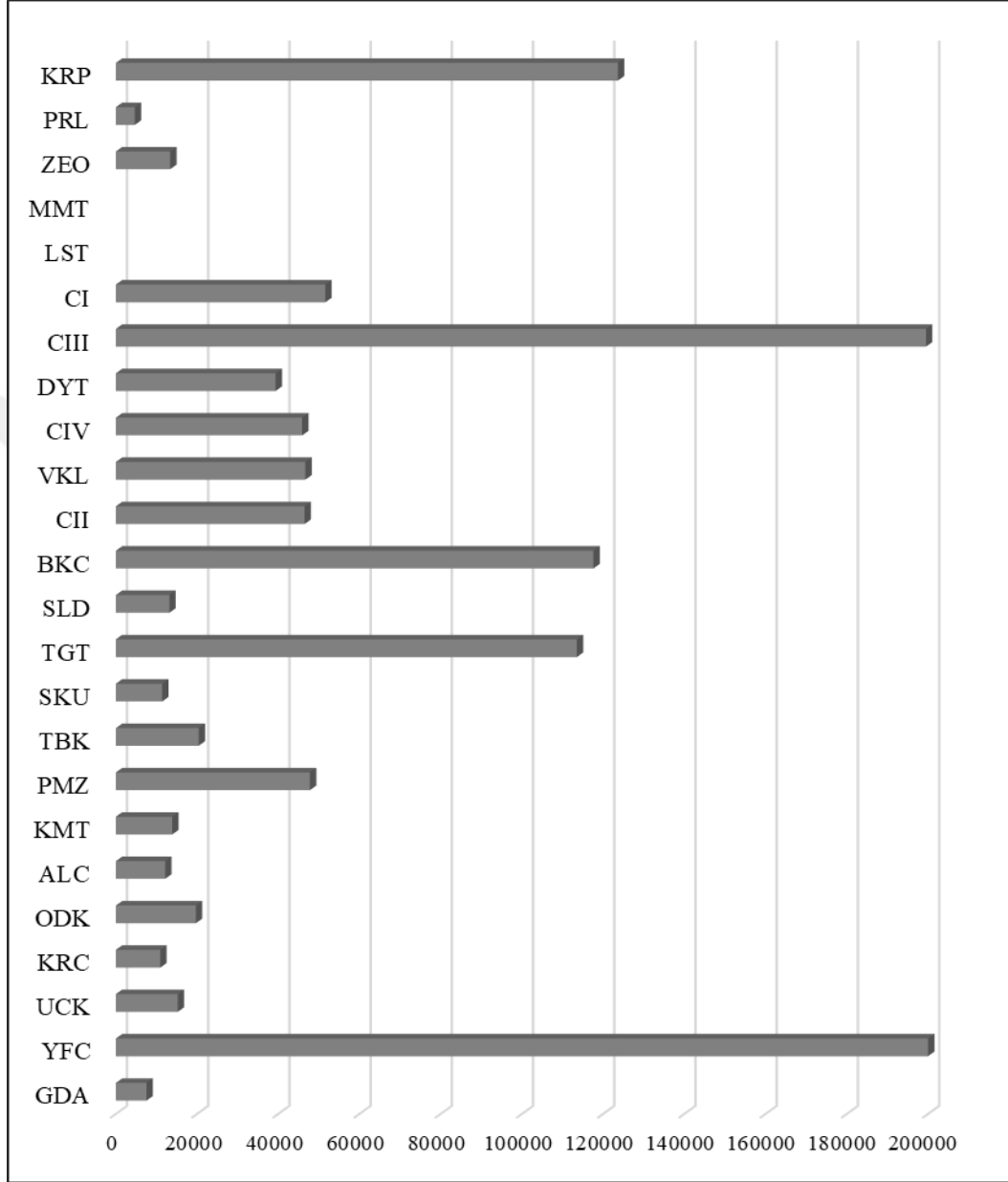
Malzeme	Ga (ppb)	Ag (ppb)	B (ppb)
GDA	7.538,3 b	LA	14.311,9 c
YFC	236.139,2 o	92,2 a	61.551,4 f
UCK	15.234,6 f	LA	32.646,9 d
KRC	10.944,5 c	LA	6.321,4 a
ODK	19.710 g	LA	916.398,3 h
ALC	12.161,8 cde	LA	17.310,5 c
KMT	13.883,3 ef	LA	LA
PMZ	47.811,3 i	205,4 ab	7.069,8 a
TBK	20.405,8 g	749,8 de	14.713,6 c
SKU	11.404,8 cd	595,0 cd	LA
TGT	113.528,1 k	948,3 e	30.948,3 d
SLD	13.184,2 def	388,2 bc	13.707,4 bc
BKC	117.615,8 l	7.401,9 h	1.390.689,2 i
CII	46.487,5 i	LA	30.155,4 d
VKL	46.668,6 i	415,2 bc	12.846,4 bc
CIV	45.881,4 i	2.023,5 f	37.017,9 e
DYT	39.342,8 h	LA	9.629,3 ab
CIII	199.499,4 n	2.097,2 f	60.757,8 f
CI	51.578,6 j	4.561,0 g	68.124,5 g
ZEO	13.390,2 def	LA	LA
PRL	4.678,2 a	LA	LA
KRP	123.637,6 m	423,1 bc	17.472,4 c
F Değeri	8.609,542***	624,622***	61.762,921***

LA: Limit altı, ***: p<0,001

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Ga, Ag ve B'nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Ga'da 15 grup, Ag'de 8 grup, B'de ise 9 grup oluşturduğu belirlenmiştir. GDA, UCK, KRC, ODK, ALC, KMT, CII, DYT, ZEO ve PRL'de Ag konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. KMT, TBK, ZEO ve PRL'de de B konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin

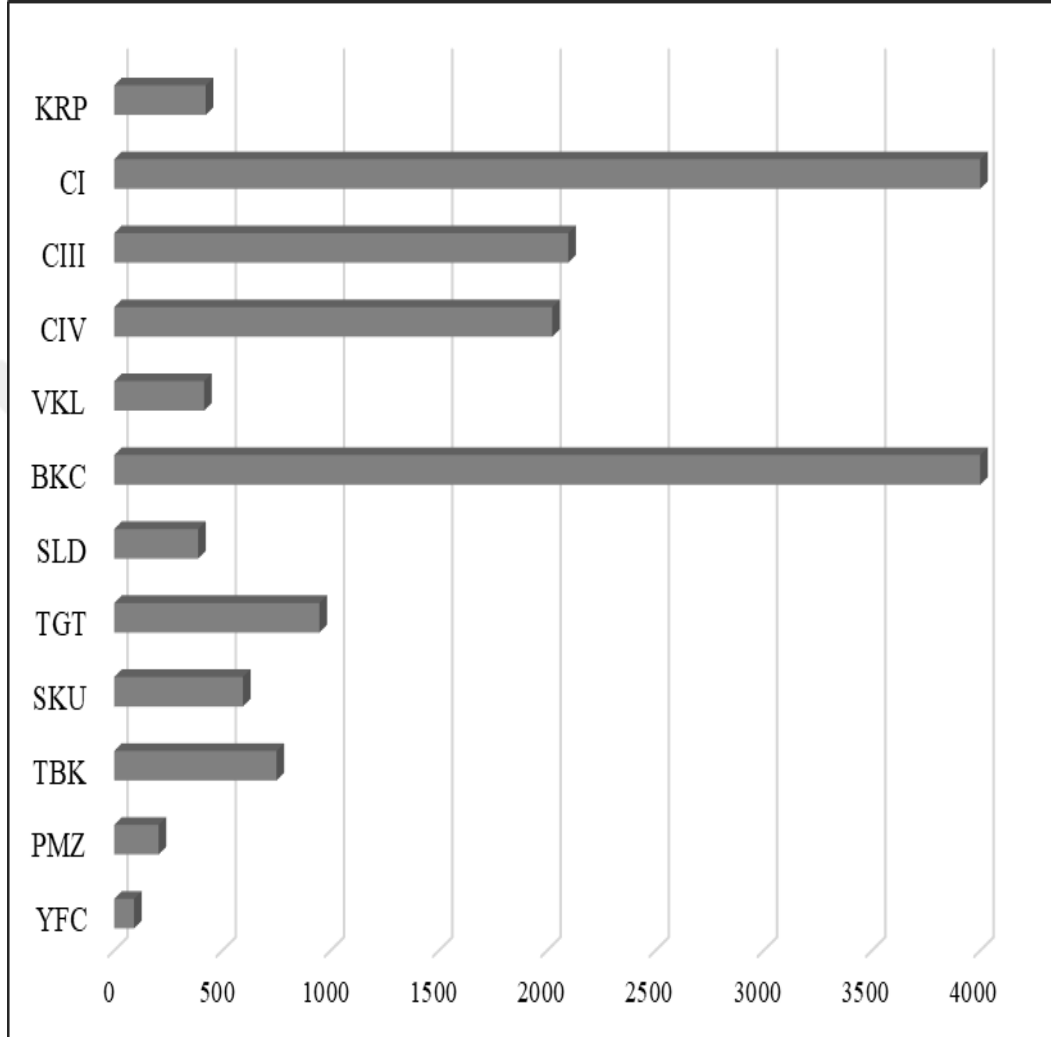
altında kalmıştır. Ga konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Ga konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

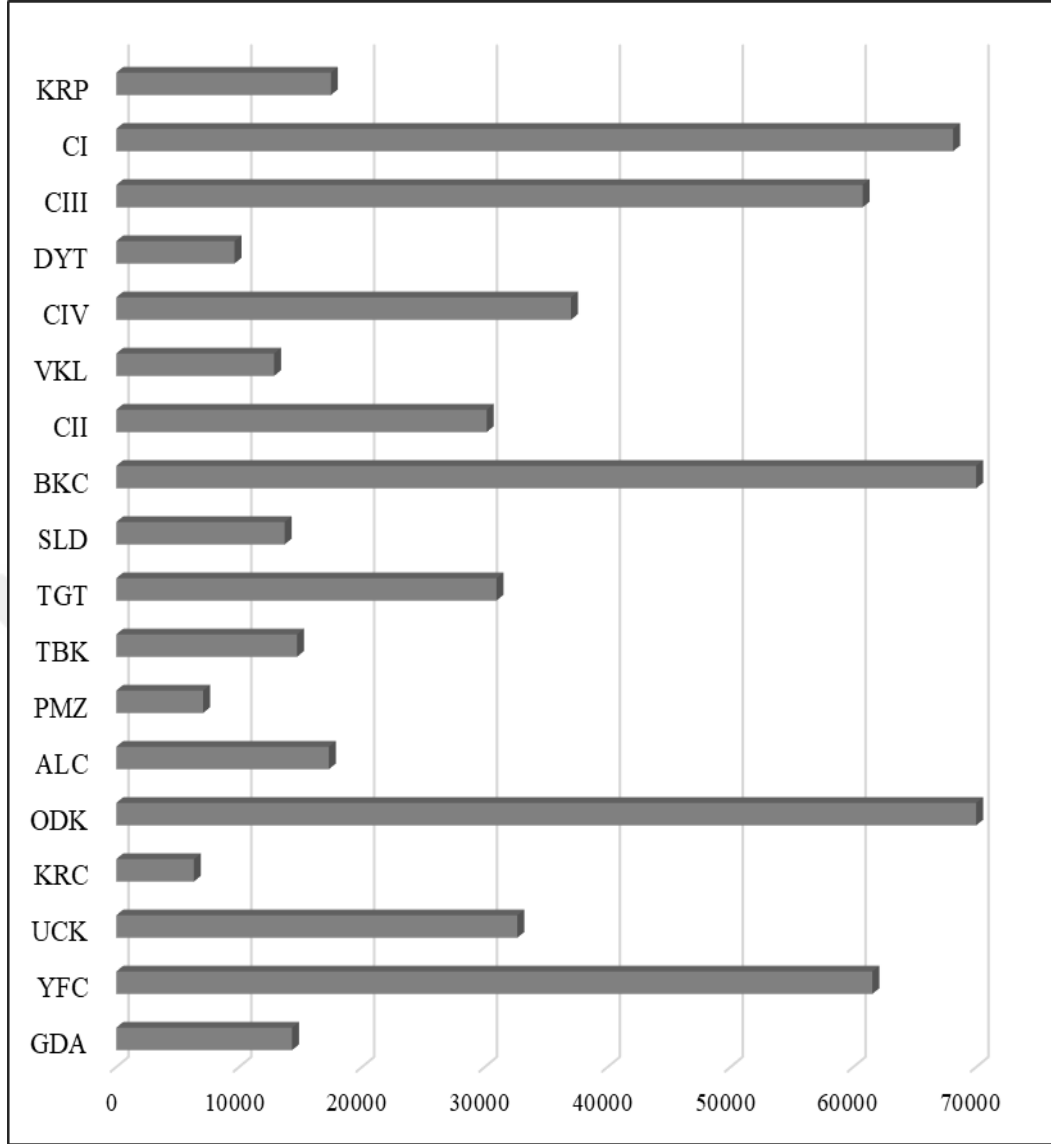
Şekil 4.7 incelendiğinde Ga konsantrasyonunun 236.139,2 ppb ile 4.678,2 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (4.678,2) ve GDA (7.538,3)’da elde edilirken en yüksek değerler YFC (236.139,2), CIII (199.499,4) ve KRP (123.637,6)’de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında 50 kattan fazla fark olduğu hesaplanmıştır. Grafiğe bakıldığında genelde değerler 60.000 ppb’nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece KRP (123.637,6),

CIII (199.499,4), BKC (117.615,8), TGT (113.528,1) ve YFC (236.139,2) geçebilmiştir. Ag konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Ag (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere Ag konsantrasyonu 7.401,9 ppb ile 92,2 ppb arasında değişmektedir. En düşük değerler YFC (92,2) ve PMZ (205,4)’de elde edilirken en yüksek değerlerin ise CI (4.561,0) ve BKC (7.401,9)’de elde edildiği görülmektedir. Değerler incelendiğinde en yüksek değer, en küçük değerin yaklaşık 80 katı olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 1.500 ppb’nin altında kaldığı, bu sınırı geçenlerin yalnızca BKC (74.01,9), CIV (2.023,5), CIII (2.097,2) ve CI (4.561,0) olduğu saptanmıştır. B konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 B (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

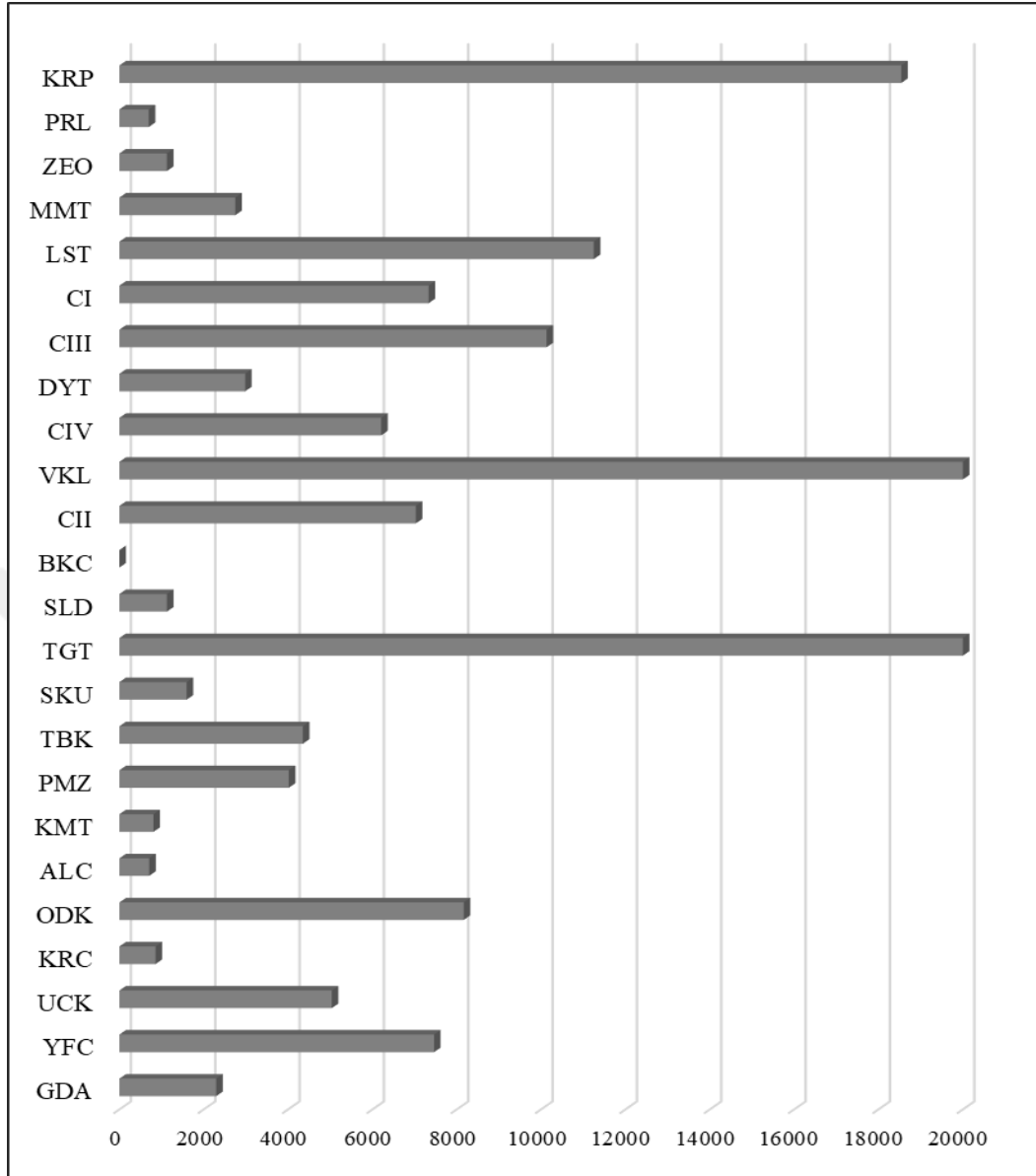
Şekil 4.9 incelendiğinde B konsantrasyonunun 1.390.689,2 ppb ile 6.321,4 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler KRC (6.321,4), PMZ (7.069,8) ve DYT (9.629,3) 'de elde edilirken en yüksek değerler ODK (916.398,3), BKC (1.390.689,2), CIII (60.757,8) ve YFC (61.551,4)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 220 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 40000 ppb'nin altında kalmış, sadece YFC (61.551,4), ODK (916.398,3), BKC (1.390.689,2), CIII (60.757,8) ve CI (68.124,5) bu sınırı geçmiştir. Çalışmaya konu elementlerden Co, Bi ve Mg konsantrasyonlarının malzemeler bazında değişimi ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Malzemelerin Co, Bi ve Mg içerikleri

Malzeme	Co (ppb)	Bi (ppb)	Mg (ppm)
GDA	2.294,8 d	1.502,3 ab	3.344,3 i
YFC	7.461,8 l	9.382,7 g	15.347,1 v
UCK	5.037,8 i	LA	2.113,6 f
KRC	856,4 a	2.703,1 cd	5.821,7 k
ODK	8.165,4 m	3.375,9 d	10.286,8 p
ALC	707,2 a	1.759,9 abc	4.530,8 j
KMT	806,6 a	2.553,3 bcd	1.332,3 e
PMZ	4.017,4 g	684,7 a	762,0 c
TBK	4.351,3 h	1.103,3 a	2.091,4 f
SKU	1.594,6 c	1.124,9 a	420,6 b
TGT	23.830,8 r	5.679,2 e	10.630,6 r
SLD	1.126,8 b	LA	1.067,8 d
BKC	82.648,0 t	158.643,2 i	6.434,2 m
CII	7.028 k	5.554,7 e	8.481,2 o
VKL	25.195,3 s	4.574,6 e	15.246,2 u
CIV	6.208,3 j	4.739,5 e	8.166,3 n
DYT	2.982,7 f	1.018,8 a	6.083,1 l
CIII	10.129 n	11.503,3 h	15.356,0 v
CI	7.333,3 l	7.935,3 f	12.962,6 s
LST	11.248,8 o	LA	14,7 a
MMT	2.748,3 e	1.217,8 a	2.341 g
ZEO	1.125,8 b	741 a	3.198,3 h
PRL	695 a	LA	LA
KRP	18.541,1 p	5.218,6 e	15.043,8 t
F Değeri	71.815,061***	8.378,837***	70.321,087***

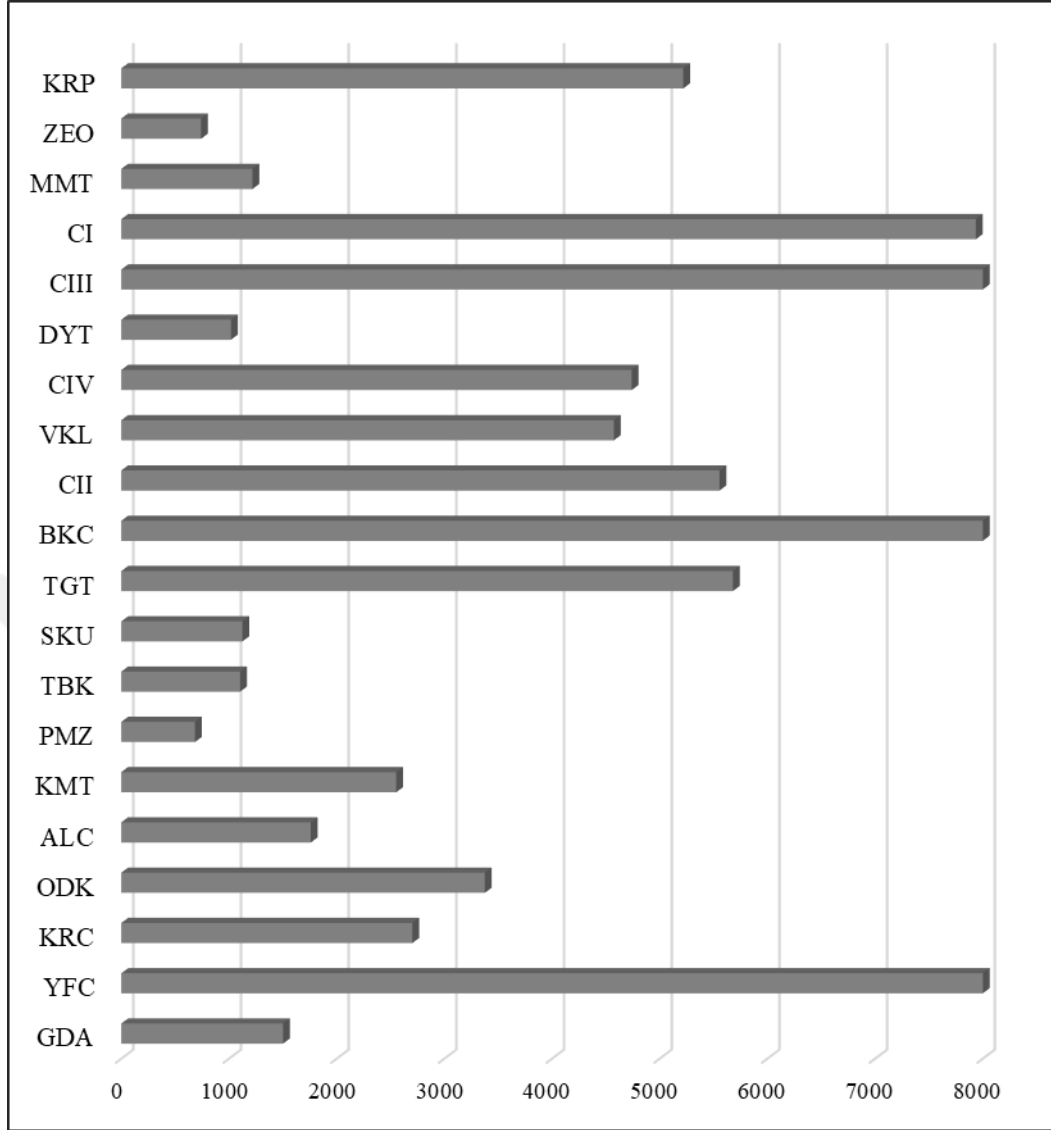
LA: Limit altı, ***: $p < 0,001$ $P < 0,001 = \%99,9$ $p < 0,01 = \%99$ $p < 0,05 = \%95$ $p > 0,05 = ns$

Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Co, Bi ve Mg'nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde ($p < 0,001$) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Co'da 19 grup, Bi'de 9 grup, Mg'de 21 grup olduğu belirlenmiştir. UCK, SLD, LST ve PRL'de Bi konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. PRL'de Mg konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Co konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.



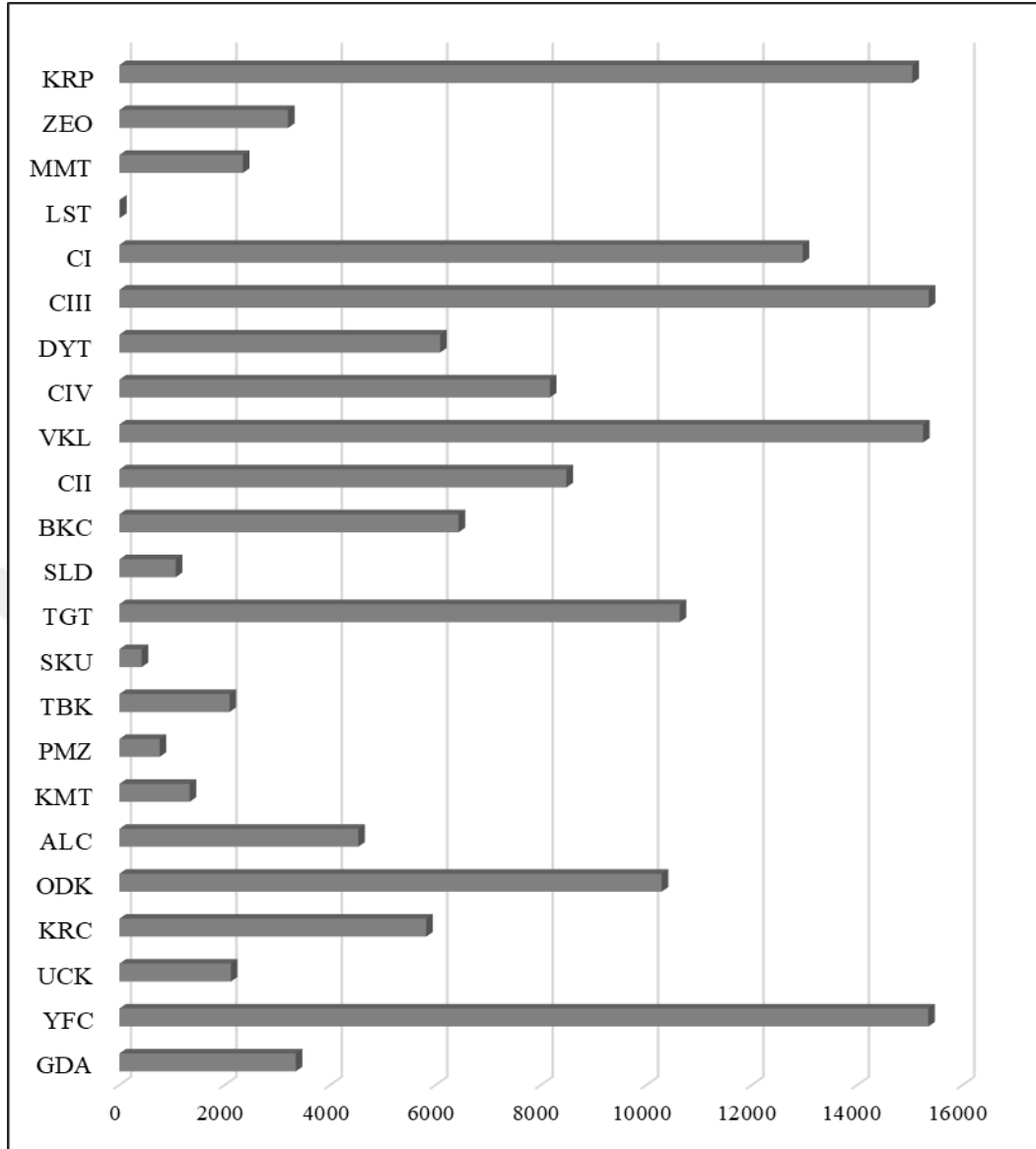
Şekil 4.10 Co (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.10 incelendiğinde Co konsantrasyonunun 82.648 ile 695 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler BKC (82.648,0), PRL (695), KMT (806,6), ALC (707,2) ve KRC (856,4)'de elde edilirken en yüksek değerler TGT (23.830,8), VKL (25.195,3) ve KRP (18.541,1)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer 119 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 12000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece TGT (23.830,8), VKL (25.195,3) ve KRP (18.541,1) geçebilmiştir. Bi konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 Bi (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.11 incelendiğinde Bi konsantrasyonunun 158.643,2 ppb ile 684,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin PMZ (684,7), TBK (1.103,3), SKU (1.124,9) ve ZEO (741)'da olduğu görülürken en yüksek değerlerin ise BKC (158.643,2), CIII (11.503,3), CI (7.935,3) ve YFC (9.382,7)'de olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 231 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 5.000 ppb'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca YFC (9.382,7), TGT (5.679,2), BKC (158.643,2), CII (5.554,7), CIII (11.503,3), CI (7.935,3) ve KRP (5.218,6) olduğu saptanmıştır. Mg konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Mg (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.12 incelendiğinde Mg konsantrasyonunun 15.356 ppb ile 14,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler LST (14,7), SKU (420,6) ve PMZ (762,0) 'de elde edilirken en yüksek değerler YFC (15.347,1), VKL (15.246,2) CIII (15.356,0) ve KRP (15.043,8)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değerin 1.045 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 10000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece YFC (15.347,1), ODK (10.286,8), TGT (10.630,6), VKL (15.246,2), CIII (15.356,0), CI (12.962,6) ve KRP (15.043,8)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin As, Cd, Ni ve Se içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

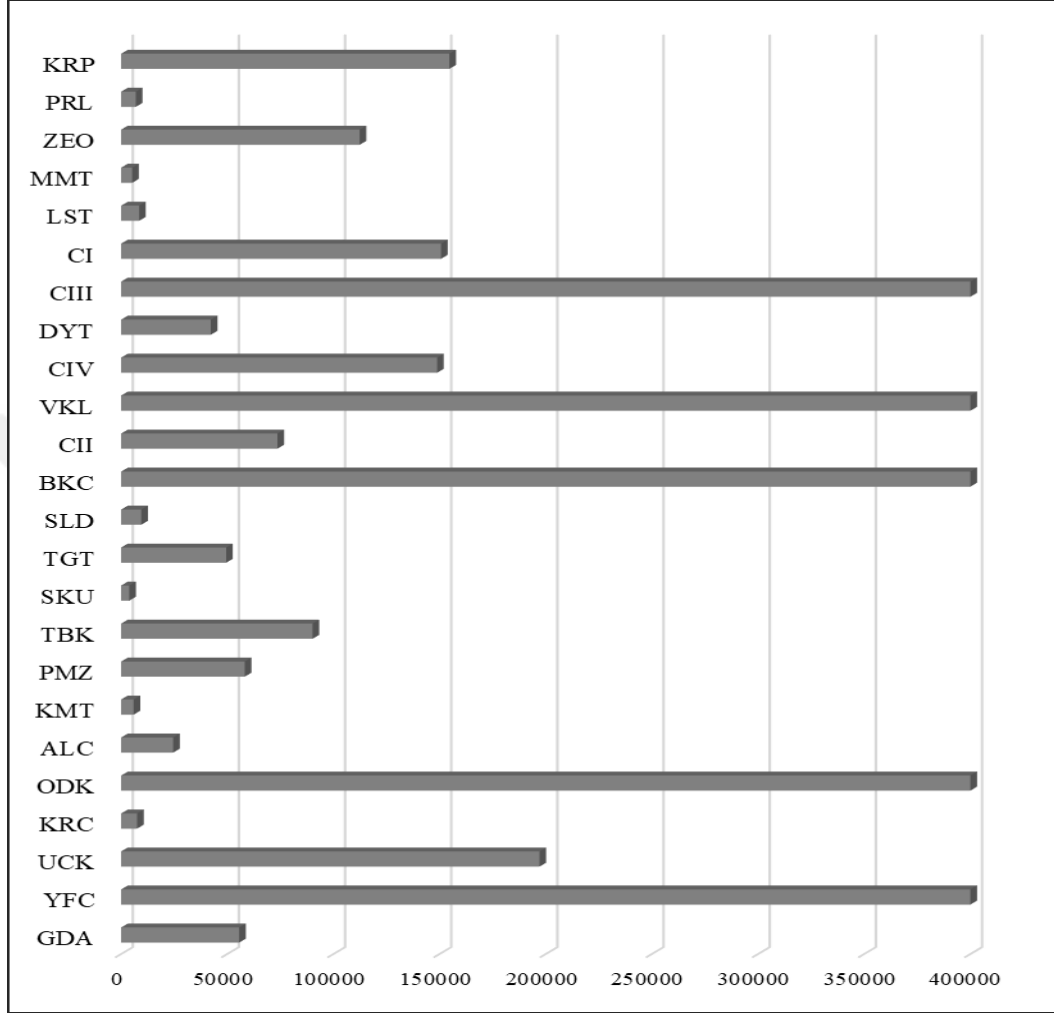
Tablo 4.5 Malzemelerin As, Cd, Ni ve Se içerikleri

MALZEME	As	Cd	Ni	Se
GDA	55.585,3 de	906,2 m	9.616,9 g	8.810,2 g
YFC	1.973.397,5 n	268,0 a	3.304 c	44.326,3 s
UCK	197.070 j	478,7 de	13.272,8 h	9.441,1 h
KRC	7.541,2 a	457,7 cd	24.380,7 k	7.672,7 f
ODK	506.635 k	791,8 k	99.194,4 t	12.482,7 i
ALC	24.502,2 b	469,8 cde	3.960,1 cd	5.927,3 d
KMT	5.897,3 a	1.461,8 n	3.863,8 cd	6.684,8 e
PMZ	58.250,6 e	472,1 de	5.795,6 e	8.765,3 g
TBK	90.198,3 g	488,5 de	14.820,3 i	9.339,1 h
SKU	3.822,3 a	523,2 f	8.374,8 f	4.138,8 c
TGT	49.453,3 cd	759,1 j	71.638,3 s	27.996,3 n
SLD	9.510,3 a	563,6 g	3.665,8 c	2.546,8 b
BKC	1.385.854,2 m	1.441,6 n	366.595,0 u	36.968,8 r
CII	73.646,1 f	823,8 l	37.284,4 n	19.149,2 k
VKL	636.816,7 l	563,3 g	17.241,1 j	32.074,3 o
CIV	148.853,2 i	625,8 h	25.231,1 l	19.462,5 k
DYT	42.243,7 c	501,9 ef	53.682,3 r	16.887,9 j
CIII	2.102.506,7 o	460,8 cd	31.677 m	45.300,9 t
CI	150.669 i	748,9 j	39.361,6 o	26.070,8 m
LST	8.490,4 a	755,1 j	4.473,8 d	2.831,5 b
MMT	5.226,9 a	735,3 j	2.644,7 b	5.904,3 d
ZEO	112.339,9 h	367,8 b	4.531,9 d	22.887,7 l
PRL	6.944,8 a	437,7 c	1.603,8 a	1.929 a
KRP	154.639,3 i	677,5 i	4.0309 p	34.338,5 p
F Değeri	6.458,779***	758,926***	103.658,039***	7517,605***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

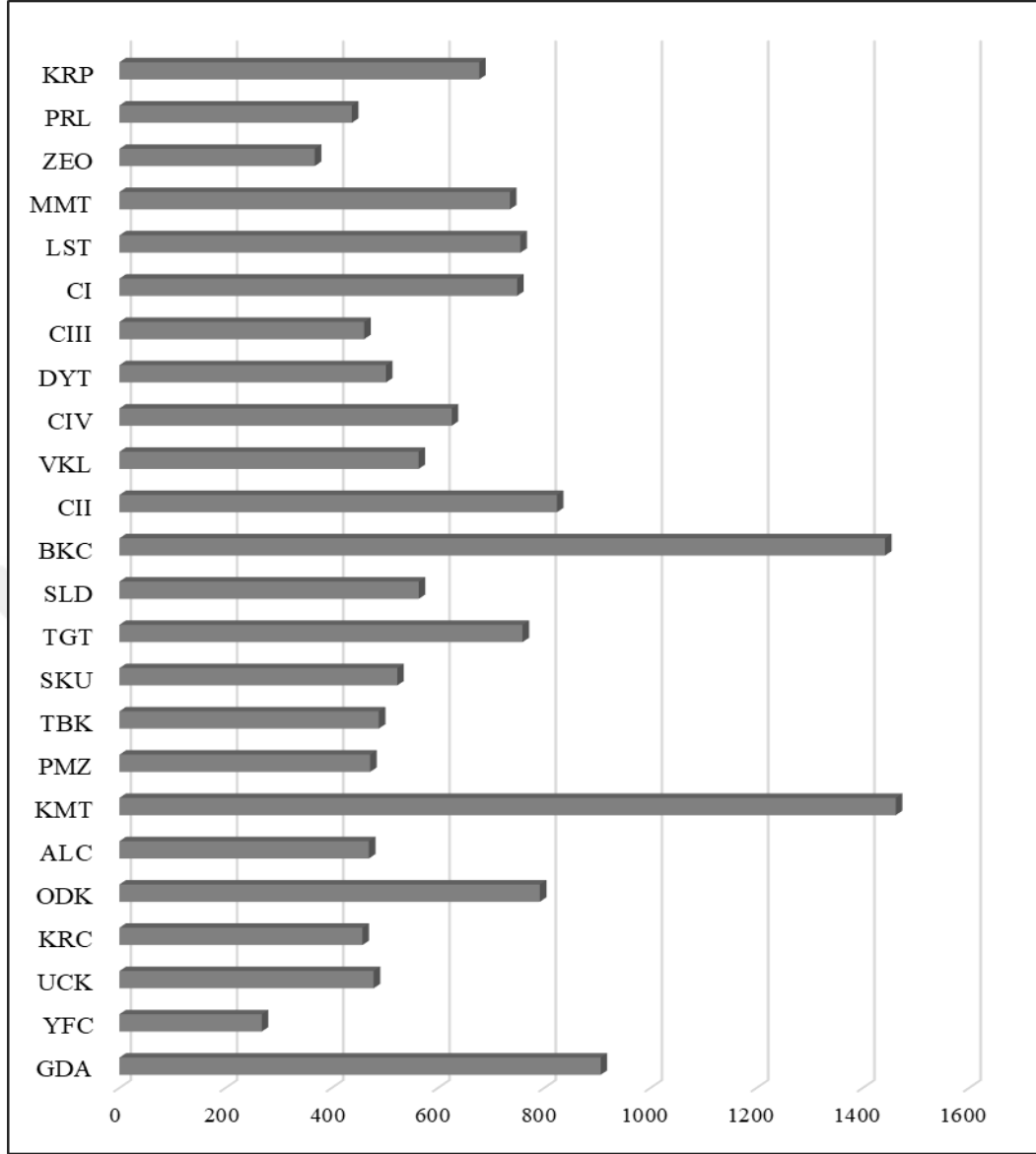
Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden As, Cd, Ni ve Se'nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin As'de 15 grup, Cd'de 14 grup, Ni'de 20 grup, Se'de 19 grup olduğu belirlenmiştir. As

konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.13'te verilmiştir.



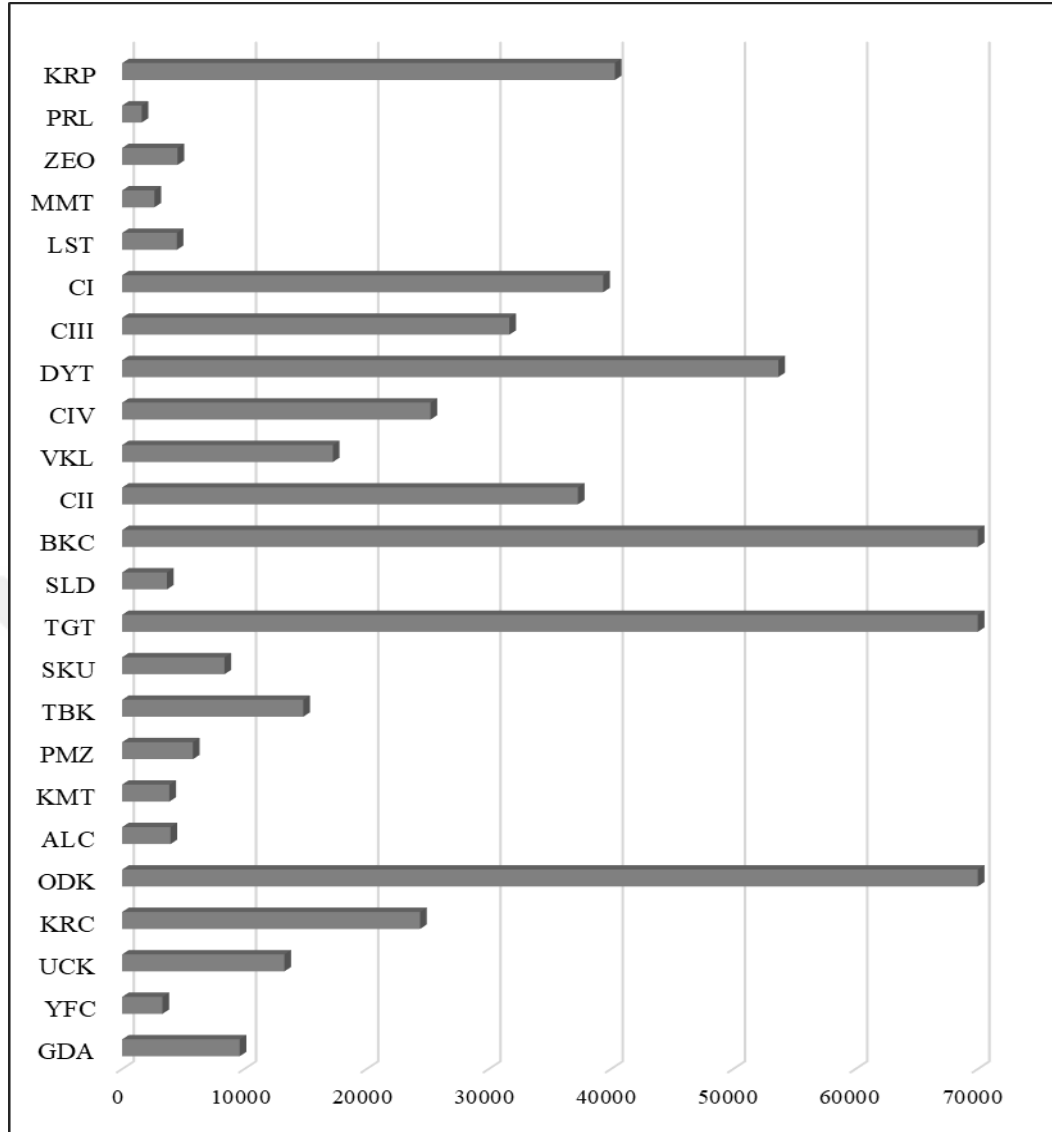
Şekil 4.13 As (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.13 incelendiğinde As konsantrasyonunun 2.102.506,7 ppb ile 3.822,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler SKU (3.822,3), MMT (5.226,9) ve KMT (5.897,3)'de elde edilirken en yüksek değerler YFC (1.973.397,5), ODK (506.635), BKC (1.385.854,2), VKL (636.816,7) ve CIII (2.102.506,7)'da elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 550 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 150.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece YFC (1.973.397,5), UCK (197.070), ODK (506.635), BKC (1.385.854,2), VKL (636.816,7), CIII (2.102.506,7) ve KRP (154.639,3) geçebilmiştir. Cd konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.



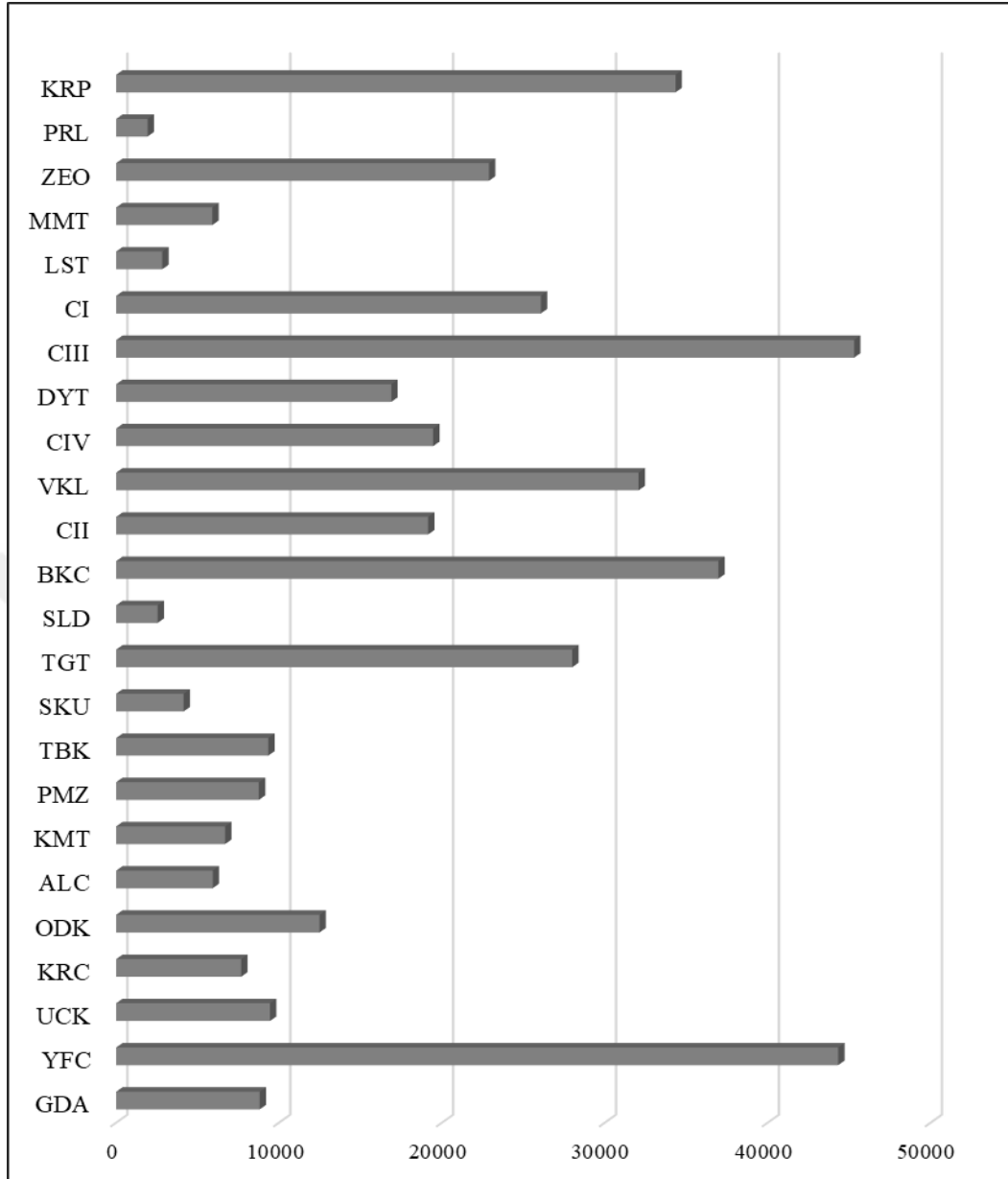
Şekil 4.14 Cd (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.14 incelendiğinde Cd konsantrasyonunun 1.461,8 ppb ile 268 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin YFC (268,0) ve ZEO (367,8)'da olduğu görülürken en yüksek değerlerin ise KMT (1.461,8) ve BKC (1441,6)'de olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en küçük değerın 5,5 katının en büyük değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 600 ppb'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca GDA (906,2), ODK (791,8), KMT (1.461,8), TGT (759,1), BKC (1.441,6), CII (1.441,6), CIV (625,8), CI (748,9), LST (755,1), MMT (735,3) ve KRP (677,5) olduğu saptanmıştır. Ni konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Ni (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.15 incelendiğinde Ni konsantrasyonunun 366.595 ppb ile 1.603,8 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (1.603,8), YFC (3.304), ALC (3.960,1), KMT (3.863,8) ve MMT (2.644,7)'de elde edilirken en yüksek değerler BKC (366.595,0), ODK (99.194,4) ve TGT (71.638,3)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 229 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 40.000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece ODK (99.194,4), TGT (71.638,3), BKC (366.595,0) ve DYT (53.682,3)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. Se konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Se (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.16 incelendiğinde Se konsantrasyonunun 45.300,9 ppb ile 1.929 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (1.929), LST (2.831,5) ve SLD (2.546,8)'de elde edilirken en yüksek değerler YFC (44.326,3), TGT (27.996,3), BKC (36.968,8), VKL (32.074,3), CIII (45.300,9) ve KRP (34.338,5)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değerin 23,5 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 20.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece YFC (44.326,3), TGT (27.996,3), BKC (36.968,8), VKL (32.074,3), CIII (45.300,9), CI (26.070,8), ZEO (22.887,7) ve KRP (34.338,5)

geçebilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Pt, Na, K ve Ca içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.6’da verilmiştir.

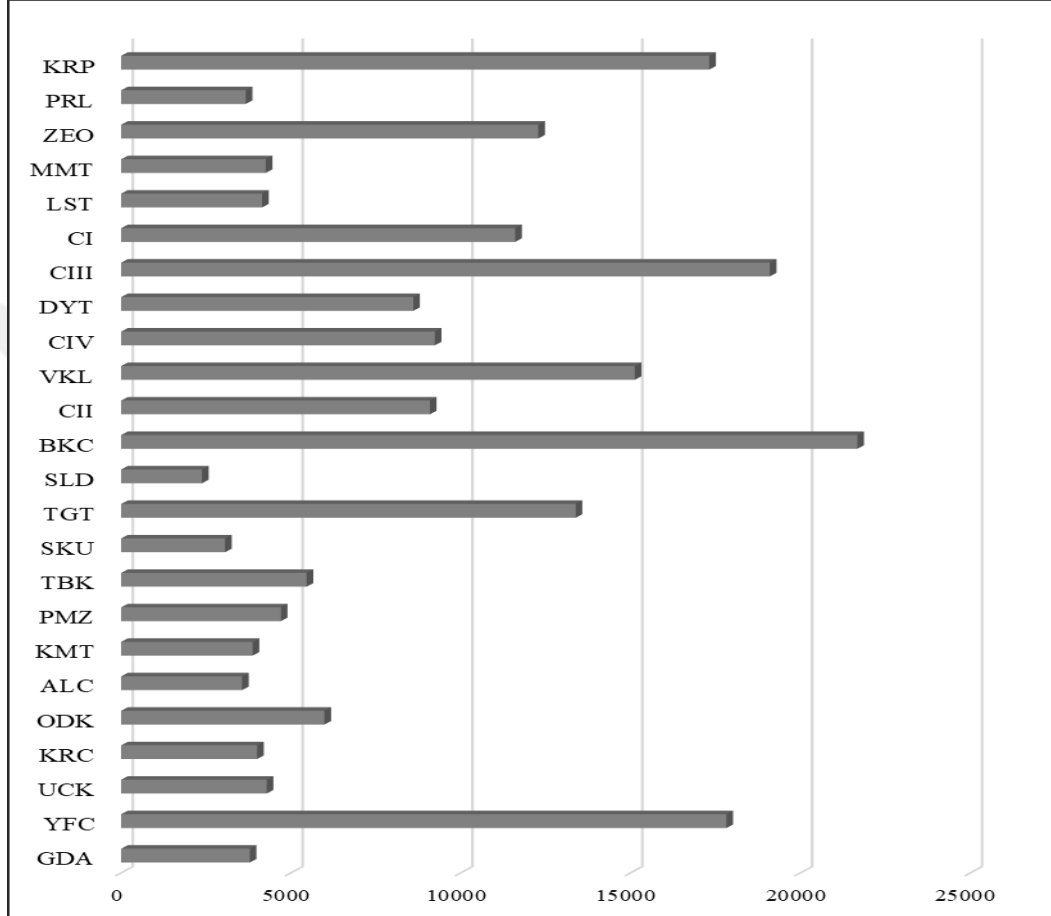
Tablo 4.6 malzemelerin Pt, Na, K ve Ca içerikleri

MALZEME	Pt	Na	K	Ca
GDA	3.789,3 cde	601,3 g	1.694,9 g	4.548,3 fgh
YFC	17.820 s	1.893,6 l	5.703,1 p	4.641,2 ij
UCK	4.288 g	373,3 d	2.121,4 i	5.499,8 m
KRC	4.003,6 defg	156,3 b	1.030,1 d	4.517,2 fg
ODK	5.984,2 j	5.226,9 r	42.038,9	4.702,4 j
ALC	3.561,9 c	226 c	607,5 c	4.602,5 ghi
KMT	3.872,3 cdef	129,1 b	504,5 b	4.548,1 fgh
PMZ	4.704,3 h	646,3 gh	1.230,8 e	2.981,3 c
TBK	5.462,2 i	457,2 ef	2.829,5 j	4.099,5 e
SKU	3.061,7 b	117,1 b	470,8 b	5.069,8 l
TGT	13.382,3 o	1.635,3 k	1.613,2 g	10.487,4 r
SLD	2.382,7 a	1.587,3 k	1.383,1 f	2.478,1 b
BKC	21.673,9	8.997,8 s	3.533,7 m	4.936,8 k
CII	9.090,4 l	1.003,3 i	3.409,2 l	4.528,8 fg
VKL	15.121,3 p	4.786,5 p	3.140,9 k	7.102,5 n
CIV	9.232,8 l	1.478,2 j	4.070,5 n	4.628 hij
DYT	8.600,3 k	689,3 h	1.964,2 h	7.252,3 o
CIII	19.096,8	2349 n	7.424,6 r	4.529,7 fg
CI	11.600,9 m	2.039,3 m	5.102,5 o	4.504,8 f
LST	4.151,6 efg	406,3 de	502,2 b	3.160,2 d
MMT	4.257,6 fg	58,2 a	189,9 a	4.544,8 fgh
ZEO	12.280,7 n	478 f	15.445,1	8.270,7 p
PRL	3.668,1 cd	2.780,8 o	1.323,1 f	98,3 a
KRP	17.314,8 r	14.708,4	8.833,2 s	10.508,3 r
F Değeri	2.041,679***	35.609,721***	71.371,922***	6.986,337***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

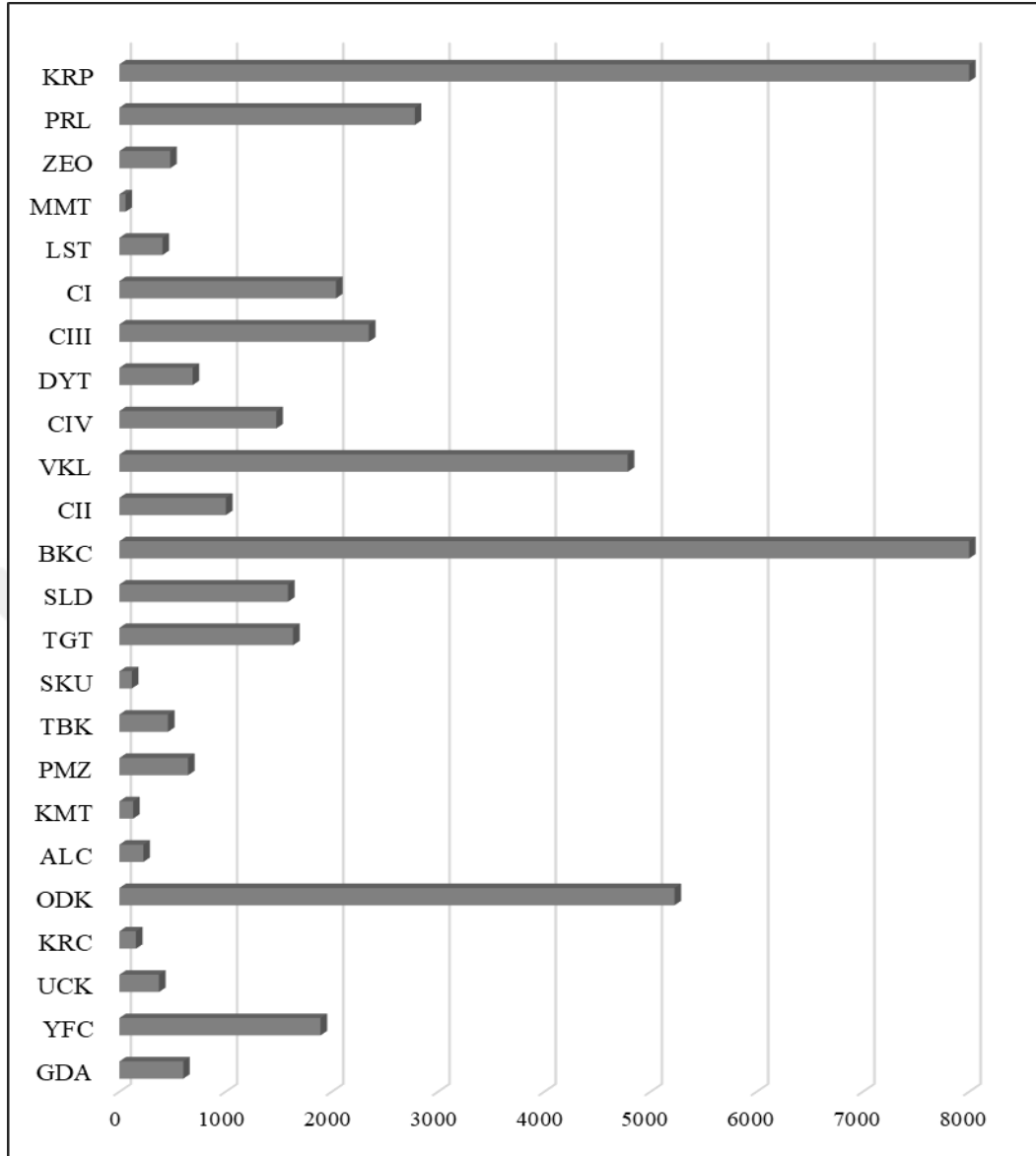
Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Pt, Na, K ve Ca’nın malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001)

anlamli olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Pt'de 20 grup, Na'da 19 grup, K'da 20 grup, Ca'da 17 grup oluştuğu belirlenmiştir. Pt konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik şekil 4.17'de verilmiştir.



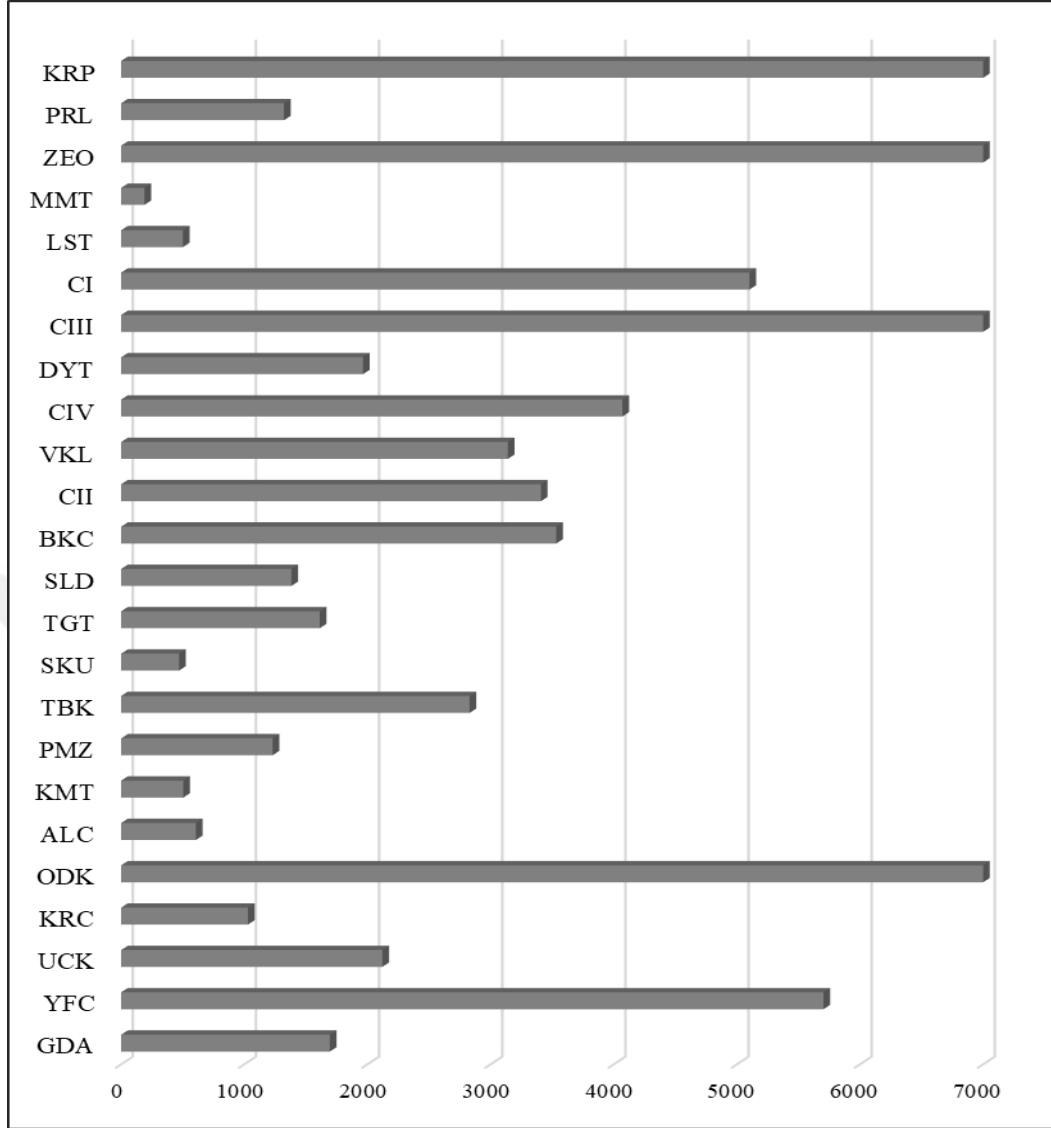
şekil 4.17 Pt (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

şekil 4.17 incelendiğinde Pt konsantrasyonunun 21.673,9 ppb ile 2.382,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler SLD (2.382,7) ve SKU (3.061,7)'da elde edilirken en yüksek değerler YFC (17.820), TGT (13.382,3), BKC (21.673,9), CIII (19.096,8) ve KRP (17.314,8)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 9 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 10000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece YFC (17.820), TGT (13.382,3), BKC (21.673,9), VKL (15.121,3), CIII (19.096,8), CI (11.600,9), ZEO (12.280,7) ve KRP (17.314,8) geğebilmiştir. Na konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik şekil 4.18'de verilmiştir.



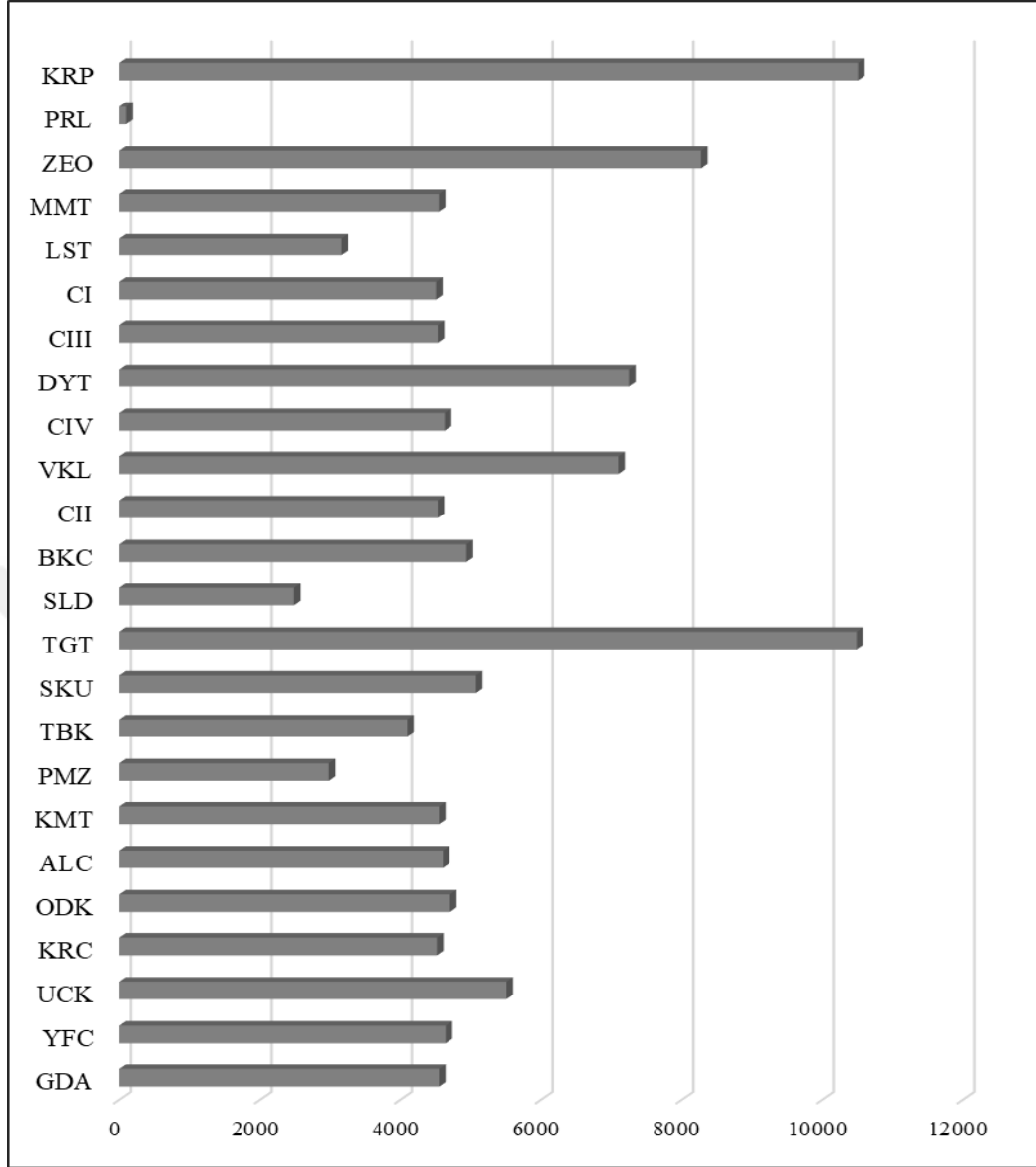
Şekil 4.18 Na (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.18 incelendiğinde Na konsantrasyonunun 14.708,4 ppb ile 58,2 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin MMT (58,2), SKU (117,1), KMT (129,1) ve KRC (156,3)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin ise ODK (5226,9), BKC (8.997,8), VKL (4.786,5) ve KRP (14.708,4)'de olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en küçük değerın 253 katının en büyük değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 2.000 ppb'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca ODK (5.226,9), BKC (8.997,8), VKL (4.786,5), CIII (2.349), CI (2.039,3), PRL (2.780,8) ve KRP (14.708,4) olduğu saptanmıştır. K konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19 K (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.19 incelendiğinde K konsantrasyonunun 42.038,9 ppb ile 189,9 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler MMT (189,9), LST (502,2), KMT (504,5), SKU (470,8) ve ALC (607,5)'de elde edilirken en yüksek değerler ODK (42.038,9), CIII (7.424,6), ZEO (15.445,1) ve KRP (8.833,2)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 221 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 4000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece YFC (4.641,2), ODK (42.038,9), CIII (7.424,6), CI (5.102,5), ZEO (15.445,1) ve KRP (8.833,2)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. Ca konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 Ca (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.20 incelendiğinde Ca konsantrasyonunun 10.508,3 ppb ile 98,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (98,3), PMZ (2.981,3), SLD (2.478,1) ve LST (3.160,2)'de elde edilirken en yüksek değerler TGT (10.487,4), KRP (10.508,3) ve ZEO (8.270,7)'da elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer 107 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 6.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı yalnızca TGT (10.487,4), VKL (7.102,5), DYT (7.252,3), ZEO (8.270,7) ve KRP (10.508,3) geçebilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Fe, Bi, Cu ve In içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir.

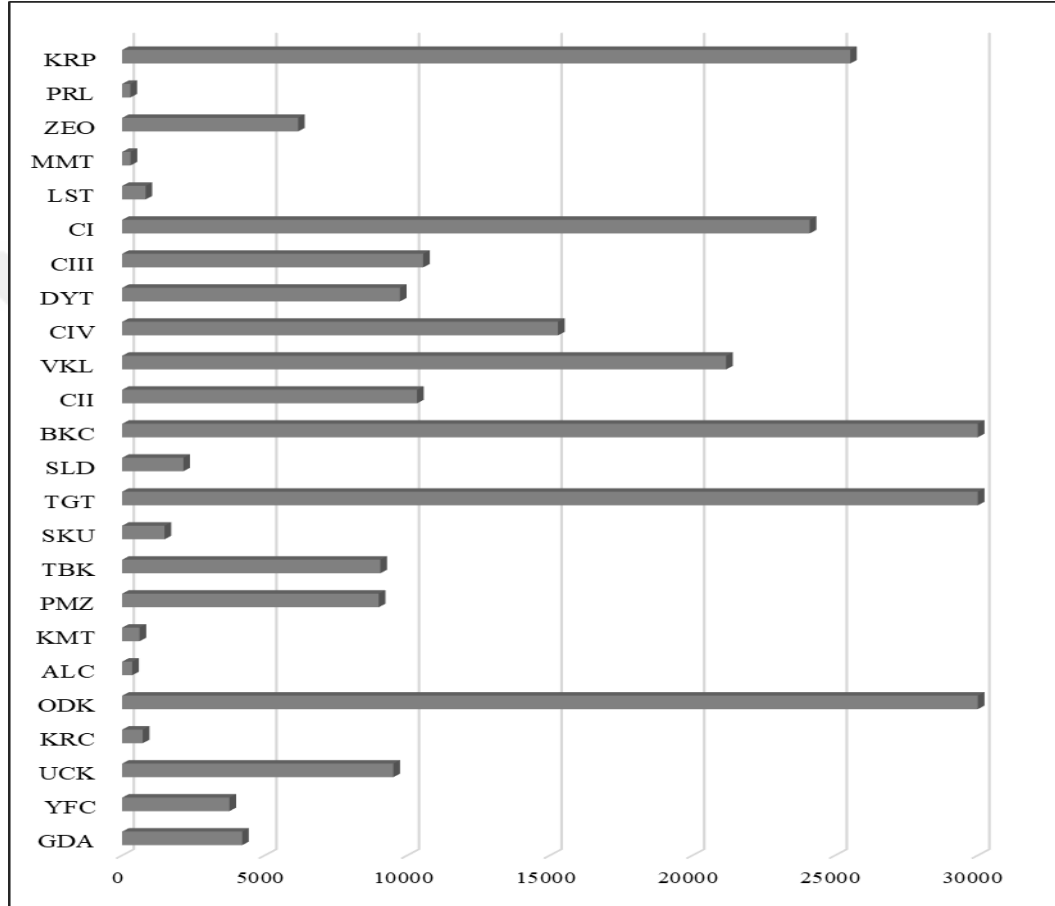
Tablo 4.7 Malzemelerin Fe, Bi, Cu ve In içerikleri

MALZEME	Fe	Bi	Cu	In
GDA	4.209,2 g	1.502,3 ab	9.383,8 c	4.198,3 d
YFC	3.761,2 f	9.382,7 g	3.653 a	11.267 j
UCK	9.510,1 j	LA	6.770,8 b	LA
KRC	725,3 bc	2.703,1 cd	LA	7.584,1 f
ODK	32.493,5 s	3.375,9 d	54.753,8 h	10.590,8 i
ALC	354,6 a	1.759,9 abc	LA	5.316,9 e
KMT	610,6 b	2.553,3 bcd	LA	7.440 f
PMZ	8.996,6 i	684,7 a	2.929,5 a	1.480,4 ab
TBK	9.053,3 i	1.103,3 a	51.410,4 g	1.081,4 a
SKU	1.488 d	1.124,9 a	LA	1.652,5 b
TGT	34.739,9 t	5.679,2 e	30.371,9 e	8.590,6 g
SLD	2.148,4 e	LA	2.665,6 a	LA
BKC	52.204,3 u	158.643,2 i	39.439,9 f	24.917,2 m
CII	10.339 l	5.554,7 e	59.728,2 i	10.140,9 h
VKL	21.177,6 o	4.574,6 e	71.526 k	10.601 i
CIV	15.284,6 n	4.739,5 e	68.097,8 j	8.814 g
DYT	9.739,8 k	1.018,8 a	39.364,3 f	1.686,8 b
CIII	10.552,6 m	11.503,3 h	20.438,6 d	18.123,7 l
CI	24.109,3 p	7.935,3 f	180.088,1 l	14.943,6 k
LST	822,4 c	LA	11.748 c	LA
MMT	297,2 a	1.217,8 a	6.461,1 b	4.186,9 d
ZEO	6.170,6 h	741 a	6.789,3 b	2.645,1 c
PRL	291,7 a	LA	4.523,9 ab	LA
KRP	25.527,7 r	5.218,6 e	21.709,3 d	8.663,7 g
F Değeri	102.223,854***	8.378,837***	2.433,677***	1.595,790***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Fe, Bi, Cu ve In'nın malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Fe'de 20 grup, Bi'de 9 grup, Cu'da 12 grup, In'de 13 grup oluştuğu belirlenmiştir. UCK, SLD, LST

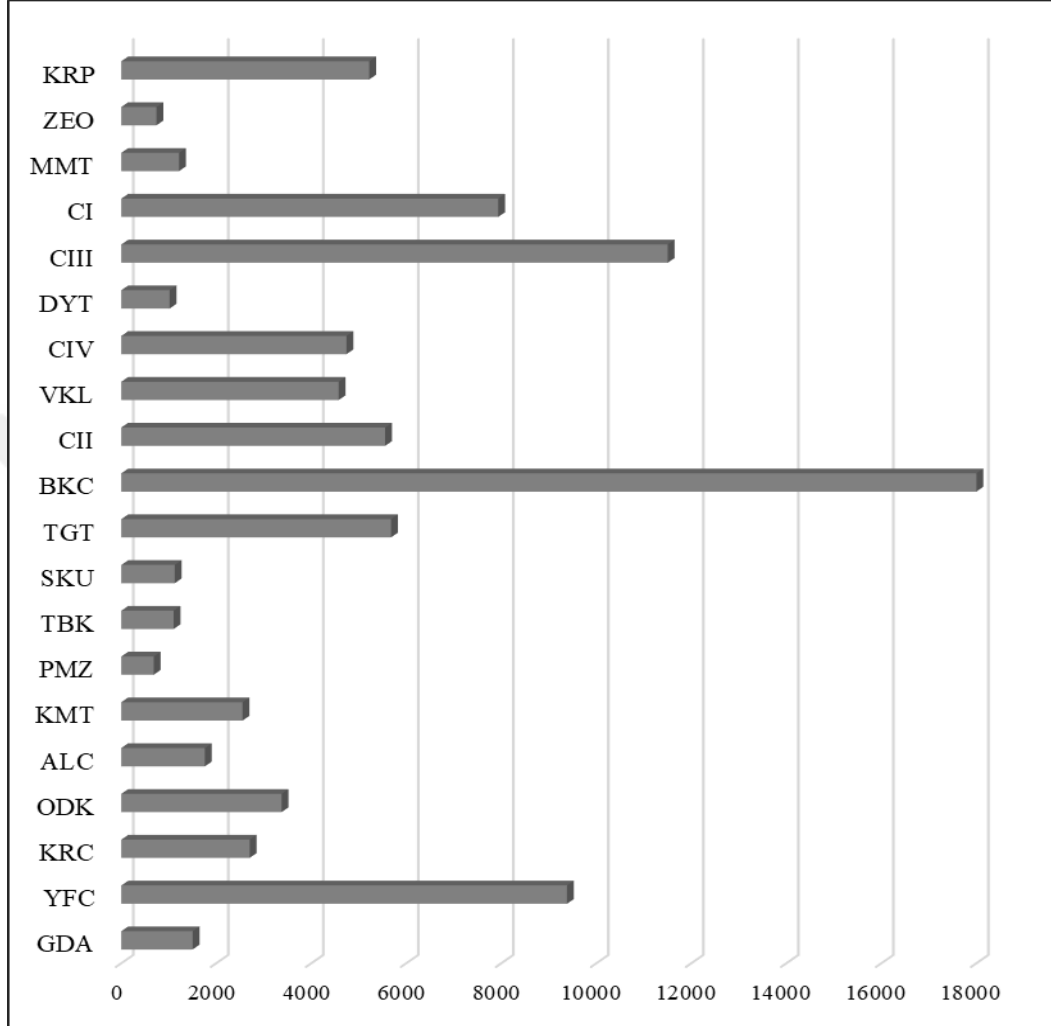
ve PRL’de Bi konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. KRC, ALC, KMT ve SKU’da Cu konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. UCK, SLD, LST ve PRL’de In konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Fe konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 Fe (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.21 incelendiğinde Fe konsantrasyonunun 52.204,3 ppb ile 291,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (291,7), MMT (297,2), ve ALC (354,6)’de elde edilirken en yüksek değerler ODK (32.493,5), TGT (34.739,9), BKC (52.204,3), VKL (21.177,6), CI (24.109,3) ve KRP (25.527,7)’de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 179 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 20.000 ppb’nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece ODK (32.493,5), TGT (34.739,9), BKC (52.204,3), VKL (21.177,6), CI (24.109,3) ve KRP (25.527,7) geçebilmiştir. Bi

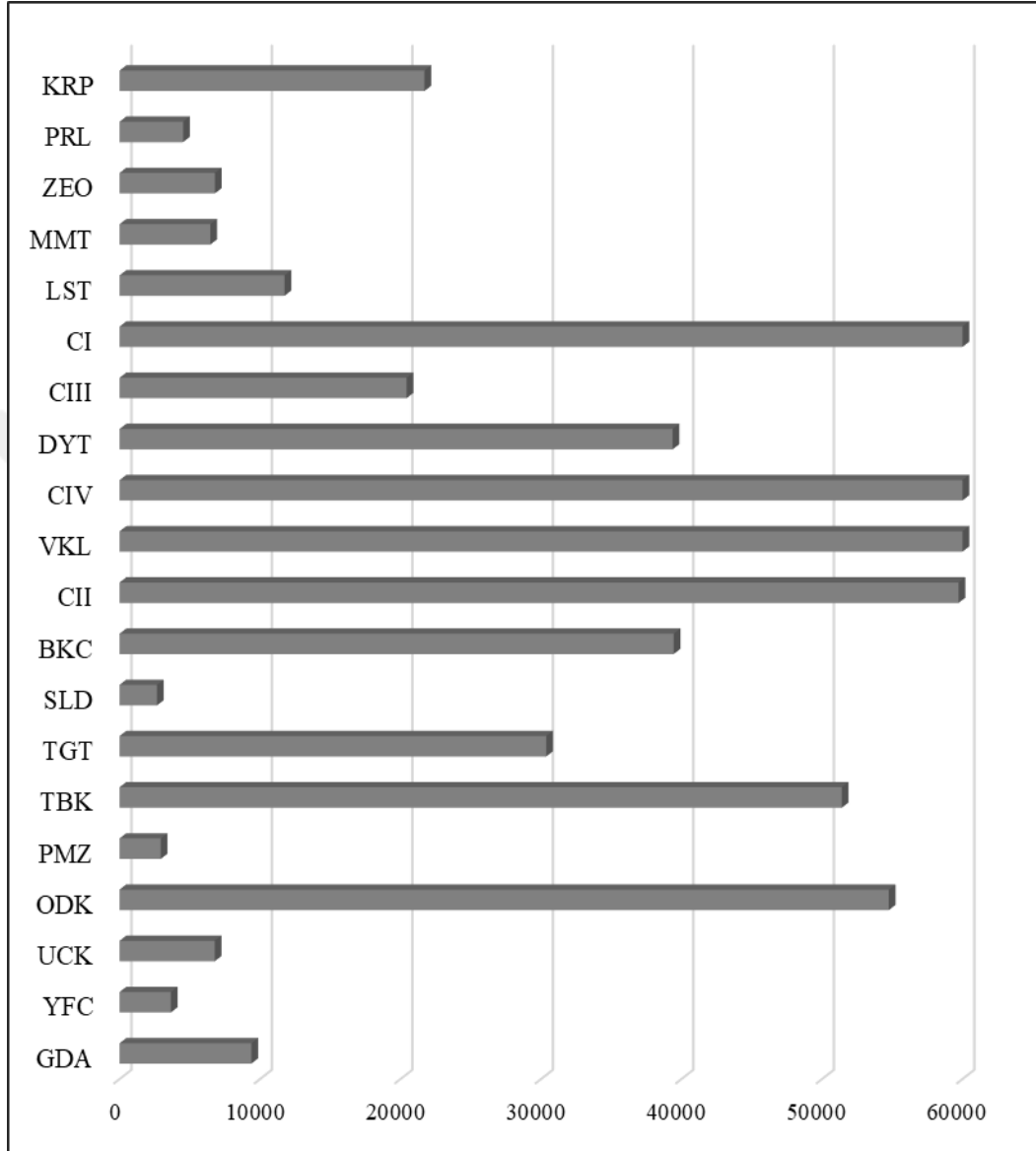
konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 Bi (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.22 incelendiğinde Bi konsantrasyonunun 158.643,2 ppb ile 684,7 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin PMZ (684,7), ZEO (741), TBK (1.103,3), SKU (1.124,9), MMT (1.217,8) ve DYT (1.018,8)’de olduğu görülürken en yüksek değerlerin BKC (158.643,2), CIII (11.503,3) ve YFC (9.382,7)’de olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en küçük değerın 232 katının en büyük değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 10.000 ppb’nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca BKC (158.643,2) ve CIII (11.503,3) olduğu saptanmıştır.

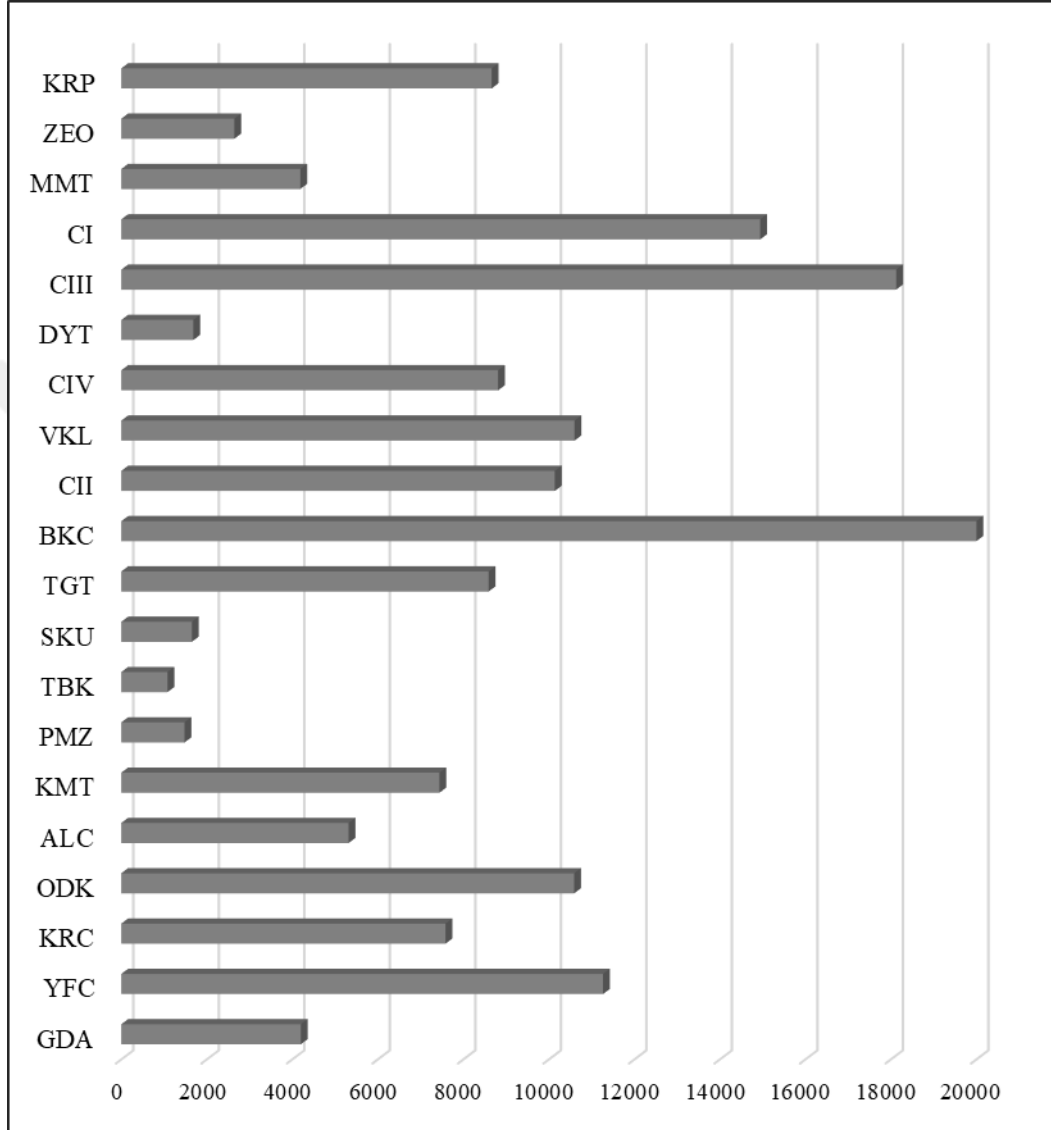
Cu konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23 Cu (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.23 incelendiğinde Cu konsantrasyonunun 180.088,1 ppb ile 266,6 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler SLD (2.665,6), PMZ (2.929,5), YFC (3.653) ve PRL (4.523,9)'de elde edilirken en yüksek değerler CI (180.088,1), CIV (68.097,8), VKL (71.526), CII (59.728,2) ve ODK (54.753,8)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 68 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 40.000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece ODK (54.753,8), TBK (51.410,4), CII (59.728,2), VKL (71.526), CIV

(68.097,8) ve CI (180.088,1)'nın bu sınırı geçtiği görülmektedir. In konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24 In (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.24 incelendiğinde In konsantrasyonunun 24.917,2 ppb ile 1.081,4 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler SKU (1.652,5), TBK (1.081,4) ve PMZ (1.480,4)'de elde edilirken en yüksek değerler BKC (24.917,2), CIII (18.123,7) ve CI (14.943,6)'da elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değerin 23 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 12.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı yalnızca BKC (24.917,2), CIII (18.123,7)

ve CI (14.943,6) geçebilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin P, Sr, S ve V içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.8’de verilmiştir.

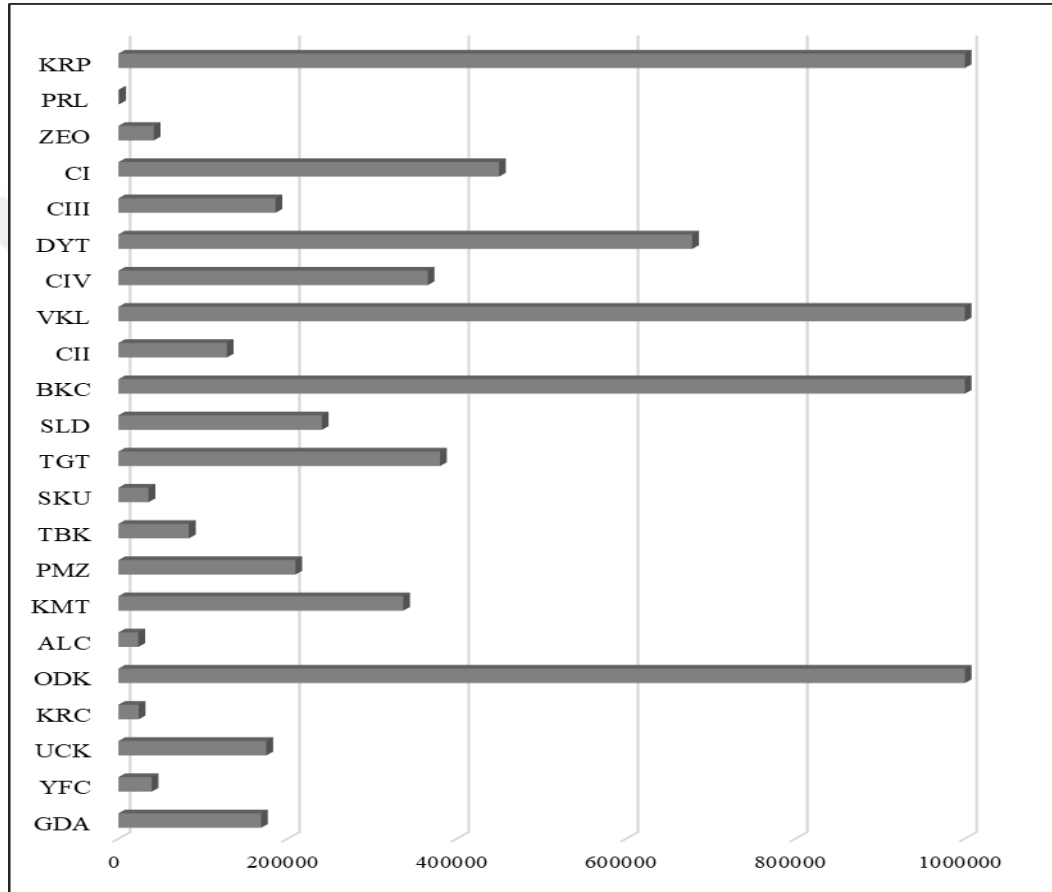
Tablo 4.8 Malzemelerin P, Sr, S ve V içerikleri

MALZEME	P	Sr	S	V
GDA	168.754,2 f	145.112,3 h	1.219.683,3 h	16.255,9 d
YFC	39.471,1 bc	256.007,5 l	3.265.741,7 k	172.651,4 r
UCK	174.845,7 fg	71.136,5 e	239.766,9 e	28.723,9 h
KRC	24.140,3 b	135.125,7 g	2.330.268,3 i	95.657,5 o
ODK	3.332.566,7 p	274.659,2 m	3.130.141,7 j	15.760,8 d
ALC	23.639,6 b	7.380.025 s	73.225,7 b	3.360 a
KMT	336.635,8 j	105.842,9 f	286.009,7 f	7.061,7 c
PMZ	209.191,9 h	22.285,7 bc	69.977,7 b	19.615,3 f
TBK	83.409,9 d	36.525,1 d	115.036,4 cd	17.391,7 e
SKU	35.750,5 bc	27.108 c	26.586,7 a	5.256,7 b
TGT	380.069,2 k	190.108,3 j	93.888,3 bc	92.972,9 n
SLD	240.433,2 i	19.209,2 b	366.578,3 g	3.396,6 a
BKC	3.087.041,7 o	178.635,4 i	284.590 f	56.089,6 j
CII	128.186,8 e	470.638,3 r	42.74975 l	59.001,6 k
VKL	6.964.125 r	256.905 l	91.059,3 bc	22.710,8 g
CIV	365.475,8 k	286.410 n	5.050.016,7 m	50.463,4 i
DYT	677.923,3 m	75.781,5 e	83.587,3 b	109.403,7 p
CIII	185.782,1 g	450.316,7 p	6.049.808,3 n	194.237,4 s
CI	449.704,2 l	368.346,7 o	6.637.575 o	63.790,9 l
LST	LA	3.996,8 a	LA	LA
MMT	LA	LA	LA	LA
ZEO	41.910,9 c	218.067,2 k	69.403,8 b	4.170,8 ab
PRL	1.101,5 a	1.792,3 a	11.121,3 a	LA
KRP	1.467.320 n	194.364,3 j	135.769,8 d	66.836,2 m
F Değeri	85.749,689***	391.866,048***	53.081,995***	20.378,386***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden P, Sr, S ve V’nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin P’de 17 grup,

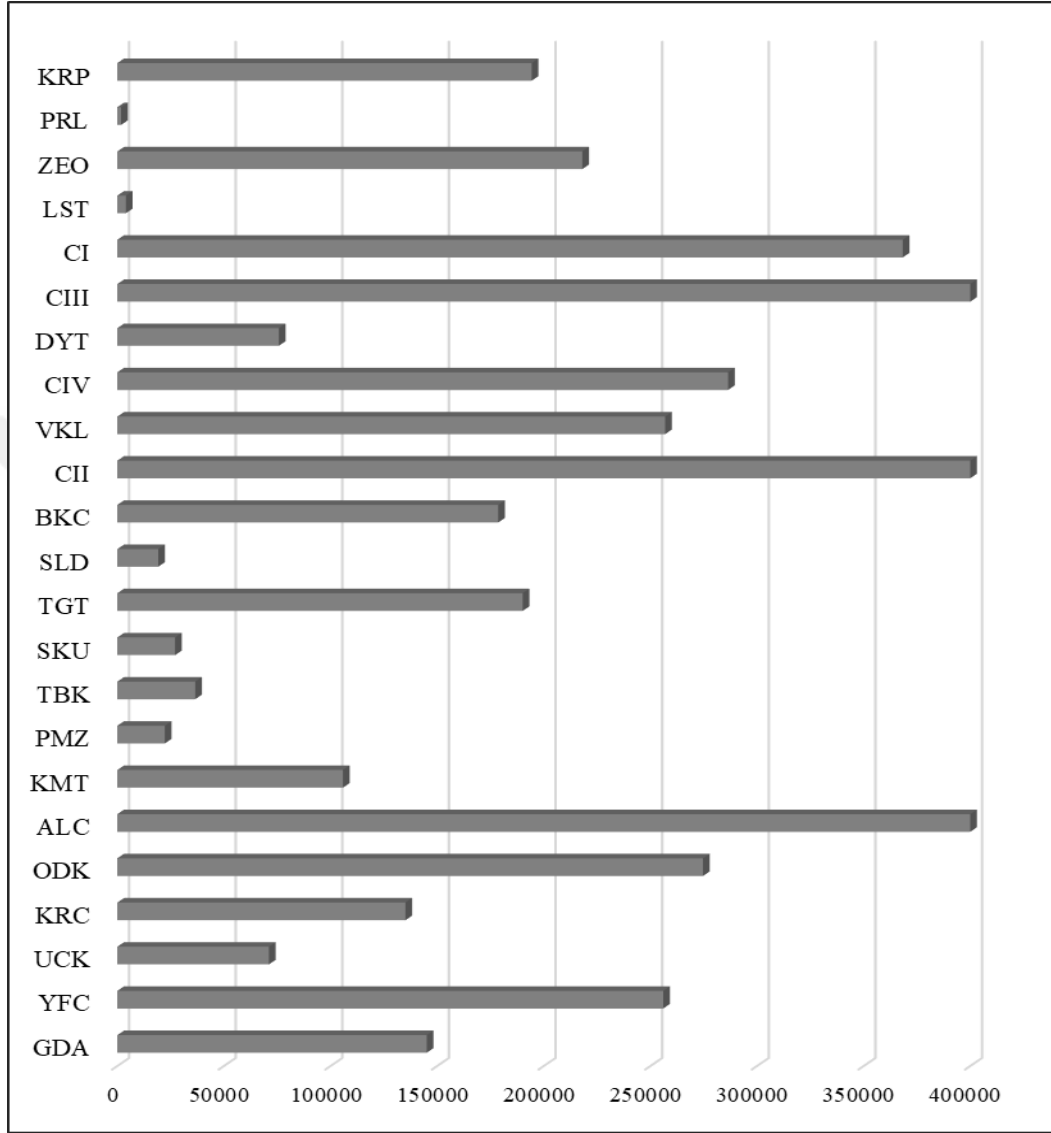
Sr'de 18 grup, S'de 15 grup, V'de 18 grup olduğu belirlenmiştir. LST ve MMT'de P konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. MMT'de Sr konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. LST ve MMT'de S konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. LST, MMT ve PRL'de V konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. P konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25 P (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.25 incelendiğinde P konsantrasyonunun 6.964.125 ppb ile 1.101,5 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (1.101,5), ALC (23.639,6), KRC (24.140,3), SKU (35.750,5) ve YFC (39.471,1)'de elde edilirken en yüksek değerler ODK (3.332.566,7), BKC (3.087.041,7), VKL (6.964.125) ve KRP (1.467.320)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer 6.322 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafığe bakıldığında genel olarak değerler 40.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece ODK (3.332.566,7), BKC (3.087.041,7), VKL (6.964.125), DYT (677.923,3), CI (449.704,2) ve KRP (1.467.320)

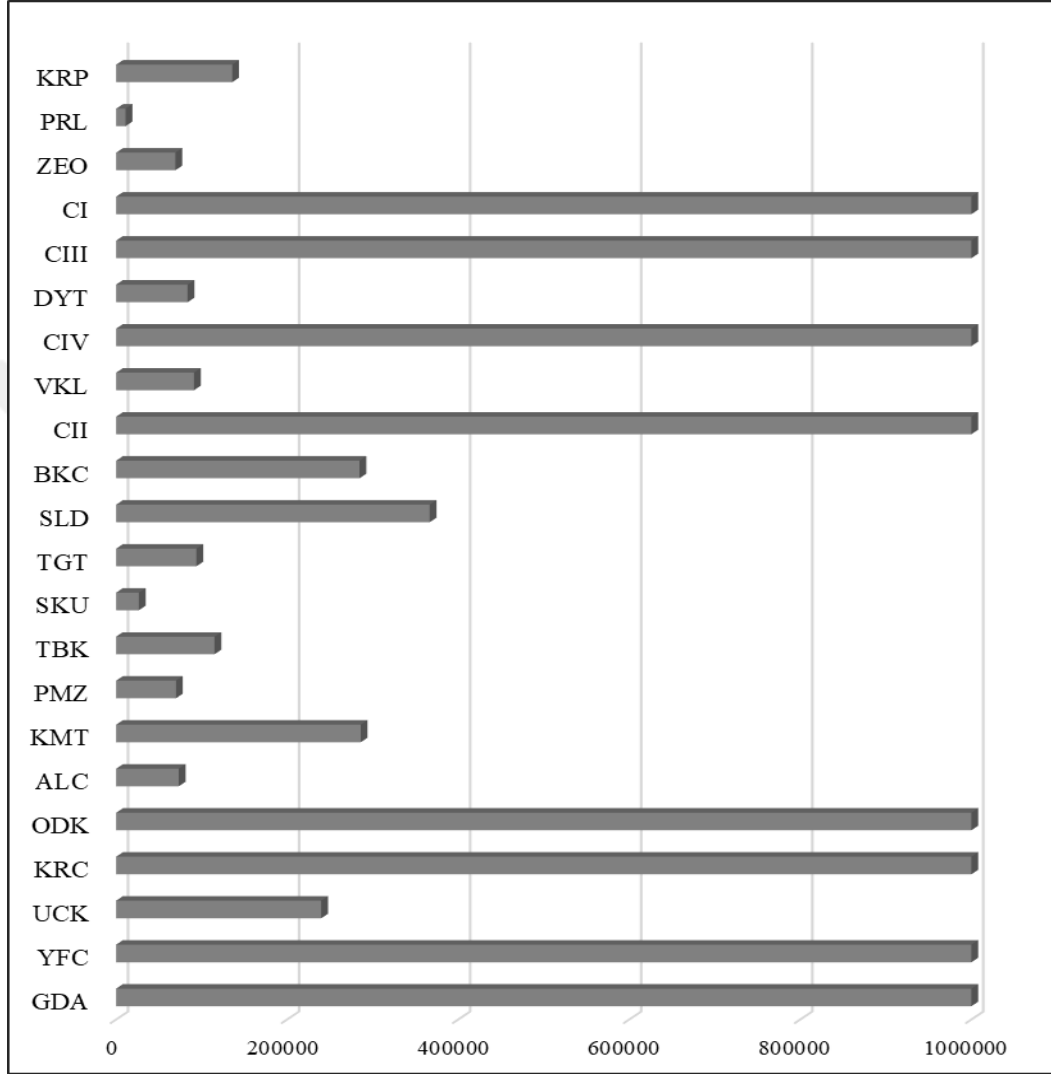
geçebilmiştir. Sr konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26 Sr (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.26 incelendiğinde Sr konsantrasyonunun 7.380.025 ppb ile 1.792,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin PRL (1.792,3), LST (3.996,8), SLD (19.209,2), SKU (27.108) ve PMZ (22.285,7)’de olduğu görülürken en yüksek değerlerin ALC (7.380.025), ODK (274.659,2), CII (470.638,3), CIII (450.316,7) ve CI (368.346,7)’da olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 4.118 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 200.000 ppb’nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca YFC (256.007,5), ODK (274.659,2),

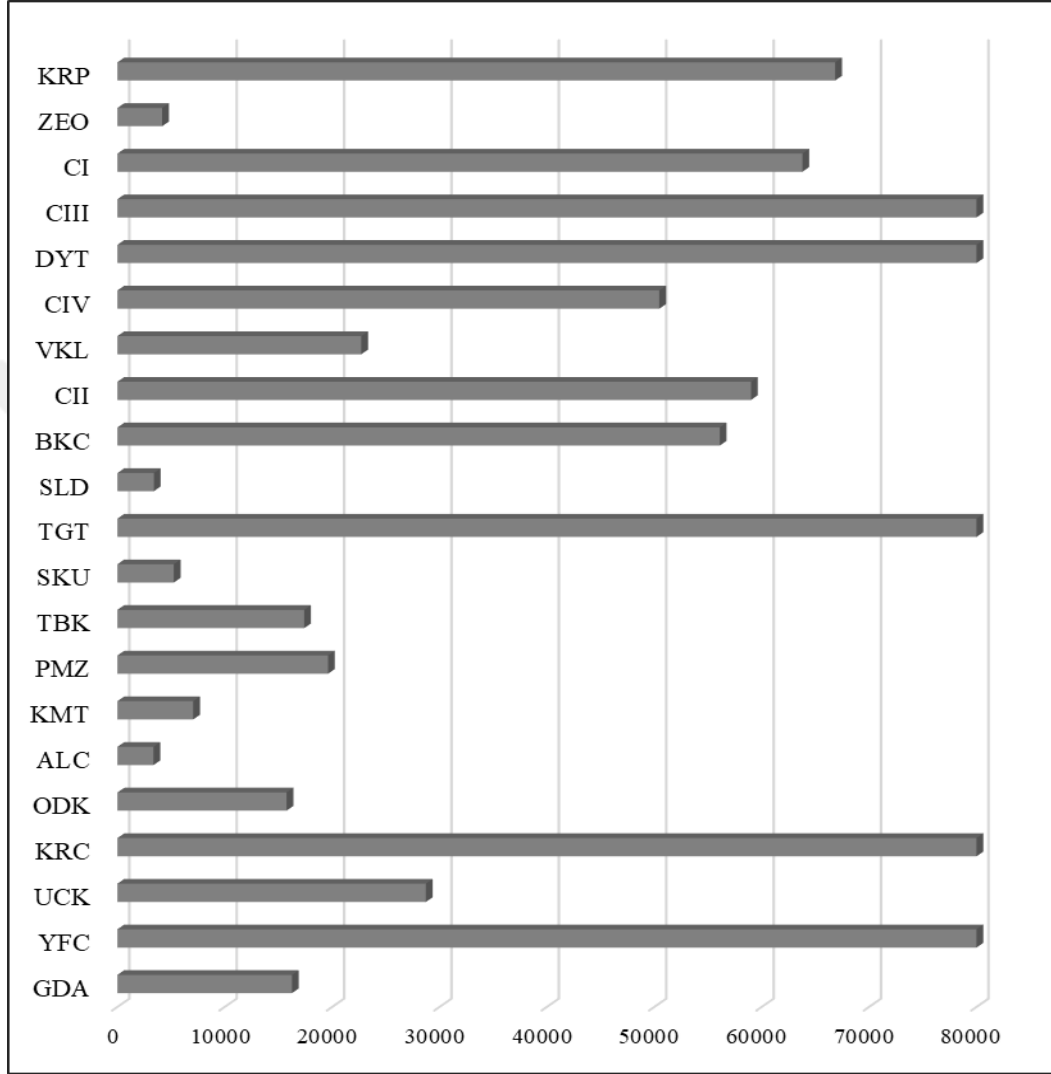
ALC (7.380.025), CII (470.638,3), VKL (256.905), CIV (286.410), CIII (450.316,7), CI (368.346,7) ve ZEO (218.067,2) olduğu saptanmıştır. S konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 S (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.27 incelendiğinde S konsantrasyonunun 6.637.575 ppb ile 11.121,3 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (11.121,3), SKU (26.586,7), PMZ (69.977,7), ALC (73.225,7) ve ZEO (69.403,8)’da elde edilirken en yüksek değerler GDA (1.219.683,3), YFC (3.265.741,7), KRC (2.330.268,3), ODK (3.130.141,7), CII (4.274.975), CIV (5.050.016,7), CIII (6.049.808,3) ve CI (6.637.575)’da elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değerin 597 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 400.000 ppb’nin altında kalmıştır. Sadece GDA (1.219.683,3), YFC (3.265.741,7), KRC (2.330.268,3),

ODK (3.130.141,7), CII (4.274.975), CIV (5.050.016,7), CIII (6.049.808,3) ve CI (6.637.575)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. V konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28 V (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.28 incelendiğinde V konsantrasyonunun 194.237,4 ppb ile 3.360 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler ZEO (4.170,8), SLD (3.396,6) ve ALC (3.360)'de elde edilirken en yüksek değerler YFC (172.651,4), KRC (95.657,5), TGT (92.972,9), KRP (66.836,2), CIII (194.237,4) ve DYT (109.403,7)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 58 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 40.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı yalnızca YFC (172.651,4), KRC (95.657,5), TGT (92.972,9), BKC (56.089,6), CII (59.001,6), CIV (50.463,4), DYT (109.403,7), CIII

(194.237,4), CI (63.790,9) ve KRP (66.836,2) geçebilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Sn, Au, Ti ve Mo içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’da verilmiştir.

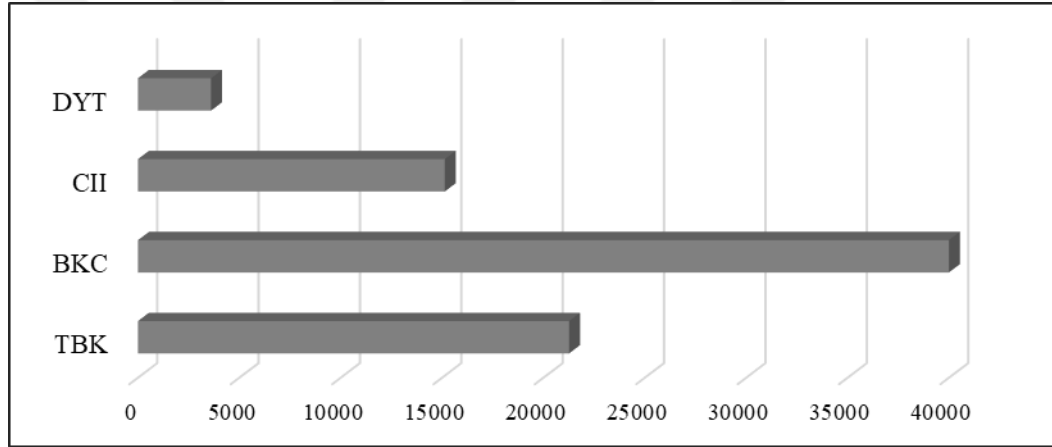
Tablo 4.9 Malzemelerin Sn, Au, Ti ve Mo içerikleri

MALZEME	Sn	Au	Ti	Mo
GDA	LA	LA	280.290,8 c	451,8 ab
YFC	LA	16.737,4 i	6.631.666,7 l	4.383,8 i
UCK	LA	LA	370.470,8 d	2.970,1 fg
KRC	LA	LA	83.202,6 b	593,2 bc
ODK	LA	2.081,2 d	279.915 c	5.286,9 jk
ALC	LA	2.623 e	21.549 a	LA
KMT	LA	LA	10.303,3 a	LA
PMZ	LA	LA	987.431,7 g	254 a
TBK	21.264,2 a	LA	315.073,3 c	876,9 c
SKU	LA	LA	19.988,6 a	LA
TGT	LA	2.464,3 e	2.739.025 h	2.762,3 ef
SLD	LA	LA	39.986,3 a	LA
BKC	6.790.616,6 b	10.830,8 g	2.906.650 i	85.960,9 l
CII	15.134,9 a	LA	941.637,5 f	2.834,9 ef
VKL	LA	1.734 c	950.260 fg	3.363,8 h
CIV	LA	420,4 a	841.889,2 e	3.259,8 gh
DYT	3.608,5 a	LA	829.074,2 e	2.195,5 d
CIII	LA	16.189,3 h	5.626.691,7 k	5.254,5 j
CI	LA	4.708,9 f	952.602,5 fg	5.578,1 k
LST	LA	LA	LA	LA
MMT	LA	LA	4.973,2 a	LA
ZEO	LA	LA	81.669,8 b	2.607,3 e
PRL	LA	LA	12.638,8 a	LA
KRP	LA	926,5 b	3.231.108,3 j	5.237,9 j
F Değeri	74.697,335***	6.458,735***	21.493,929***	35.701,877***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

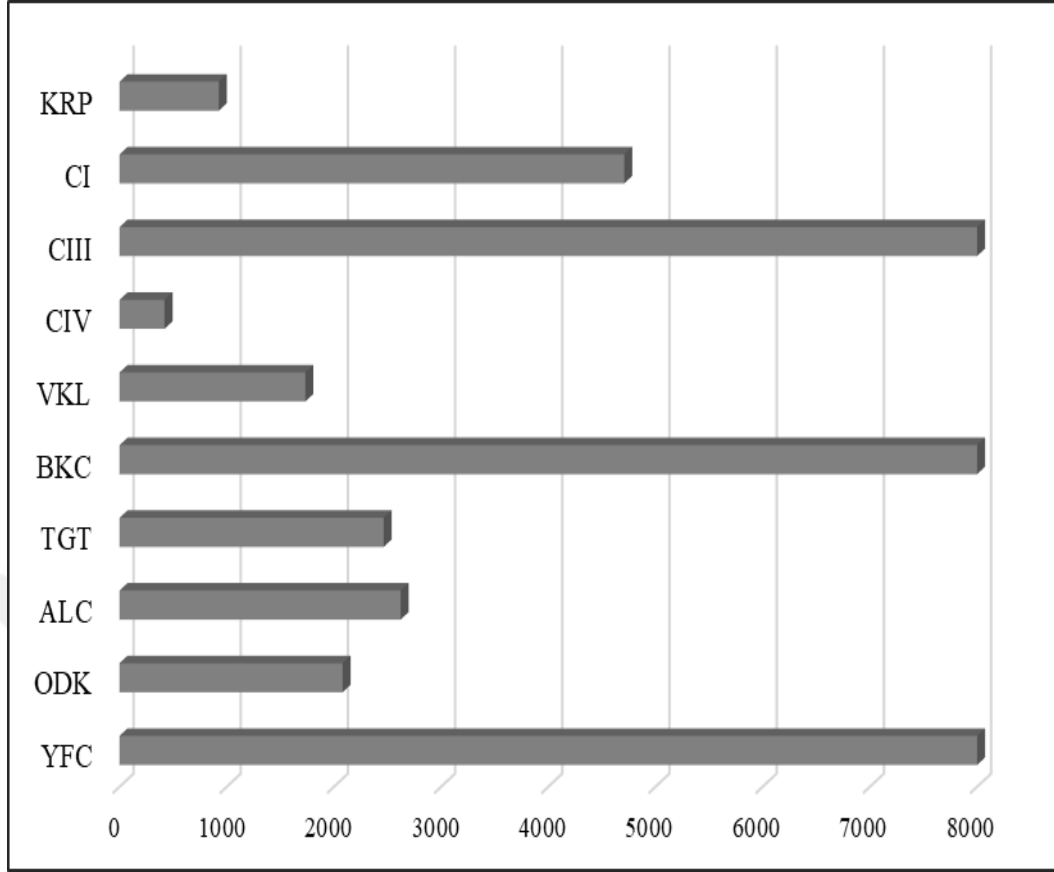
Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Sn, Au, Ti ve Mo’nun malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001)

anlamli olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Sn'de 2 grup, Au'da 9 grup, Ti'de 12 grup, Mo'da 12 grup oluştuğu belirlenmiştir. GDA, YFC, UCK, KRC, ODK, ALC, KMT, PMZ, SKU, TGT, SLD, VKL, CIV, CIII, CI, LST, MMT, ZEO, PRL ve KRP'de Sn konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. MMT'de Sr konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. LST ve MMT'de S konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. GDA, UCK, KRC, KMT, PMZ, TBK, SKU, SLD, CII, DYT, LST, MMT, ZEO ve PRL'de Au konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. LST'de Ti konsantrasyonu; ALC, KMT, SKU, SLD, LST, MMT ve PRL'de Mo konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Sn konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik şekil 4.29'da verilmiştir.



şekil 4.29 Sn (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

şekil 4.29 incelendiğinde Sn konsantrasyonunun 6.790.616,6 ppb ile 3.608,5 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler DYT (3.608,5) ve CII (15.134,9)'da elde edilirken en yüksek değerler TBK (21.264,2) ve BKC (6.790.616,6)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değerin 1.882 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 20.000 ppb'nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece TBK (21.264,2) ve BKC (6.790.616,6) geçebilmiştir. Au konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik şekil 4.30'da verilmiştir.

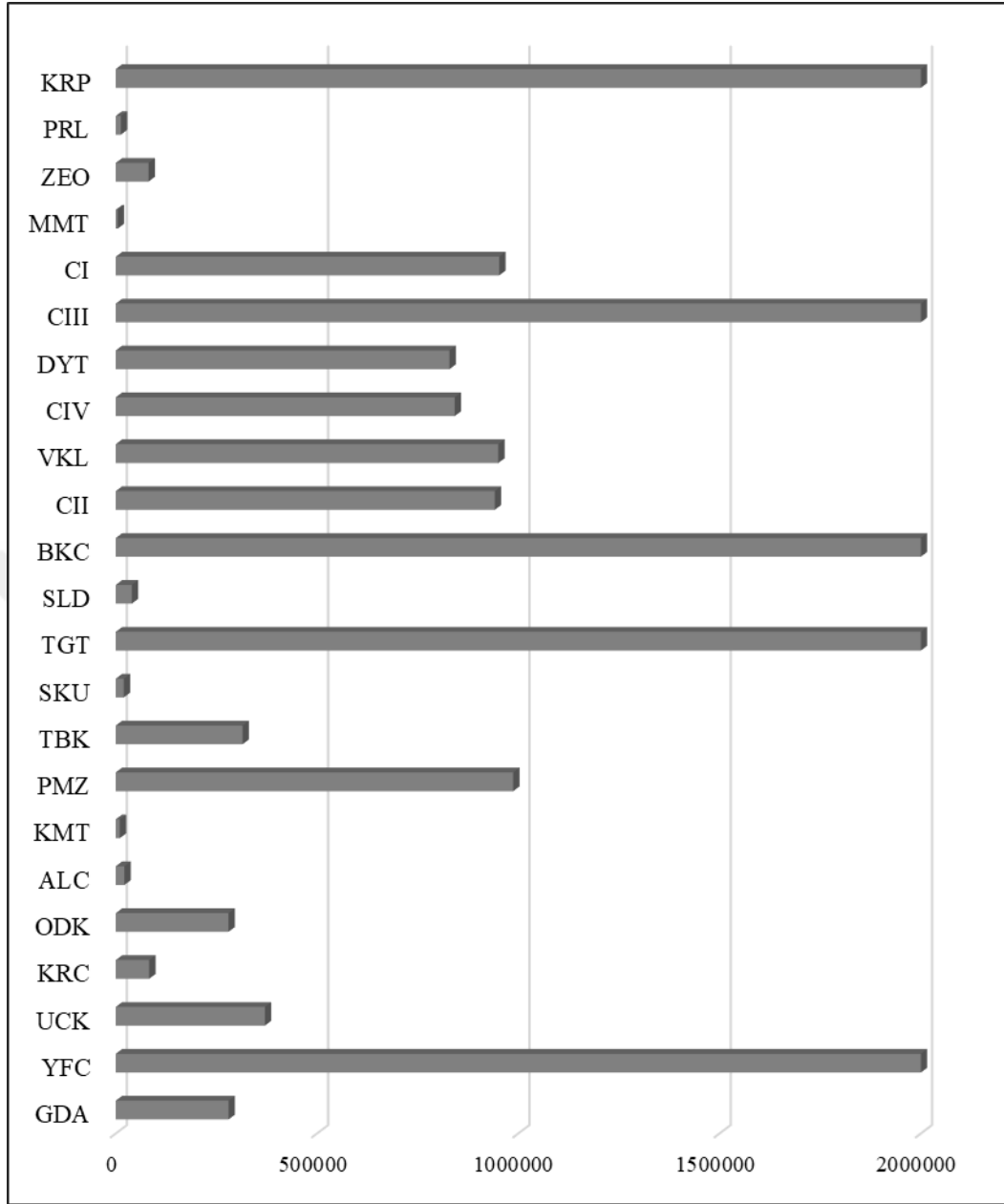


Şekil 4.30 Au (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.30 incelendiğinde Au konsantrasyonunun 16.737,4 ppb ile 420,4 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin CIV (420,4), KRP (926,5) ve VKL (1.734)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin YFC (16.737,4), BKC (10.830,8) ve CIII (16.189,3)'da olduğu görülmektedir.

Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 40 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 3000 ppb'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca CI (4.708,9), CIII (16.189,3), BKC (10.830,8) ve YFC (16.737,4) olduğu saptanmıştır.

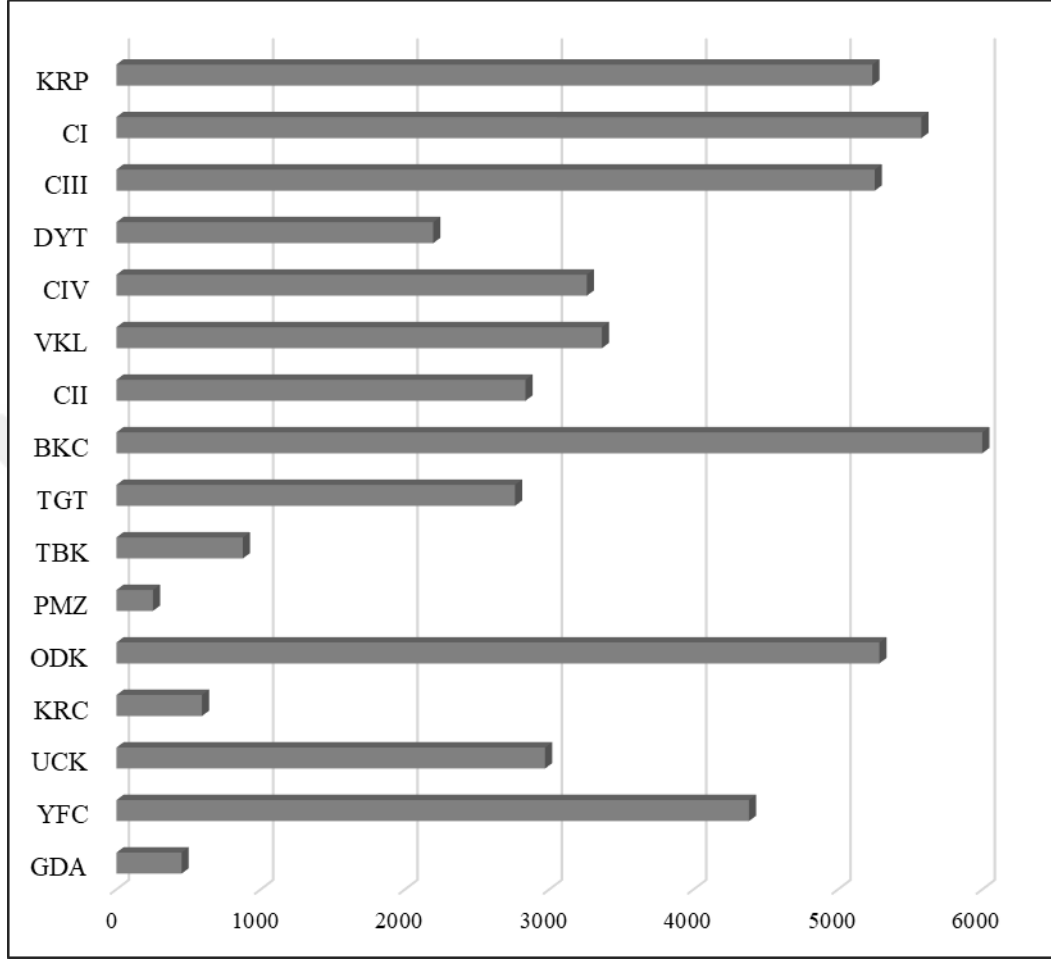
Ti konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31 Ti (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.31 incelendiğinde Ti konsantrasyonunun 6.631.666,7 ppb ile 4.973,2 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PRL (12.638,8), MMT (4.973,2), KMT (10.303,3), ALC (21.549), SKU (19.988,6) ve SLD (39.986,3)'de elde edilirken en yüksek değerler YFC (6.631.666,7), TGT (2.739.025), BKC (2.906.650), CIII (5.626.691,7) ve KRP (3.231.108,3)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer 1333,5 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 1.000.000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece YFC (6.631.666,7), TGT (2.739.025), BKC (2.906.650), CIII (5.626.691,7) ve KRP (3.231.108,3) bu sınırı

geçebilmiştir. Mo konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32 Mo (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.32 incelendiğinde Mo konsantrasyonunun 85.960,9 ppb ile 254 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler PMZ (254), GDA (451,8) ve KRC (593,2)’de elde edilirken en yüksek değerler ise ODK (5.286,9), BKC (85.960,9), CIII (5.254,5), CI (5.578,1) ve KRP (5.237,9)’de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 338 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 3000 ppb’nin altında kalmıştır. Sadece KRP (5.237,9), CI (5.578,1), CIII (5.254,5), CIV (3.259,8), VKL (3.363,8), BKC (85.960,9), ODK (5.286,9) ve YFC (4.383,8)’nin bu sınırı geçtiği görülmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen malzemelerin Nb, Sb, Ge ve Al içerikleri ile varyans analizi sonuçları Tablo 4.10’da verilmiştir.

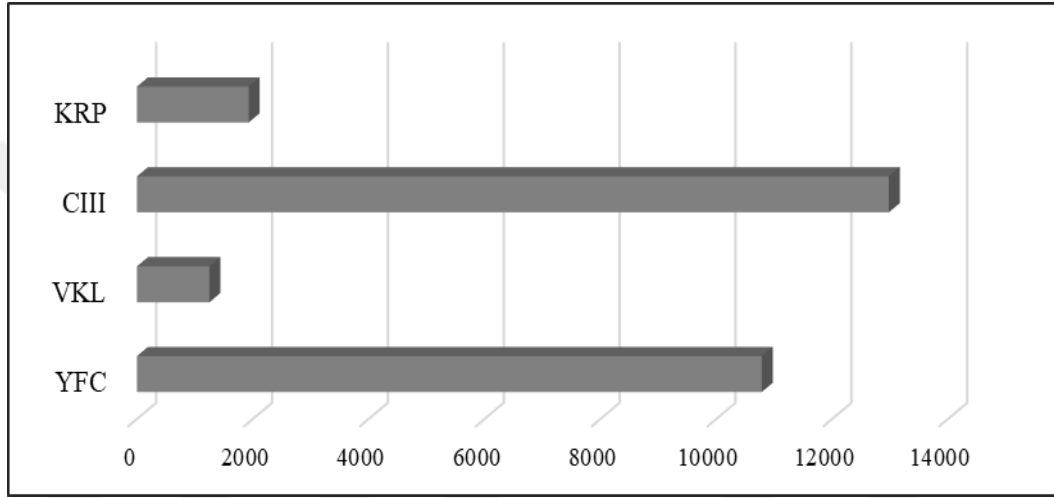
Tablo 4.10 Malzemelerin Nb, Sb, Ge ve Al içerikleri

MALZEME	Nb	Sb	Ge	Al
GDA	LA	1.596 ab	11.908,3 cde	4.593 f
YFC	10.787,1 c	31.351,5 i	14.551,2 f	12.397,8 o
UCK	LA	2.018,9 b	LA	7.404,6 h
KRC	LA	LA	12.196,2 de	1.496,2 d
ODK	LA	40.180,3 j	12.428,1 de	5.810,9 g
ALC	LA	LA	10.033 b	230,5 a
KMT	LA	LA	11.248,5 bcd	299,9 ab
PMZ	LA	1.363,5 a	LA	7.682,4 i
TBK	LA	2.086,9 b	LA	8.062,4 j
SKU	LA	LA	LA	2.229 e
TGT	LA	19.565,1 f	11.698,7 cd	12.412,1 o
SLD	LA	LA	LA	776,2 c
BKC	LA	50.286,7 k	20.061,2 g	12.627,9 p
CII	LA	10.959,2 d	15.189,8 f	8.638,7 k
VKL	1.251,8 a	22.303,5 g	11.252,2 bcd	12.635,2 p
CIV	LA	14.903,3 e	13.038,5 e	92.58 l
DYT	LA	8.778,7 c	3.599,4 a	10.778,4 n
CIII	12.979,9 d	31.477,8 i	19.780,8 g	12.839,2 r
CI	LA	28.205,7 h	19.850,1 g	9.582,9 m
LST	LA	LA	4.297 a	342,6 b
MMT	LA	LA	10.788,5 bc	LA
ZEO	LA	14.548,1 e	4.158 a	12.558,9 p
PRL	LA	LA	LA	354,3 b
KRP	1.930,0 b	22.446 g	10.852,6 bc	13.614,2 s
F Değeri	1.122,408***	4.731,712***	129,867***	19.015,996***

P<0,001=%99,9 p<0,01=%99 p<0,05=%95 p>0,05=ns

Tablo sonuçları incelendiğinde çalışmaya konu elementlerden Nb, Sb, Ge ve Al'nin malzemeler bazında değişiminin istatistiki olarak %99,9 güven düzeyinde (p<0,001) anlamlı olduğu görülmektedir. Duncan testi sonucunda malzemelerin Nb'de 4 grup, Sb'da 11 grup, Ge'de 7 grup, Al'de 18 grup oluştuğu belirlenmiştir. GDA, UCK, KRC,

ODK, ALC, KMT, PMZ, TBK, SKU, TGT, SLD, BKC, CII, CIV, DYT, CI, LST, MMT, ZEO ve PRL’de Nb konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. KRC, ALC, KMT, SKU, SLD, LST, MMT ve PRL’de Sb konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. UCK, PMZ, TBK, SKU ve PRL’de Ge konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. MMT’de Al konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Nb konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.33’te verilmiştir.

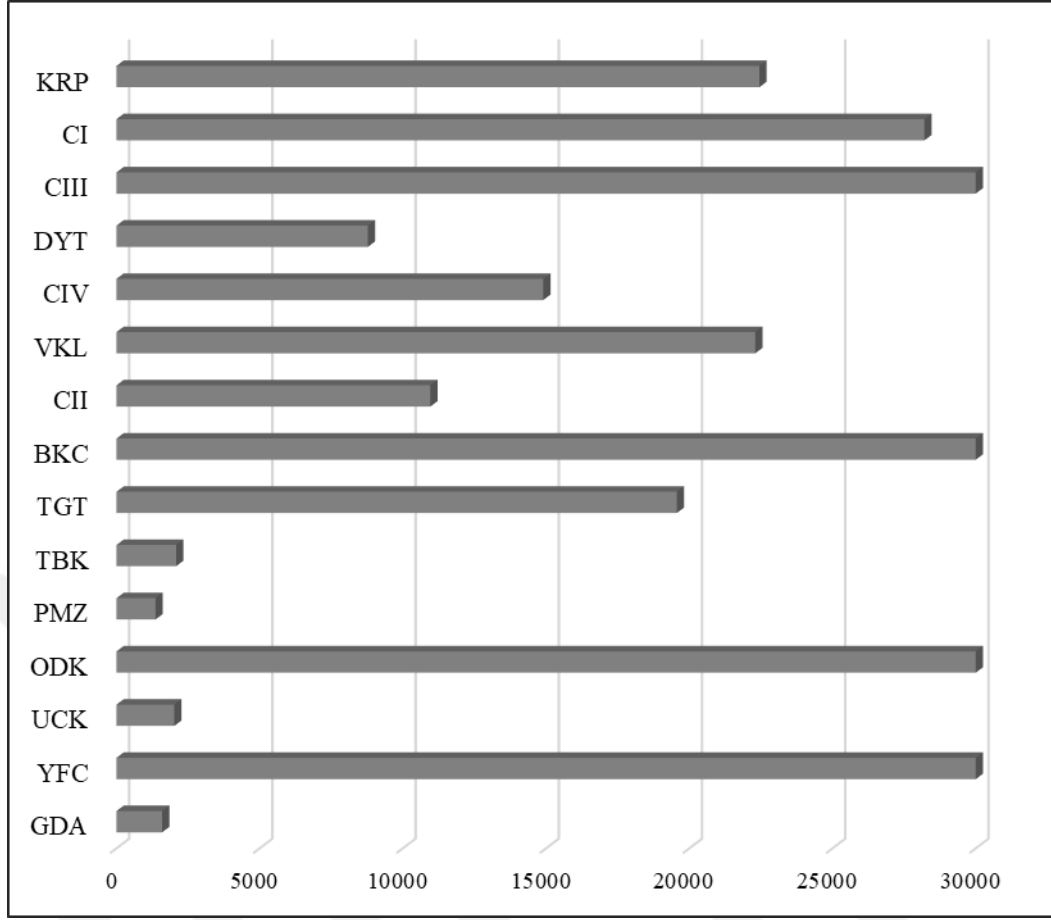


Şekil 4.33 Nb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.33 incelendiğinde Nb konsantrasyonunun 12.979,9 ppb ile 1.251,8 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler KRP (1.930,0) ve VKL (1.251,8)’de elde edilirken en yüksek değerler YFC (10.787,1) ve CIII (12.979,9)’da elde edilmiştir.

Değerler incelendiğinde en düşük değerin 10 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak değerler 2000 ppb’nin altında kalmıştır. Bu sınırı sadece CIII (12.979,9) ve YFC (10.787,1) geçebilmiştir.

Sb konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.34’te verilmiştir.

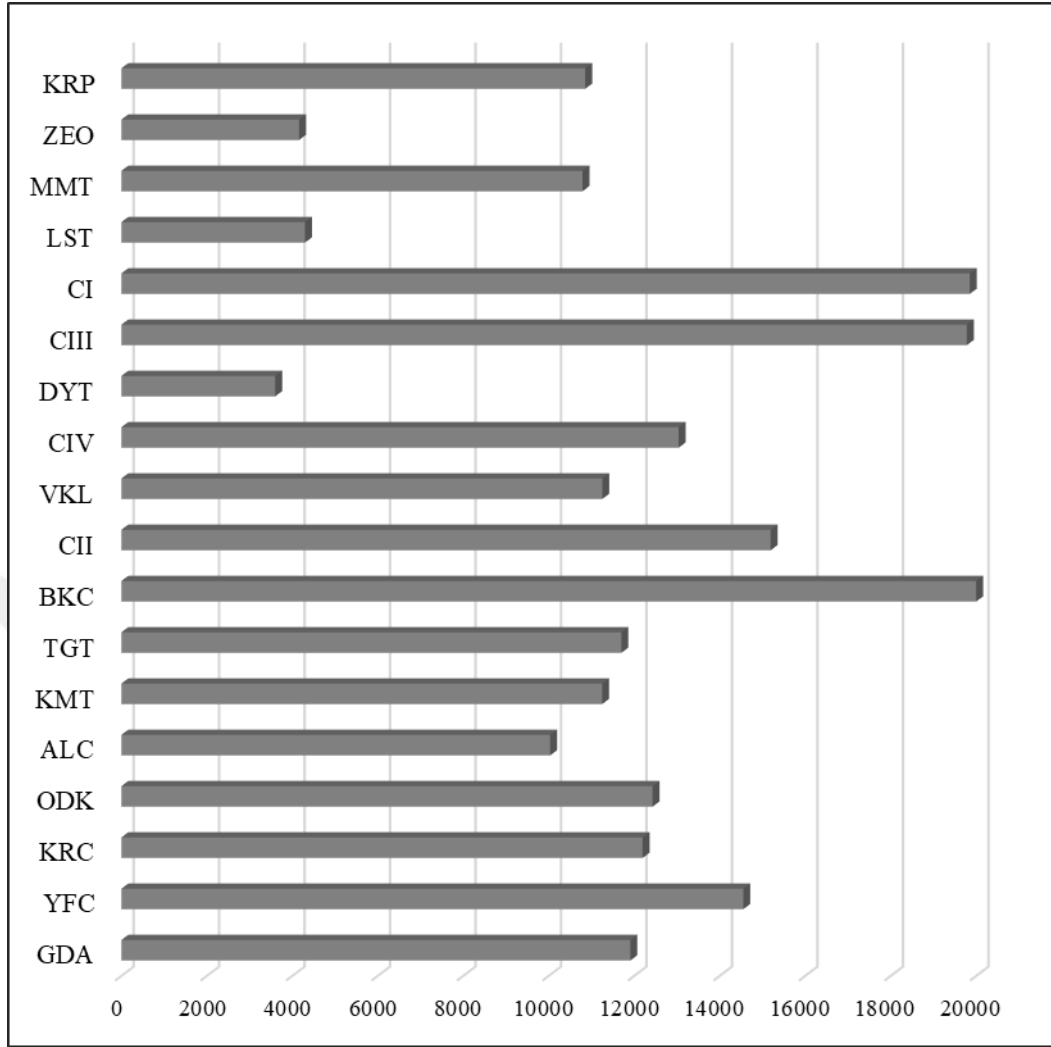


Şekil 4.34 Sb (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.34 incelendiğinde Sb konsantrasyonunun 50.286,7 ppb ile 1.363,5 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerlerin GDA (1.596), PMZ (1.363,5), UCK (2.018,9) ve TBK (2.086,9)'de olduğu görülürken en yüksek değerlerin YFC (31.351,5), ODK (40.180,3), BKC (50286,7), VKL (22.303,5), KRP (22.446), CI (28.205,7) ve CIII (31.477,8)'da olduğu görülmektedir.

Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 37 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında genel olarak değerlerin 10000 ppb'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu sınırı geçenlerin yalnızca KRP (22446), CI (28205,7), CIII (31477,8), CIV (14903,3), VKL (22303,5), CII (10959,2), BKC (50286,7), TGT (19565,1), ODK (40180,3) ve YFC (31351,5) olduğu saptanmıştır.

Ge konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.35'te verilmiştir.

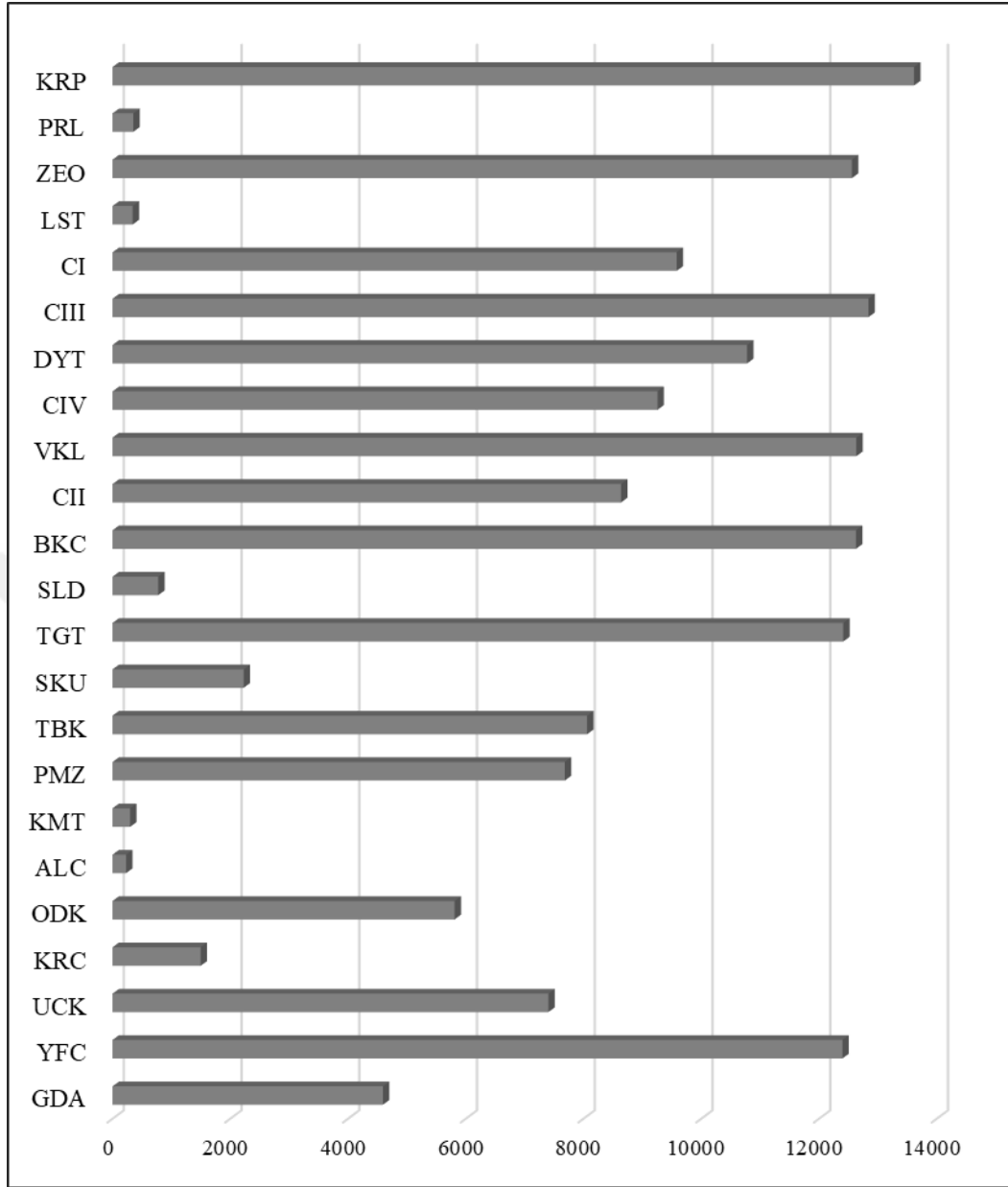


Şekil 4.35 Ge (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.35 incelendiğinde Ge konsantrasyonunun 20.061,2 ppb ile 3.599,4 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler ZEO (4.158), LST (4.297) ve DYT (3.599,4)'de elde edilirken en yüksek değerler BKC (20.061,2), CI (19.850,1), CIII (19.780,8) ve CII (15.189,8)'da elde edilmiştir.

Değerler incelendiğinde en düşük değerın 6 ppb katının en yüksek değere eş olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 14000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece YFC (14.551,2), BKC (20.061,2), CII (15.189,8), CIII (19.780,8) ve CI (19.850,1) bu sınırı geçebilmiştir.

Al konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimini gösteren grafik Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36 Al (ppm) konsantrasyonunun malzemeler bazında değişimi

Şekil 4.36 incelendiğinde Al konsantrasyonunun 13.614,2 ppb ile 230,5 ppb arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değerler ALC (230,5), KMT (299,9), LST (342,6) ve PRL (354,3)'de elde edilirken en yüksek değerler ise YFC (12.397,8), TGT (12.412,1), BKC (12.627,9), VKL (12.635,2), CIII (12.839,2), ZEO (12.558,9) ve KRP (13.614,2)'de elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük değer ile en yüksek değer arasında yaklaşık 59 ppb kat fark olduğu belirlenmiştir. Genelde değerler 12.000 ppb'nin altında kalmıştır. Sadece YFC (12.397,8), TGT (12.412,1), BKC (12.627,9), VKL (12.635,2), KRP (13.614,2), ZEO (12.558,9) ve CIII (12.839,2)'nin bu sınırı geçtiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Pb, Cr, Zn, Ba, Mn ve Li konsantrasyonlarının, beton katkı maddesi olarak kullanılan bazı katkı malzemelerindeki konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Konu pek çok açıdan büyük önem taşımaktadır. Örneğin havadaki ağır metal kirliliğinin insan ve ekosistem üzerindeki etkisinin, ortamdaki partikül madde miktarı ile doğrudan ilişkili olduğu pek çok çalışmada ortaya konulmuştur (Aricak vd., 2019; Karacocuk vd., 2022; Turkyilmaz vd., 2019). Özellikle kent merkezlerinde inşaat faaliyetlerinin ise (hem yapım hem de yıkım aşamasında) havadaki partikül madde miktarını en çok etkileyen faktörlerden birisi olduğu belirtilmektedir (Yaman ve Özçelik, 2019). Ayrıca bu partikül maddelerin kimyasal yapısı da havada, sonrasında ise toprak ve sudaki ağır metal kirliliğini büyük oranda etkileyebilir.

Çalışmaya konu elementler insan ve çevre sağlığı açısından son derece tehlikeli olan elementlerdendir ve tamamına yakını ağır metaller sınıfına girmektedir. Ağır metaller, büyük kısmı madencilik, sanayi ve trafik gibi kaynaklardan doğaya salınan, doğadaki konsantrasyonları sürekli artan, doğada kolay kolay bozulmayan ve yok olmayan, bir çoğu düşük konsantrasyonlarda bile insanlar başta olmak üzere canlılar için toksik, kanserojen ve ölümcül olabilen elementlerdir (Erdem vd., 2023; Sevik vd., 2020a,b).

Ağır metaller günümüzde en tehditkâr çevre kirliliği bileşenleri olarak görülmektedir (Aricak vd., 2020). ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) insan ve çevreye potansiyel zararları dolayısıyla 23 elementi öncelikli kirlетici listesine dahil etmiştir. Bu elementler Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Pd, Pu, Sb, Se, Sr, Tl, Th, U, V ve Zn olup (Badea vd., 2018) çalışmaya konu elementlerin birçoğu bu listede yer alan elementlerdendir.

Çalışmaya da konu olan Pb, Cr, Ba gibi ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturabilen elementlerdir. Örneğin Pb, ağır metaller içerisinde insan ve çevre sağlığı açısından en tehlikelilerindendir (Koc, 2021; Sevik vd., 2019a,b). Pb, metal veya bileşik olarak atmosfere yayılan ve her durumda

toksik özellik taşıyan, ekolojik sisteme en çok zarar veren ağır metallere (Alengebawry vd., 2021; Khan vd., 2021a, b).

Mn, insanlarda parkinson, akciğer amfibiyozisi ve bronşite sebep olabilmektedir (Mossi, 2018). Li bugüne kadar çalışmalarda ihmal edilen ama sağlık açısından oldukça zararlı olabilen bir elementtir (Cetin vd., 2020). Ba, en tehlikeli ağır metallere birisi olup insanlarda felç ve hatta ölümlere sebep olabilir ve bütün bileşikler zehirlidir (Cetin ve Jawed, 2022). Cr kanserojen bir element olup yaşayan organizmalar için en toksik ağır metallere birisidir (Savas vd., 2021; Shahid vd., 2017). Cd'un insanlarda karsinojen etki yaptığı 1976 yılında belirlenmiş ve 1993 yılında, IARC (International Agency for Cancer Research) tarafından Tip 1 karsinojen olarak sınıflandırılmıştır (Boğa, 2007).

Çalışma kapsamında en tehlikeli elementlerden olan Pb, Cr ve Zn gibi bazı ağır metallere konsantrasyonlarının bazı katkı maddelerinde çok yüksek düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Örneğin M19'da Pb konsantrasyonu 128.181,3 ppb (yaklaşık 128,2 ppm), Cr konsantrasyonu 204.828,9 ppb (yaklaşık 204,8 ppm) ve Zn konsantrasyonu 851.960,0 ppb (yaklaşık 852 ppm) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Ba konsantrasyonunun 2.102.506,7 ppb (yaklaşık 2.102,5 ppm), Mn konsantrasyonunun 7.964.083,3 ppb (yaklaşık 7.964,1 ppm) ve Li konsantrasyonunun da 77.871,3 ppb (yaklaşık 77,9 ppm) seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen değerlerin, ağır metal kirliliğinin ana kaynakları olarak gösterilen trafik ve sanayi bölgelerinde elde edilen değerleri dahi geçebildiği belirlenmiştir. Kabir vd., (2021) yol tozlarında yaptığı çalışmada Pb konsantrasyonunun 32,5 mg/kg ile 78,9 mg/kg arasında, Cr konsantrasyonunun 12,5 mg/kg ile 29,6 mg/kg arasında, Zn konsantrasyonunun 66,8 mg/kg ile 180,2 mg/kg arasında değiştiğini belirlemiştir.

Shabbaj vd., (2018) trafiğin yoğun olduğu alanlarda yol tozlarında ortalama olarak Pb'nin 183,52 mg/kg, Cr'nin 84,72 mg/kg, Zn'nin 635,11 mg/kg, Mn'nin 649,01 mg/kg seviyesinde olduğunu belirtirken Roy vd., (2019) National Capital Territory of Delhi'de yol tozlarında ortalama olarak Pb'nin 164,2 mg/kg, Cr'nin 57,7 mg/kg, Zn'nin 200,7 mg/kg, Mn'nin 241,4 mg/kg seviyesinde olduğunu belirlemişlerdir.

Heidari vd., (2021) Bandar Abbas city, Iran’da yol tozlarında ortalama olarak Pb’nin 59,85 mg/kg, Cr’nin 73,51 mg/kg, Zn’nin 292,92 mg/kg, Mn’nin 458,75 mg/kg seviyesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Kore’de endüstriyel alanlarda yol tozlarında ortalama konsantrasyonların Pb’de 166 mg/kg, Zn’de 1.046 mg/kg, Mn’de 518 mg/kg, Cr’de 302 mg/kg ve Li’de 17 mg/kg düzeyinde olduğu belirlenmiştir (Jeong vd., 2020). Bu sonuçlar, çalışmaya konu malzemelerde ağır metal kirliliğinin insan sağlığını tehdit edebilecek boyutta olduğunu göstermektedir.

Bugüne kadar ağır metaller konusunda yapılan çalışmalar daha ziyade düşük konsantrasyonlarda dahi canlılar için zararlı olan Pb, Hg, Cd, Ni, Co gibi elementler üzerinde yoğunlaşmış (Savas vd., 2021), çalışmaya konu elementlerin de içerisinde olduğu çok sayıda element ihmal edilmiştir. Oysa bu elementlerin de sağlık açısından ciddi tehdit oluşturabildiği bilinmektedir. Örneğin galyum III klorür akut olarak maruz kalma durumunda boğazda tahrişe nefes alıp vermede zorluğa göğüs ağrısına ve dumanı ise akciğerlerde ödem ve kısmi felç gibi ciddi sorunlara neden olabilir.

Benzer şekilde yüksek miktarda gümüş buharına kalmak baş dönmesi, nefes alma zorluğu, baş ağrısı ya da sinirliliğe sebep olabilir (URL-2, 2019). Ag tuzları insanlar için toksik özelliكتedir ve bundan dolayı bazı cilt rahatsızlıklarına sebebiyet verebilmekte, bu durumda deri, gözler ve mukus tabakası mavi-gri bir renge dönmektedir. Ayrıca Ag takılar alerjik reaksiyonları tetiklemektedir (URL-3, 2022). Ag yüksek konsantrasyonlarda canlı organizmalar için toksik olması nedeniyle “Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Kurumu)” (ATSDR) 'nin öncelikli kirletici listesine dahil edilmiştir (Badea vd., 2018).

Yine bugüne kadar yapılan çalışmalarda ihmal edilen elementlerden B toksik etki oluşturabileceği için insan sağlığı açısından son derece tehlikeli ve önemlidir. B bileşikleri; insan vücuduna solunum ve sindirim yollarıyla veya mukoz membranlar aracılığı ile girmekte ve en fazla kemiklerde birikmektedir. İnsanlarda borik asit ve boraksın etkisi, mide bulantısı, şiddetli kusma, karın ağrısı ve ishal ile kendini göstermektedir (Bakırcı, 2019). B çocuklar için 5-6 g, yetişkinler için ise 10-25 g aralığında ölümcüldür (Baykut vd., 1987). Benzer şekilde Bi; ishal, baş ağrısı, ateş,

karaciğer ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olabilirken (Bakırcı, 2019), Al biriktirme potansiyeli yüksek olan bitkilerin toksik etkili olduğu (Okut, 2019), insanlarda kas ağrıları, psikoz ve hafıza bozukluklarına yol açabildiği belirtilmektedir (Kuzmina vd., 2022; Shahid vd., 2017).

Çalışmaya konu katkı maddelerinin, beton katkı maddesi olarak kullanımları esnasında, işçiler tarafından solunarak vücut içerisine alınması, önemli sağlık risklerine sebep olabilir. Çalışmaya konu katkı maddelerinin kullanımı esnasında solunarak insan vücuduna alınması durumunda sağlık riskinin daha da artacağı öngörülebilir. Söz konusu maddelerin kullanımı esnasında solunarak insan vücuduna alınması durumunda sağlık riskinin daha da artacağı öngörülebilir.

Çalışmaya konu ağır metallerin solunum yolu ile vücuda alınmasının insan sağlığı açısından ne kadar tehlikeli olabileceği 1952 yılı Aralık ayında Londra’da yaşanan ve “smoggy” olarak isimlendirilen olayda anlaşılmıştır. Bu olayda 5-9 aralık 1952 tarihleri arasında hava kirliliği ile bağlantılı sebeplerden dolayı yaklaşık 4000 kişi hayatını kaybetmiş, sonraki aylarda hayatını kaybedenlerle birlikte toplam ölü sayısı 12000’i bulmuştur. Yapılan incelemeler kurbanların akciğerlerinin Pb, Zn ve Fe gibi ağır metalleri içeren çok yüksek seviyedeki çok küçük partiküller ile kontamine olduğunu göstermiştir (Ateya, 2020; Ball, 2017). Dolayısıyla yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller, insan ve çevre sağlığı açısından büyük tehdit oluşturmaktadır.

Çalışma sonuçları insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olan ağır metallerin, bazı beton katkı maddelerindeki konsantrasyonlarının oldukça yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu durum pek çok açıdan büyük önem taşımaktadır. Örneğin havadaki ağır metal kirliliğinin insan ve ekosistem üzerindeki katkısının, ortamdaki partikül madde miktarı ile doğrudan ilişkili olduğu pek çok çalışmada ortaya konulmuştur (Arıcak vd., 2019; Turkyilmaz vd., 2020). Özellikle kent merkezlerinde inşaat faaliyetlerinin ise (hem yapım hem de yıkım aşamasında) havadaki partikül madde miktarını en çok etkileyen faktörlerden birisi olduğu belirtilmektedir (Yaman ve Özçelik, 2019). Ayrıca bu partikül maddelerin kimyasal yapısı da havada, sonrasında ise toprak ve sudaki ağır metal kirliliğini büyük oranda

etkileyebilir. Dolayısıyla beton katkı maddesi olarak kullanılan malzemeler, hem yapım aşamasında inşaat faaliyetlerinde çalışan işçiler, hem kullanım esnasında konutlarda yaşayan insanlar, hem de yıkım aşamasında bütün çevre açısından tehdit oluşturabilir.

Çalışma sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde dikkat çeken bir başka sonuç, en düşük ve en yüksek değerler arasındaki farklardır. En yüksek değerlerin en düşük değerlerden Pb’de 515 kat, Cr’de 196 kat, Zn’de 1967 kat, Ba’da 550 kat, Mn’de 728 kat ve Li’de 116 kattan daha fazla olması dikkat çekmektedir. Bu sonuç beton katkı maddesi olarak kullanılan atık malzemelerin kimyasal içeriklerinin ne kadar değişken olabildiğini göstermektedir.

6. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında değerlendirilen ağır metallerin birçoğu, düşük konsantrasyonlarda dahi insan ve çevre sağlığı açısından büyük risk oluşturabilen, bazıları düşük konsantrasyonlarda dahi insanlar için toksik ve kanserojen olabilen maddelerdir. Çalışmaya konu katkı maddelerinin, beton katkı maddesi olarak kullanımları esnasında, işçiler tarafından solunarak vücut içerisine alınması, önemli sağlık risklerine sebep olabilir. Bundan dolayı özellikle çalışma kapsamında ağır metal konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olduğu belirlenen M19, M13, M2 ve M18 gibi katkı maddelerinin kullanımında dikkatli olunmalı, bu maddelerin riskleri konusunda çalışanlar uyarılmalı ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

Ağır metal konsantrasyonlarının oldukça yüksek düzeyde olduğu belirlenen bazı malzemeler, örneğin M2 (yüksek fırın cürufu) ve M13 (bakır cürufu) endüstriyel tesislerin atıklarıdır ve bundan dolayı inşaat sektörü dışındaki bazı sektörlerde çalışan kişiler de bu malzemelerin tozlarına maruz kalmaktadır. Bu malzemelerin kullanıldığı diğer sektörler de uyarılmalı ve gerekli tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

Çalışma kapsamında toplam 23 adet beton katkı maddesi değerlendirilmiştir. Çalışmaya konu malzemelerin büyük kısmı atık malzemelerdir ve bu malzemelerin geri dönüşümde kullanılması, çevresel etkilerinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bundan dolayı bu malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanımlarının yanı sıra farklı alanlarda da kullanım olanakları araştırılmalıdır. Örneğin Pb, Zn gibi ağır metaller bitkiler için besin elementi görevi de görmektedir. Bu maddelerin kimyasal içeriklerinin detaylı olarak incelenmesi ve uygun olanların tarımsal üretimde gübre olarak kullanılmaları sağlanabilir. Benzer şekilde bu malzemelerin farklı sektörlerde kullanılabilirliğine ilişkin çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abelenda, A. M., & Aiouache, F. (2022). Wood Ash Based Treatment of Anaerobic Digestate: State-of-the-Art and Possibilities. *Processes*, 10(1), 147.
- Abut, Y. (2022, May). Kauçuk Modifiyeli Asfalt Betonun Birim Deformasyon Özelliklerinin İrdelenmesi. 1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences (ICEANS 2022).
- Adachi, K., & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment international*, 30(8), 1009-1017.
- Addison, J. (1995). Vermiculite: a review of the mineralogy and health effects of vermiculite exploitation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 21(3), 397-405.
- Afshar, A., Jahandari, S., Rasekh, H., Shariati, M., Afshar, A., & Shokrgozar, A. (2020). Corrosion resistance evaluation of rebars with various primers and coatings in concrete modified with different additives. *Construction and Building Materials*, 262, 120034.
- Ahmad, J., Kontoleon, K. J., Majdi, A., Naqash, M. T., Deifalla, A. F., Ben Kahla, N., & Qaidi, S. M. (2022a). A comprehensive review on the ground granulated blast furnace slag (GGBS) in concrete production. *Sustainability*, 14(14), 8783.
- Ahmad, J., Majdi, A., Deifalla, A. F., Isleem, H. F., & Rahmawati, C. (2022b). Concrete Made with Partially Substitutions of Copper Slag (CPS): State of the Art Review. *Materials*, 15(15), 5196.
- Akan, İ. E. (2019). Çanakkale-Ayvacık Bölgesinde Bulunan Volkanik Tüfün Katkılı Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 56 sayfa
- Akçıl, A., Tuncuk, A., & Deveci, H. (2007). Kuvarsın Saflaştırılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemlerin İncelenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 46(4), 3-10.
- Akin, S., Schembre, J. M., Bhat, S. K., & Kovscek, A. R. (2000). Spontaneous imbibition characteristics of diatomite. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 25(3-4), 149-165.
- Al-Degs, Y., Khraisheh, M. A. M., & Tutunji, M. F. (2001). Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite. *Water Research*, 35(15), 3724-3728.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42.

- Al-Jabri, K. S., Hisada, M., Al-Oraimi, S. K., & Al-Saidy, A. H. (2009). Copper slag as sand replacement for high performance concrete. *Cement and concrete composites*, 31(7), 483-488.
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2019). The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (3), 6723-6734.
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2020). The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1051-1057
- Arunkumar, K., Muthukannan, M., Suresh Kumar, A., Chithambar Ganesh, A., & Kanniga Devi, R. (2023). Incorporation of Waste Wood Ash and Polypropylene Fibre on the Production of Sustainable GPC. In *Recent Advances in Structural Engineering and Construction Management* (pp. 693-707). Springer, Singapore.
- Aruntaş, H. Y., Gürü, M., Dayı, M., & Tekin, İ. (2010). Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials & Design*, 31(8), 4039-4042.
- Ateya, T.A.A. (2020). The Availability of *Picea pungens* Engelm. Installation in Monitoring The Change of Heavy Metal Pollution in Urban Planning Studies, Kastamonu University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Engineering Management, MsC Thesis, 79 pages
- Awad, A. H., El-gamasy, R., Abd El-Wahab, A. A., & Abdellatif, M. H. (2019). Mechanical behavior of PP reinforced with marble dust. *Construction and Building Materials*, 228, 116766.
- Aydın, Ş., Çelik, A. G., & Güneş, İ. (2021). Geri Dönüştürülmüş Beton ve Tuğla Agregalarının Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *MT Bilimsel*, (20), 11-22.
- Badea, M., Luzardo, O. P., González-Antuña, A., Zumbado, M., Rogozea, L., Floroian, L., Alexandrescu, D., Moga, M., Gaman, L., Radoi, M., Boada, L.D. & Henríquez-Hernández, L. A. (2018). Body burden of toxic metals and rare earth elements in non-smokers, cigarette smokers and electronic cigarette users. *Environmental research*, 166, 269-275.
- Bai, B., Bai, F., Li, X., Nie, Q., Jia, X., & Wu, H. (2022). The remediation efficiency of heavy metal pollutants in water by industrial red mud particle waste. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102944.
- Bakırcı, S. (2019). Aydın İlinde Üretimi Yapılan Bazı Arı Ürünlerindeki Ağır Metal Düzeylerinin Karşılaştırılması, Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü (Veteriner) Biyokimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 108 s.
- Ball, A. (2017). The Lifelong Costs of Urban Smogs, Discussion Paper Series, IZA – Institute of Labor Economics, April, 2017

- Banza, A. N., Quindt, J., & Gock, E. (2006). Improvement of the quartz sand processing at Hohenbocka. *International Journal of Mineral Processing*, 79(1), 76-82.
- Bayat, O., Arslan, V., Vapur, H., & Uçurum, M. (2004). Kuvars Kumu Kirleticilerinin Oksalik Asit Liçi ile Uzaklaştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir, Türkiye.
- Baykut F, Aydın A, Baykut S. (1987). Çevre Sorunları ve Korunma, İstanbul Teknik Üniversitesi, 3449, 419.
- Bayraktar, E. P., Isinkaralar, O., & Isinkaralar, K. (2022). Usability of several species for monitoring and reducing the heavy metal pollution threatening the public health in urban environment of Ankara. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(3), 276-283.
- Bayraktar, O. Y. (2018). Sürdürülebilir Bir Materyal Olarak Tuğla Tozunun Potansiyel Kullanımı. ISAS 2018-Winter 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies November 30 – December 2, 2018, Samsun, Turkey. SETSCI Conference Indexing System, Volume 3(2018), 1314-1322
- Bayraktar, O. Y., Sağlam-Citoglu, G., Belgin, C. M., Cetin, S., & Cetin, M. (2019). Investigation of effect of brick dust and silica fume on the properties of portland cement mortar. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(11), 7823-7832.
- Bayraktar, O.Y. (2021). Possibilities of disposing silica fume and waste glass powder, which are environmental wastes, by using as a substitute for portland cement. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-7
- Bektas, F., & Wang, K. (2012). Performance of ground clay brick in ASR-affected concrete: Effects on expansion, mechanical properties and ASR gel chemistry. *Cement and Concrete Composites*, 34(2), 273-278.
- Bhanja, S., & Sengupta, B. (2005). Influence of silica fume on the tensile strength of concrete. *Cement and concrete research*, 35(4), 743-747.
- Bilgin, Ö. (2019). Balıkesir Bölgesine ait jips (alçıtaşı) örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 55-60.
- Bingöl, A. F., & Balaneji, H. H. (2019). Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Betonların Sülfat Direncinin Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 254-264.
- Bisht, L., Gupta, V., Singh, A., Gautam, A. S., & Gautam, S. (2022). Heavy metal concentration and its distribution analysis in urban road dust: A case study from most populated city of Indian state of Uttarakhand. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 40, 100470.
- Boğa, A., (2007). Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana. 16: 218.

- Brandes, H. G. (2011). Simple shear behavior of calcareous and quartz sands. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29(1), 113-126.
- Buruchenko, A. E., Vereshchagin, V. I., & Men'shikova, V. K. (2020). Low-shrinkage ceramic based on fine-grained dolerite wastes from crushed-stone production. *Glass and Ceramics*, 76(11), 415-418.
- Canturk, U., & Kulac, S. (2021). The effects of climate change scenarios on *Tilia* spp. in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, doi:10.1007/s10661-021-09546-5
- Cao, W., Yi, W., Peng, J., Li, J., & Yin, S. (2022). Recycling of phosphogypsum to prepare gypsum plaster: effect of calcination temperature. *Journal of Building Engineering*, 45, 103511.
- Cesur, A., Zeren Cetin, I., Cetin, M., Sevik, H., Ozel, H. B. (2022). The use of *Cupressus arizonica* as a biomonitor of Li, Fe, and Cr pollution in Kastamonu. *Water Air Soil Pollut.* 233, 193. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05667-w>
- Cesur, A., Zeren Cetin, I., Abo Aisha, A. E. S., Alrabiti, O. B. M., Aljama, A. M. O., Jawed, A. A., Cetin, M., Sevik, H., Ozel, H. B. (2021). The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air. *Environmental Science and Pollution Research* 28(27), 35642-35648. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13166-4>
- Cetin, M., & Jawed, A. A. (2022). Variation of Ba concentrations in some plants grown in Pakistan depending on traffic density. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-7.
- Cetin, M., Aljama, A. M. O., Alrabiti, O. B. M., Adiguzel, F., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022a). Using topsoil analysis to determine and map changes in Ni Co pollution. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 1-11.
- Cetin, M., Aljama, A. M. O., Alrabiti, O. B. M., Adiguzel, F., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022b). Determination and Mapping of Regional Change of Pb and Cr Pollution in Ankara City Center. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(5), 1-10.
- Cetin, M., Altera, A. Z. A., & Bayraktar, O. Y. (2019). Advanced road materials highway infrastructure and features. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 5(1), 36-42.
- Cetin, M., Sevik, H., & Cobanoglu, O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21816-21825.
- Cetin, M., Sevik, H., Koc, I., Zeren Cetin, I., (2023). The change in biocomfort zones in the area of Mugla province in near future due to the global climate change scenarios, *Journal of Thermal Biology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103434>.

- Chakradhara Rao, M. (2021). Influence of brick dust, stone dust, and recycled fine aggregate on properties of natural and recycled aggregate concrete. *Structural Concrete*, 22, E105-E120.
- Chen, Y., Ning, Y., Bi, X., Liu, J., Yang, S., Liu, Z., & Huang, W. (2022). Pine needles as urban atmospheric pollution indicators: Heavy metal concentrations and Pb isotopic source identification. *Chemosphere*, 296, 134043.
- Chung, D. D. L. (2002). Improving cement-based materials by using silica fume. *Journal of materials science*, 37(4), 673-682.
- Cihan, M. T., Güneş, E., & Günay, G. (2021). Trakya Bölgesi Atık Taban Küllerinin Beton Üretimi için Karakterizasyonu. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 50-56.
- Cobanoglu, H., Sevik, H., Koc, I. (2023). Do annual rings really reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the Cedar tree, *Water, Air, & Soil Pollution* (InPress).
- Correcher, V., Gomez-Ros, J. M., Dogan, T. A. M. E. R., García-Guinea, J., & Topaksu, M. U. S. T. A. F. A. (2017). Optical, spectral and thermal properties of natural pumice glass. *Radiation Physics and Chemistry*, 130, 69-75.
- Cui, N., Qu, L., & Wu, G. (2022). Heavy metal accumulation characteristics and physiological response of *Sabina chinensis* and *Platycladus orientalis* to atmospheric pollution. *Journal of Environmental Sciences*, 112, 192-201.
- Çalışkan, E. (2015). Diatomitten atmosferik buhar kürü yöntemi ile gazbeton üretimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (Master's thesis), 75 sayfa
- Çiçek, T. (1999). Kireç ve kullanımı, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 184-194.
- Çifçi, D. İ. ve Meriç, S. (2016). Su ve atık su arıtımı için pomza üzerine bir inceleme. *Tuzdan Arındırma ve Su Arıtma*, 57 (39), 18131-18143.
- Çitoğlu, G. S., & Bayraktar, O. Y. (2018) Atık Mermer Tozu ve İnşaat Sektöründeki Kullanımı İle İlgili Çalışmalar, ISAS 2018-Winter, 1323-1330. Samsun, Türkiye
- de Namor, A. F. D., El Gamouz, A., Frangie, S., Martinez, V., Valiente, L., & Webb, O. A. (2012). Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite. A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water. *Journal of Hazardous Materials*, 241, 14-31.
- Demir, İ. (2009). Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(2), 1-7.

- Demirel, C., & Şimşek, O. (2015). Erken yaştaki atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği ve sürdürülebilirlik açısından incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 226-235.
- Dinç-Şengönül, B., Oktay, D., & Yüzer, N. (2020). Effect of temperature, resting time and brick dust (Horasan) on the rheological properties of hydraulic lime-based grouts. *Construction and Building Materials*, 265, 120644.
- Dogan S, Kilicoglu C, Akinci H, Sevik H, Cetin M (2022) Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS based site selection analyses. *Environmental Science and Pollution Research (Environ Sci Pollut Res)* (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24246-4>
- Döndüren, M. S., & Şişik, Ö. (2016). Geri Dönüştürülmüş Agregalarla Üretilen Betonların Özellikleri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(2), 125-137.
- Ebrahimi, K., Daiezadeh, M. J., Zakertabrizi, M., Zahmatkesh, F., & Korayem, A. H. (2018). A review of the impact of micro-and nanoparticles on freeze-thaw durability of hardened concrete: Mechanism perspective. *Construction and Building Materials*, 186, 1105-1113.
- Ediz, N., Bentli, İ., & Tatar, İ. (2010). Improvement in filtration characteristics of diatomite by calcination. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3-4), 129-134.
- Elajail, I.S.I., Sevik, H., Ozel, H.B., Isik, B. (2022). Examining The Chemical Compositions of Mineral Concrete Agents in Terms of Their Environmental Effects, *Feb-fresenius environmental bulletin*. 31(9); 9784-9790
- Elajail, I. S. I., Sevik, H. (2022a). Çevresel Etkileri Bakımından Bazı Mineral Beton Katkı Maddelerinin Ga, Ag ve B İçeriklerinin Değerlendirilmesi. *Icontech International Journal*, 6(3), 83-93.
- Elajail, I. S. I., Sevik, H. (2022b). Assessing the Co, Bi, and Mg Contents of Some Mineral Concrete Additives in terms of Environmental Effects, *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 8(2),
- El-Mir, A., El-Hassan, H., El-Dieb, A., & Alsallamin, A. (2022). Development and Optimization of Geopolymers Made with Desert Dune Sand and Blast Furnace Slag. *Sustainability*, 14(13), 7845.
- Elsunousi AAM, Sevik H, Cetin M, Ozel HB, Uzun Ozel H (2021) Periodical and regional change of particulate matter and CO2 concentration in Misurata. *Environ Monit Assess* 193: 707 (2021). DOI: 10.1007/s10661-021-09478-0
- Erdem, E., Çölgeçen, G., & Donat, R. (2005). The removal of textile dyes by diatomite earth. *Journal of Colloid and Interface Science*, 282(2), 314-319.
- Erdem, R., Çetin, M., Arıca, B., & Sevik, H. (2023). The change of the concentrations of boron and sodium in some forest soils depending on plant species. *Forestist*, December 28, 2022. DOI:10.5152/forestist.2022.22061

- Erdoğdu, Ő., Kurbetçi, Ő., 2003. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açıısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426 (4): 115-120.
- Etiegni, L., & Campbell, A. G. (1991). Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource technology*, 37(2), 173-178.
- Farhain, M. M., Cheema, M., Katanda, Y., Nadeem, M., Javed, B., Thomas, R., & Galagedara, L. (2022). Potential of developing podzolic soil-based potting media from wood ash, paper sludge and biochar. *Journal of Environmental Management*, 301, 113811.
- Frigione, M. (2010). PET şişelerin betonda ince agrega olarak geri dönüşümü. *Atık yönetimi* , 30 (6), 1101-1106.
- Gencel, O., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Arslan, O., Nodehi, M., Benli, A., ... & Ozbakkaloglu, T. (2022d). Lightweight foam concrete containing expanded perlite and glass sand: Physico-mechanical, durability, and insulation properties. *Construction and Building Materials*, 320, 126187.
- Gencel, O., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., Yazar, D. O., & Ahmad, M. R. (2021). Influence of bottom ash and polypropylene fibers on the physico-mechanical, durability and thermal performance of foam concrete: An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 306, 124887.
- Gencel, O., Nodehi, M., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Benli, A., Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2022b). Basalt fiber-reinforced foam concrete containing silica fume: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 326, 126861.
- Gencel, O., Nodehi, M., Hekimoğlu, G., Ustaoglu, A., Sarı, A., Kaplan, G., & Ozbakkaloglu, T. (2022c). Foam concrete produced with recycled concrete powder and phase change materials. *Sustainability*, 14(12), 7458.
- Gencel, O., Sarı, A., Kaplan, G., Ustaoglu, A., Hekimoğlu, G., Bayraktar, O. Y., & Ozbakkaloglu, T. (2022a). Properties of eco-friendly foam concrete containing PCM impregnated rice husk ash for thermal management of buildings. *Journal of Building Engineering*, 58, 104961.
- Ghoma, W., Sevik, H. & Isinkaralar, K. (2022). Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke. *Air Quality Atmosphere Health*, 15, 415-424. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01146-z>
- Golewski, G. L. (2018). An assessment of microcracks in the Interfacial Transition Zone of durable concrete composites with fly ash additives. *Composite Structures*, 200, 515-520.
- Gorai, B., & Jana, R. K. (2003). Characteristics and utilisation of copper slag—a review. *Resources, conservation and recycling*, 39(4), 299-313.

- Göksu, Ç. (2021). Donatı tipi ve göçme modunun geri dönüşüm agregası ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma dayanıklılık fonksiyonları üzerindeki etkileri. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 439-449.
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M. S., & Demir, İ. (2009). Uçucu kül bölüm II: kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikler. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 33-42.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., & Mordoğan, H. (2005). Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları. *Türkiye*, 19, 419-423.
- Han, Q., Wang, M., Cao, J., Gui, C., Liu, Y., He, X., & Liu, Y. (2020). Health risk assessment and bioaccessibilities of heavy metals for children in soil and dust from urban parks and schools of Jiaozuo, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 191, 110157.
- Harja, M., Gencel, O., Sarı, A., Sutcu, M., Erdogmus, E., & Hekimoglu, G. (2022). Production and characterization of natural clay-free green building brick materials using water treatment sludge and oak wood ash. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 22(2), 1-14.
- He, Y., Peng, C., Zhang, Y., Guo, Z., Xiao, X., & Kong, L. (2022). Comparison of heavy metals in urban soil and dust in cities of China: characteristics and health risks. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-12.
- Heidari, M., Darijani, T., & Alipour, V. (2021). Heavy metal pollution of road dust in a city and its highly polluted suburb; quantitative source apportionment and source-specific ecological and health risk assessment. *Chemosphere*, 273, 129656.
- Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020). Performance of high volume fly ash concrete incorporating additives: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 258, 120606.
- Hong, Z., Tateishi, Y., & Han, J. (2006). Experimental study of macro-and microbehavior of natural diatomite. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(5), 603-610.
- Hossain, K. M. A. (2004). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement and concrete research*, 34(2), 283-291.
- Hou, S., Zheng, N., Tang, L., Ji, X., Li, Y., & Hua, X. (2019). Pollution characteristics, sources, and health risk assessment of human exposure to Cu, Zn, Cd and Pb pollution in urban street dust across China between 2009 and 2018. *Environment International*, 128, 430-437.
- Hydzik-Wiśniewska, J., Wilk, A., Bednarek, Ł., & Olesiak, S. (2018). Mixture of crushed-stone aggregate as material for substructure layers. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 40(2), 154-162.

- Indah, S., Helard, D., Primasari, B., Edwin, T., & Andeslin, S. (2022). Fiziksel ve Kimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Pomzanın Sulu Çözeltiden Cu (II)'nin Uzaklaştırılmasında Performans Değerlendirmesi. *Bilimlerde Eğilimler*, 19 (4), 2585-2585.
- Isinkaralar, K. (2022a). Temporal variability of trace metal evidence in *Cupressus arizonica*, *Platanus orientalis*, and *Robinia pseudoacacia* as pollution-resistant species at an industrial site. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 1-12.
- Isinkaralar, K. (2022a). Temporal variability of trace metal evidence in *Cupressus arizonica*, *Platanus orientalis*, and *Robinia pseudoacacia* as pollution-resistant species at an industrial site. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 1-12.
- Isinkaralar, K. (2022b). Atmospheric deposition of Pb and Cd in the *Cedrus atlantica* for environmental biomonitoring. *Landscape and Ecological Engineering*, 1-10.
- Isinkaralar, K., Koc, I., Erdem, R., & Sevik, H. (2022). Atmospheric Cd, Cr, and Zn deposition in several landscape plants in Mersin, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(4), 1-10.
- Ivanov, S. É., & Belyakov, A. V. (2008). Diatomite and its applications. *Glass & Ceramics*, 65.
- İpek, S. Mermerdaş, K., Ulusoy, A., & Işiker, Y. (2022). Atık lastiklerin, beton üretiminde agrega olarak kullanımının betonun taze ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 982-999.
- Jahandari, A. (2020). Pollution status and human health risk assessments of selected heavy metals in urban dust of 16 cities in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 23094-23107.
- Jeong, H., Choi, J. Y., Lee, J., Lim, J., & Ra, K. (2020). Heavy metal pollution by road-deposited sediments and its contribution to total suspended solids in rainfall runoff from intensive industrial areas. *Environmental Pollution*, 265, 115028.
- Jia, X., Fu, T., Hu, B., Shi, Z., Zhou, L., & Zhu, Y. (2020). Identification of the potential risk areas for soil heavy metal pollution based on the source-sink theory. *Journal of hazardous materials*, 393, 122424.
- Joseph, R., Diochon, A., Morris, D., Venier, L., Emilson, C. E., Basiliko, N., & Hazlett, P. (2022). Limited effect of wood ash application on soil quality as indicated by a multisite assessment of soil organic matter attributes. *GCB Bioenergy*, 14(5), 500-521.
- Kabir, M. H., Kormoker, T., Shammi, R. S., Tusher, T. R., Islam, M. S., Khan, R., ... & Idris, A. M. (2021). A comprehensive assessment of heavy metal contamination in road dusts along a hectic national highway of Bangladesh: Spatial distribution, sources of contamination, ecological and human health risks. *Toxin Reviews*, 1-20.

- Kadiroğlu, İ., Öz, E., Tezcan, O., & Kuru, E. B. (2017). Geri Dönüşümlü Agreganın Beton Üretiminde Kullanılabilirliği.
- Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., & Memis, S. (2021b). Effect of high volume fly ash and micro-steel fiber on flexural toughness and durability properties in self-compacting lightweight mortar (SCLM). *Construction and Building Materials*, 307, 124877.
- Kaplan, G., Gulcan, A., Cagdas, B., & Bayraktar, O. Y. (2021a). The impact of recycled coarse aggregates obtained from waste concretes on lightweight pervious concrete properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17369-17394.
- Kaplan, G., Öztürk, A. U., & Kaplan, A. B. U. (2020). Çimento ve Uçucu Kül Bünyesindeki Ağır Metallerin Etkilerinin Hidratasyon ve Çevre Sağlığı Açısından İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 305-313.
- Kaplan, G., Turkoglu, M., Bodur, B., & Bayraktar, O. Y. (2022). Usage of recycled fine aggregates obtained from concretes with low w/c ratio in the production of masonry plaster and mortar. *Environment, Development and Sustainability*, 24(2), 2685-2714.
- Kaplan, G., Turkoglu, M., Bodur, B., & Bayraktar, O. Y. (2022). Usage of recycled fine aggregates obtained from concretes with low w/c ratio in the production of masonry plaster and mortar. *Environment, Development and Sustainability*, 24(2), 2685-2714.
- Karacocuk, T., Sevik, H., Isinkaralar, K., Turkyilmaz, A., Cetin, M (2022). The change of Cr and Mn concentrations in selected plants in Samsun city center depending on traffic density. *Landscape Ecol Eng* 18, 75-83. <https://doi.org/10.1007/s11355-021-00483-6>
- Karakulak E. (2019). Uçucu Kül Ve Kablo Atıklarının Çimento Harcı Üretiminde Kullanılması Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 86 sayfa
- Karalar, M., & Konak, S. (2019). Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Taban Külü İnce Agregaları ile Üretilmiş Betonun Gerilme Şekil Değiştirme Davranışının İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 1119-1141.
- Keefer, R. F., & Sajwan, K. S. (Eds.). (1993). Trace elements in coal and coal combustion residues. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Key, K., & Kulaç, Ş. (2022). Proof of concept to characterize historical heavy metal concentrations from annual rings of *Corylus colurna*: determining the changes of Pb, Cr, and Zn concentrations in atmosphere in 180 years in North Turkey. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-11.

- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). Determining the 180-year change of Cd, Fe, and Al concentrations in the air by using annual rings of *Corylus colurna* L. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 1-13.
- Khan, M. I., & Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 30-35.
- Khan, M. N. A., Liaqat, N., Ahmed, I., Basit, A., Umar, M., & Khan, M. A. (2018, September). Effect of brick dust on strength and workability of concrete. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 414, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Khan, R., Saxena, A., Shukla, S., Sekar, S., Senapathi, V., & Wu, J. (2021a). Environmental contamination by heavy metals and associated human health risk assessment: a case study of surface water in Gomti River Basin, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 56105-56116.
- Khan, Z. I., Ugulu, I., Zafar, A., Mehmood, N., Bashir, H., Ahmad, K., & Sana, M. (2021b). Biomonitoring of heavy metals accumulation in wild plants growing at soon valley, Khushab, Pakistan. *Pak J Bot*, 53(1), 247-252.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2020). Site selection by using the multi-criteria technique—a case study of Bafra, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 192(9), 1-12.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., Sevik, H. (2021) Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 379–388. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03439-2>
- Kim, N., Watmough, S. A., & Yan, N. D. (2022). Wood ash amendments as a potential solution to widespread calcium decline in eastern Canadian forests. *Environmental Reviews*.
- Kinuthia, J. M., & Nidzam, R. M. (2011). Towards zero industrial waste: Utilisation of brick dust waste in sustainable construction. *Waste Management*, 31(8), 1867-1878.
- Klöckner, P., Seiwert, B., Weyrauch, S., Escher, B. I., Reemtsma, T., & Wagner, S. (2021). Comprehensive characterization of tire and road wear particles in highway tunnel road dust by use of size and density fractionation. *Chemosphere*, 279, 130530.
- Koç, İ. (2021). Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35880–35886. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13272-3>
- Koç, İ., Cantürk, U., & Çobanoğlu, H. (2022). Changes of plant nutrients K and Mg in several plants based on traffic density and organs. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 8(1), 54-59.

- Kovochich, M., Parker, J. A., Oh, S. C., Lee, J. P., Wagner, S., Reemtsma, T., & Unice, K. M. (2021). Characterization of individual tire and road wear particles in environmental road dust, tunnel dust, and sediment. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(12), 1057-1064.
- Kravkaz Kuşçu, İ. S., Kılıç Bayraktar, M., & Tunçer, B. (2022). Determination of Heavy Metal (Cr, Co, and Ni) Accumulation in Selected Vegetables Depending on Traffic Density. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(6), 1-10.
- Kuroki, S., Hashishin, T., Morikawa, T., Yamashita, K., & Matsuda, M. (2019). Selective synthesis of zeolites A and X from two industrial wastes: Crushed stone powder and aluminum ash. *Journal of environmental management*, 231, 749-756.
- Kurşun, İ., & İpekoğlu, B. (1995). 'Türkiye kuvars kumu potansiyeline genel bir bakış. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 21, 22.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H.B., Aricak, B., Onat, S.M., Sevik, H. (2023). Change of Aluminum Concentrations in Specific Plants by Species, Organ, Washing, and Traffic Density. *BioResources*, 18 (1), 792-803
- Li, L. G., Lin, Z. H., Chen, G. M., & Kwan, A. K. H. (2020). Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment-friendly durable mortar. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122787.
- Liang, P., Yang, Y., Huang, H., Liu, J., & Guo, N. (2022). Experimental Study on Fractal Characteristics of Particle Size Distribution by Repeated Compaction of Road Recycling Crushed Stone. *Applied Sciences*, 12(20), 10303.
- Lobo, R. F., Zones, S. I., & Davis, M. E. (1995). Structure-direction in zeolite synthesis. *Journal of inclusion phenomena and molecular recognition in chemistry*, 21(1), 47-78.
- Lukutsova, N. P., Kulesh, I. A., Golovin, S. N., & Andrushin, S. A. (2019). The dependence of the aggregate stability to concrete of modifying additives based on halloysite nanotubes in water environment on the character of the stabilizer. In *Materials Science Forum*; 945: 287-292
- Maleki, B., Khadang, A., Maddah, H., Alizadeh, M., Kazemian, A., & Ali, H. M. (2020). Development and thermal performance of nanoencapsulated PCM/plaster wallboard for thermal energy storage in buildings. *Journal of Building Engineering*, 32, 101727.
- Manocha, S., & Ponchon, F. (2018). Management of lime in steel. *Metals*, 8(9), 686.
- Mardiana, S., Azhari, N. J., Ilmi, T., & Kadja, G. T. (2022). Hierarchical zeolite for biomass conversion to biofuel: A review. *Fuel*, 309, 122119.
- Martínez-García, R., Jagadesh, P., Zaid, O., Şerbănoiu, A. A., Fraile-Fernández, F. J., de Prado-Gil, J., & Grădinaru, C. M. (2022). The Present State of the Use of

- Waste Wood Ash as an Eco-Efficient Construction Material: A Review. *Materials*, 15(15), 5349.
- Martini, A. N., Papafotiou, M., Massas, I., & Chorianopoulou, N. (2022). Using the Halophyte *Crithmum maritimum* in Green Roofs for Sustainable Urban Horticulture: Effect of Substrate and Nutrient Content Analysis including Potentially Toxic Elements. *Sustainability*, 14(8), 4713.
- Mavi, Ö. (2000). Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Maxim, L. D., Niebo, R., & McConnell, E. E. (2014). Perlite toxicology and epidemiology—a review. *Inhalation toxicology*, 26(5), 259-270.
- Mazloom, M., Ramezaniapour, A. A., & Brooks, J. J. (2004). Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4), 347-357.
- Mithun, B. M., & Narasimhan, M. C. (2016). Performance of alkali activated slag concrete mixes incorporating copper slag as fine aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 112, 837-844.
- Monteiro, N. B. R., & da Silva, E. A. (2018). Environmental licensing in Brazilian's crushed stone industries. *Environmental impact assessment review*, 71, 49-59.
- Mossi, M.M.M (2018). Determination Of Heavy Metal Accumulation In Some Shrub Formed Landscape Plants, Kastamonu University Institute of Science Department of Forest Engineering, Phd Thesis, 141 pages
- Moure Abelenda, A., Semple, K. T., Aggidis, G., & Aiouache, F. (2022). Circularity of Bioenergy Residues: Acidification of Anaerobic Digestate Prior to Addition of Wood Ash. *Sustainability*, 14(5), 3127.
- Mupparisetty, V. K. R., & Mohammed, F. A. (2022). Crushed stone dust as a replacement for river sand in self compacting repair mortars—A sustainable solution. *Materials Today: Proceedings*, 52, 1168-1174.
- Murari, K., Siddique, R., & Jain, K. K. (2015). Use of waste copper slag, a sustainable material. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 13-26.
- Nežerka, V., Slížková, Z., Tesárek, P., Plachý, T., Frankeová, D., & Petránová, V. (2014). Comprehensive study on mechanical properties of lime-based pastes with additions of metakaolin and brick dust. *Cement and concrete research*, 64, 17-29.
- Oates, T. (2000). Lime and limestone. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1-53.
- Ogrodnik, P., Szulej, J. ve Franus, W. (2018). Agregat Olarak Özel Betonlara Geri Kazandırılan Hijyenik Seramik Atıklarının Değerlendirilmesi. *Malzemeler*, 11(8), 1275.

- Okut, N. (2019). “Van İlinden Seçilmiş Bazı Tıbbi Bitkilerin Ağır Metal İçerikleri.” *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 533-544.
- Olanders, B., & Steenari, B. M. (1995). Characterization of ashes from wood and straw. *Biomass and Bioenergy*, 8(2), 105-115.
- Oye, O. J., Aplin, A. C., Jones, S. J., Gluyas, J. G., Bowen, L., Harwood, J., & Valley, J. W. (2020). Vertical effective stress and temperature as controls of quartz cementation in sandstones: Evidence from North Sea Fulmar and Gulf of Mexico Wilcox sandstones. *Marine and Petroleum Geology*, 115, 104289.
- Oza, R. B., Kangda, M. Z., Agrawal, M. R., Vakharia, P. R., & Solanki, D. M. (2022). Marble dust as a binding material in concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*.
- Ozel, H. B., Sen, M., Sevik, H. (2021a) Change of Ba concentration by species and organ in several fruits grown in city centers, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 12(03), 143–150, DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.12.3.0681>
- Ozel, H. B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021b) Change of Mg concentration in several plants depending on plant species, washing status, and traffic density, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 12(01), 447–453, DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.12.1.0551>
- Ozel, H.B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021c) The Change of Mn Concentration by Organ and Species in Several Edible Plants. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. 29(2): 474-480
- Özkan, Ş., Kurşun, İ., & İpekoğlu, B. (2001). Trakya Bölgesi Kuvars Kumlarından Feldspat Uzaklaştırılması için Yeni Bir Flotasyon Yaklaşımı, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 279(282), 18-19.
- Öztürk Yarar, D. (2021). Polipropilen lif ile güçlendirilmiş köpük betonlarda taban külünün hafif agrega olarak kullanımının araştırılması (Doctoral dissertation, Kastamonu üniversitesi).
- Pachta, V., Konopisi, S., & Stefanidou, M. (2021). The influence of brick dust and crushed brick on the properties of lime-based mortars exposed at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 296, 123743.
- Patel, K., Chaurasia, M., & Rao, K. S. (2022). Heavy metal accumulation in leaves of selected plant species in urban areas of Delhi. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Pietrelli, L., Menegoni, P., & Papetti, P. (2022). Bioaccumulation of heavy metals by herbaceous species grown in urban and rural sites. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(4), 1-19.
- Pirinc Bayraktar, E., Isinkaralar, O., & Isinkaralar, K. (2022). Usability of several species for monitoring and reducing the heavy metal pollution threatening the

- public health in urban environment of Ankara. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(3), 276-283.
- Platias, S., Vatalis, K. I., & Charalampides, G. (2014). Suitability of quartz sands for different industrial applications. *Procedia Economics and Finance*, 14, 491-498.
- Rajawat, A. S., Singh, S., Gangil, B., Ranakoti, L., Sharma, S., Asyraf, M. R. M., & Razman, M. R. (2022). Effect of Marble Dust on the Mechanical, Morphological, and Wear Performance of Basalt Fibre-Reinforced Epoxy Composites for Structural Applications. *Polymers*, 14(7), 1325.
- Rajput, S. P. (2018). An experimental study on crushed stone dust as fine aggregate in cement concrete. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 17540-17547.
- Ramírez-Gómez, H., Sandoval-Villa, M., Pineda-Pineda, J., Alcántar-González, G., Trinidad-Santos, A., & Sánchez-García, P. (2015). Bims özelliklerinin domates verim ve kalitesine etkileri. *Wulfenia J*, 22, 365-382.
- Rashad, AM (2016). Geleneksel çimento esaslı malzemelerde ince agrega değişimi olarak kauçuğun geri dönüşümü hakkında kapsamlı bir genel bakış. *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılı Çevre Dergisi*, 5 (1), 46-82.
- Rathore, P. K. S., & kumar Shukla, S. (2021). Improvement in thermal properties of PCM/Expanded vermiculite/expanded graphite shape stabilized composite PCM for building energy applications. *Renewable Energy*, 176, 295-304.
- Reches, Y. (2018). Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. *Construction and Building Materials*, 175, 483-495.
- Ren, Z., Jiang, M., Chen, D., Yu, Y., Li, F., Xu, M., & Zhu, B. (2022). Stocks and flows of sand, gravel, and crushed stone in China (1978–2018): Evidence of the peaking and structural transformation of supply and demand. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106173.
- Rostamian, R., Khalilzadeh, M. A., & Zareyee, D. (2022). Wood ash biocatalyst as a novel green catalyst and its application for the synthesis of benzochromene derivatives. *Scientific reports*, 12(1), 1-11.
- Roy, S., Gupta, S. K., Prakash, J., Habib, G., Baudh, K., & Nasr, M. (2019). Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the National Capital Territory (NCT) of Delhi, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29), 30413-30425.
- Saha, D. C., & Padhy, P. K. (2011). Effects of stone crushing industry on *Shorea robusta* and *Madhuca indica* foliage in Lalpahari forest. *Atmospheric Pollution Research*, 2(4), 463-476.
- Saleh, T. A., Mustaqeem, M., & Khaled, M. (2022). Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100617.

- Salehi, M., Bayat, M., Saadat, M., & Nasri, M. (2021). Experimental study on mechanical properties of cement-stabilized soil blended with crushed stone waste. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(6), 1974-1984.
- Savas, D.S., Sevik, H., Isinkaralar, K., Turkyilmaz, A. & Cetin, M. (2021). The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn. *Environmental Science Pollution Research*, 28(39), 55446-55453. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14826-1>
- Sayılgan, E., & Kürklü, K. (2018). Uçucu Kül Örneğinden Demir ve Alüminyum Gideriminde Taguchi Yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(3), 133-142.
- Sefidehkhani, H. P., & Şimşek, O. (2018). Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 83-91.
- Sen, G., Güngör, E., & Şevik, H. (2018). Defining the effects of urban expansion on land use/cover change: a case study in Kastamonu, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 190 (8), 454.
- Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., & Tasdemir, M. A. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 671-676.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019a). Determining toxic metal concentration changes in landscaping plants based on some factors. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12 (8), 983-991.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Akarsu, H., & Cetin, I. Z. (2020a). Analyzing of usability of tree-rings as biomonitors for monitoring heavy metal accumulation in the atmosphere in urban area: a case study of cedar tree (*Cedrus* sp.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (1), 23.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Erbek, A., & Cetin, I. Z. (2021). The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6395-6407.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Ozel, S., & Cetin, I. Z. (2020b). Changes in heavy metal accumulation in some edible landscape plants depending on traffic density. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (2), 78.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019b). Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (6), 12843-12857.
- Shabbaj, I. I., Alghamdi, M. A., Shamy, M., Hassan, S. K., Alsharif, M. M., & Khoder, M. I. (2018). Risk assessment and implication of human exposure to road dust heavy metals in Jeddah, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 36.

- Shaffer, N. R. (2006). The time of sands: Quartz-rich sand deposits as a renewable resource. *Electronic Green Journal*, 1(24).
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, 325, 36-58.
- Shi, C., Meyer, C., & Behnood, A. (2008). Utilization of copper slag in cement and concrete. *Resources, Conservation and recycling*, 52(10), 1115-1120.
- Shi, J., Liu, B., Chu, S. H., Zhang, Y., Zhang, Z., & Han, K. (2022a). Recycling air-cooled blast furnace slag in fiber reinforced alkali-activated mortar. *Powder Technology*, 407, 117686.
- Shi, J., Qiu, Y., Yu, B., Xie, X., Dong, J., Hou, C., & Liu, C. (2022b). Titanium extraction from titania-bearing blast furnace slag: a review. *JOM*, 1-14.
- Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 923-932.
- Singh, M., & Garg, M. (1991). Perlite-based building materials—a review of current applications. *Construction and Building Materials*, 5(2), 75-81.
- Suh, M., Thompson, C. M., Brorby, G. P., Mittal, L., & Proctor, D. M. (2016). Inhalation cancer risk assessment of cobalt metal. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 79, 74-82.
- Sulhan, O.F., Sevik, H. & Isinkaralar, K. (2022). Assessment of Cr and Zn deposition on *Picea pungens* Engelm. in urban air of Ankara, Türkiye. *Environ Dev Sustain* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02647-2>
- Sultan, M. B., Choudhury, T. R., Alam, M. N. E., Doza, M. B., & Rahmana, M. M. (2022). Soil, dust, and leaf-based novel multi-sample approach for urban heavy metal contamination appraisals in a megacity, Dhaka, Bangladesh. *Environmental Advances*, 7, 100154.
- Şahin, D. D., Eker, H. & Çullu, M. (2022). Uçucu Kül İnceliğinin Betonun Sülfat Direnci Üzerine Etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(17), 287-303.
- Tekin O, Cetin M, Varol T, Ozel HB, Sevik H, Zeren Cetin I. (2022) Altitudinal Migration of Species of Fir (*Abies* spp.) in Adaptation to Climate Change. *Water, Air, & Soil (Water Air Soil Pollut)* 233, 385 (2022). DOI: 10.1007/s11270-022-05851-y
- Topcu, I. B., Bilir, T., & Uygunoğlu, T. (2009). Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. *Construction and building Materials*, 23(5), 1947-1953.

- Topçu, İ. B., & Canbaz, M. (2001). Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14(2), 11-23.
- Topçu, İ. B., & Kaval, M. (2001). Betonda silis dumanı kullanımının ekonomik analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14(1), 18-31.
- Turgut, P. (2018). Uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanarak blok üretimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(3), 413-418.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Cetin, M. (2018a). Using Acer platanoides annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air. Environ Monit Assess 190:578.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., & Cetin, M. (2018b). The use of perennial needles as bio-monitors for recently accumulated heavy metals. Landsc Ecol Eng 14 (1):115–120.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Cetin, M., & Ahmaida Saleh E. A. (2018c). Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants. Pol J Environ Stud 27 (5):2277–2284.
- Turkyilmaz, A., Sevik H., Isinkaralar K, & Cetin M. (2019). Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition, Environmental Science and Pollution Research, 26 (5), 5122-5130.
- Turkyilmaz, A., Cetin, M., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Saleh, E. A. A. (2020). Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density. Environment, Development and Sustainability, 22 (3), 2385-2398.
- Ucun Ozel, H., Ozel, H. B., Cetin, M., Sevik, H., Gemici, B. T., & Varol, T. (2019). Base alteration of some heavy metal concentrations on local and seasonal in Bartın River. Environmental monitoring and assessment, 191(9), 594.
- Ucun Ozel, H., Gemici, B. T., Gemici, E., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2020). Application of artificial neural networks to predict the heavy metal contamination in the Bartın River. Environmental Science and Pollution Research, 1-18.
- URL-1, 2022. Silis Kumu. Erişim tarihi: 17.11. 2022. <https://www.sisecam.com.tr/tr/faaliyet-alanlarimiz/maden/siliskumu#>
- URL-2, 2019. <https://www.doktorix.com/agir-metal-zehirlenmesi-ve-testi-nedir/>
- URL-3, 2022. <https://doajewelry.com.tr/gumus-insan-sagligina-zararli-mi/>
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H (2021) Impacts of climate change scenarios on European ash tree (Fraxinus excelsior L.) in Turkey. Forest Ecology

- and Management. Forest Ecology and Management 491 (2021) 119199. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119199
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H (2021) Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey. Forest Ecology and Management. Forest Ecology and Management 491 (2021) 119199. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119199
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H, Zeren Cetin I. (2022) Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. Theoretical and Applied Climatology (Theor Appl Climatol) (2022). DOI: 10.1007/s00704-022-04179-1
- Varol, T., Cetin, M., Ozel, H.B., Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2022). The Effects of Climate Change Scenarios on *Carpinus betulus* and *Carpinus orientalis* in Europe. Water Air Soil Pollut 233, 45. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05516-w>
- Wang, X., Feng, R., Li, J., Liu, S., & Yan, C. (2022a). Buz taşkın mevsiminde buz sürtünmesi altında doğal pomza betonunun aşınma özellikleri ve bozunma mekanizması. İnşaat ve Yapı Malzemeleri , 341 , 127742.
- Wang, X., Ma, Y., Wu, Q., Wen, Y., & Xiao, F. S. (2022b). Zeolite nanosheets for catalysis. Chemical Society Reviews.
- Wu, W., Zhang, W., & Ma, G. (2010). Optimum content of copper slag as a fine aggregate in high strength concrete. Materials & Design, 31(6), 2878-2883.
- Xu, Z., Zhang, Q., Li, X., & Huang, X. (2022). A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. Chemical Engineering Journal, 429, 131688.
- Yaman, Ö. Ü. K., & Özçelik, Y. L. Ö. Ö. (2019). Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamaları: Karabük Merkez İlçe Örneği. Cataloging-In-Publication Data, 428.
- Yang, D., Zhao, J., Suhail, S. A., Ahmad, W., Kamiński, P., Dyczko, A., & Mohamed, A. (2022). Investigating the ultrasonic pulse velocity of concrete containing waste marble dust and its estimation using artificial intelligence. Materials, 15(12), 4311.
- Yayla, E. E., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2022). Detection of landscape species as a low-cost biomonitoring study: Cr, Mn, and Zn pollution in an urban air quality. Environmental Monitoring and Assessment, 194(10), 1-10.
- Yılmaz, F. (2020). Uçucu Kül ve Mermer Tozu Katkılarının Zeminin Stabilizasyonuna ve Donma-Çözülmesine Etkisinin Araştırılması. Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 8(1), 56-61.

- Yüçetürk, G. (2010). Yapay Mermerde Kullanılan Kuvars Ve Kalsit Minerallerinin Fiziko-Meknik Özellikleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2(3), 72-80.
- Zeren Cetin, I., Varol, T., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2022). The effects of climate on land use/cover: a case study in Turkey by using remote sensing data. Environmental Science and Pollution Research, 1-12.
- Zuo, Z., Feng, Y., Dong, X., Luo, S., Ren, D., Wang, W., & Lin, X. (2022). Advances in recovery of valuable metals and waste heat from copper slag. Fuel Processing Technology, 235, 107361.

