



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADENCİLİK ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ulvi RAJABLI

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Deniz ADIGÜZEL

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Ekim, 2023



Annem, Babam ve Hocam 'a ithaf ediyorum...

## **BÜTÇE DESTEKLERİ**

### **MADENCİLİK ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon  
Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 36443

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasını tamamlarken, çeşitli desteklerden yararlandım ve bu vesileyle teőekkürlerimi sunmak istiyorum.

Öncelikle, danışmanıma içten teőekkürlerimi iletmek istiyorum. Değerli rehberliği, uzmanlığı ve sabrı sayesinde bu çalıőmayı başarıyla tamamlamamı sağladı. Önerileri ve yol gösterici yaklaőımıyla beni her adımda desteklediği için minnettarım.

Aileme ve sevdiklerime içten teőekkürlerimi sunmak istiyorum. Sabırları, anlayıőları ve destekleriyle beni her zaman cesaretlendirdiler. Onların sevgisi ve inancı olmasaydı, bu çalıőmayı tamamlamak bu kadar anlamlı olmazdı.

Son olarak, bu tezi tamamlamamda katkısı olan tüm öğretim üyelerine, çalışma arkadaşlarıma ve herkese teşekkür etmek istiyorum. Sizin değerli görüşleriniz, destekleriniz ve motivasyonunuz, bu çalıőmayı başarmamda büyük rol oynadı.

Teőekkürlerimi sunarken, bu çalışmanın gelecekteki araőtırmacılara ilham kaynağı olmasını ve ilgili alanda yapılan çalışmalara katkıda bulunmasını umuyorum.

Ekim 2023

Ulvi Rajabli

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN .....	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....</b>	<b>4</b>
2.1. MADEN ATIKLARI.....	4
2.1.1. Endüstriyel Maden Atıkları.....	5
2.1.2. Metalik Maden Atıkları.....	5
2.1.3. Enerji Maden Atıkları .....	6
2.2. ATIK YÖNETİMİ .....	7
2.3. MADENCİLİKTE ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ.....	10
2.4. BETON .....	12
2.5. MADENCİLİK ATIKLARININ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ.....	14
2.6. MADENCİLİK ATIKLARININ FARKLI SEKTÖRLERDE DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	15
<b>3. YÖNTEM .....</b>	<b>23</b>
3.1. ÇALIŞMA SAHALARI .....	23
3.1.1. Altın Sahası .....	23
3.1.2. Kurşun Çinko sahası .....	25
3.1.3. Bakır Sahası .....	28
3.1.4. Demir Sahası .....	29

3.1.5. Bor Sahası .....	30
3.1.6. Silis Sahası .....	32
3.1.7. Kömür Sahası .....	33
<b>3.2. MALZEME.....</b>	<b>35</b>
3.2.1. Altın Madeni Atık Özellikleri .....	35
3.2.2. Kurşun-çinko Madeni Atık Özellikleri .....	37
3.2.3. Bakır Madeni Atık Özellikleri.....	39
3.2.4. Demir Madeni Atık Özellikleri .....	41
3.2.5. Bor Madeni Atık Özellikleri .....	44
3.2.6. Silis Madeni Atık Özellikleri .....	46
3.2.7. Kömür Madeni Atık Özellikleri .....	48
<b>3.3. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM .....</b>	<b>50</b>
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
4.1. Farklı Proses Atıklarının İkame Oranlarına Göre Dayanım Değerleri .....	53
4.2. Farklı maden proses atıklarının çevresel risk açısından pH değerleri .....	61
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI .....</b>	<b>74</b>
<b>ETİK KURUL İZİN YAZISI .....</b>	<b>75</b>
<b>KURUM İZİNİ YAZILARI.....</b>	<b>76</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>77</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 3.1. Çöpler Altın İşletmesi. ....	24
Şekil 3.2. Altın üretim akım şeması. ....	25
Şekil 3.3. Balya Kurşun-Çinko işletmesi. ....	26
Şekil 3.4. Kurşun-Çinko akım şeması. ....	28
Şekil 3.5. Küre Bakır İşletmesi. ....	29
Şekil 3.6. Demir Export İşletmesi akım şeması. ....	30
Şekil 3.7. Bigadiç Bor İşletmesi. ....	31
Şekil 3.8. Bigadiç Kondensatör Tesisi Akım Şeması. ....	32
Şekil 3.9. Silis kumu akım şeması. ....	33
Şekil 3.10. Ege Linyitleri İşletmesi. ....	34
Şekil 3.11. Kömür akım şeması. ....	35
Şekil 3.12. Altın Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	37
Şekil 3.13. Kurşun-çinko Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	39
Şekil 3.14. Bakır Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	41
Şekil 3.15. Demir Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	44
Şekil 3.16. Bor Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	46
Şekil 3.17. Silis Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	48
Şekil 3.18. Kömür Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı. ....	49
Şekil 4.1. %5 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	53
Şekil 4.2. %10 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	54
Şekil 4.3. %20 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	55
Şekil 4.3a. Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	55

Şekil 4.4. Pb-Zn madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	56
Şekil 4.5. Bakır madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	57
Şekil 4.6. Demir madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	58
Şekil 4.7. Bor madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	59
Şekil 4.8. Silis madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	60
Şekil 4.9. Kömür madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri. ....	61
Şekil 4.10. Altın madeni proses atığı pH profili. ....	62
Şekil 4.11. Pb-Zn madeni proses atığı pH profili. ....	62
Şekil 4.12. Demir madeni proses atığı pH profili. ....	63
Şekil 4.13. Standart beton pH değişimi. ....	63
Şekil 4.14. Demir atığı pH değişimi. ....	64
Şekil 4.15. Altın atığı pH değişimi. ....	64
Şekil 4.16. Pb-Zn atığı pH değişimi. ....	65
Şekil 4.17. Pb-Zn atıklı beton pH değişimi. ....	65

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Tablo 3.1. Çalışma sahaları. ....	23
Tablo 3.2. Altın Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. ....	36
Tablo 3.3. Kurşun-çinko Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	38
Tablo 3.4. Bakır Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	40
Tablo 3.5. Demir Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. ....	43
Tablo 3.6. Bor Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	45
Tablo 3.7. Silis Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. ....	47
Tablo 3.8. Kömür Madeni Atığı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. ....	49
Tablo 3.9. Harç Karışımlarda Kullanılan Malzemeler ve Miktarları. ....	51

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	: Manyetit
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Hematit
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum dioksit
<b>Pb-Zn</b>	: Kurşun-Çinko

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>TEBD</b>	: Tek eksenli basma dayanım değerleri
<b>AMD</b>	: Asit maden drenajı
<b>POX</b>	: Basınçlı oksidasyon devresi
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### MADENCİLİK ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ulvi RAJABLI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Doç. Dr. Deniz Adıgüzel

Bileşimi ve bertaraf yöntemleri nedeniyle, madencilik atıkları çevre üzerinde farklı şekillerde önemli bir etkiye sahiptir. Bu atıkların etkileri temel olarak su, hava ve toprak kirliliğine, ekosistemin kademeli olarak bozulmasına ve insan sağlığının bozulmasına neden olur. Bu noktada ağır metaller ve zararlı kimyasalların etkileri daha büyük sorunlara neden olmaktadır. Ekosistemin bu atıklarla kirlenmesi, çevredeki canlıların sağlığını önemli ölçüde etkiler.

Madenlerin çıkarıldığı alanlarda doğal ortam sürekli değişimlere maruz kalmakta ve bunun sonucunda doğaya önemli ölçüde zarar verilmekte, üretim alanlarına ayrılan tarım arazileri işgal edilmekte, ekolojik, jeoekolojik ve jeokimyasal değişimler meydana gelmektedir. Bazen topraklar ve su kütleleri zararlı maddeler ve kimyasal elementlerle kirlenir. Görüldüğü gibi madencilik ve maden sanayi işletmelerinde toprak erozyonu ve bozulmaları ekonomik gelişmeyi ve ekolojik dengeyi bozan karmaşık, çok yönlü zararlara neden olmaktadır. Bu tez çalışması, maden arama, çıkarma, işleme ve fiziksel ve kimyasal işleme sırasında oluşan atıkların etkilerini en aza indirmek için beton gibi farklı sektörlerde yeniden kullanımını ele almaktadır. Araştırma kapsamında farklı atıklar farklı oranlarda kullanılarak beton numuneler

hazırlanmış ve bu beton numunelerin 28 günlük kür süresinden sonra farklı numunelerde farklı kür sürelerine (56, 90, 120, 150) göre deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile maden atıklarının beton üretimindeki kullanılabilirliği belirlenmiştir. |

Ekim 2023 , |93| sayfa.

**Anahtar kelimeler:** | Maden atıkları, Çevresel etkiler, Beton |



## **ABSTRACT**

**|M.Sc. THESIS|**

**|THE INVESTIGATION OF THE USABILITY OF  
MINE TAILINGS IN CONCRETE PRODUCTION |**

**|Ulvi RAJABLI|**

**İstanbul University-Cerrahpaşa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Mining Engineering**

**Mining Engineering, Thesis Master's Programme**

**|Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL |**

Mine tailings has a significant impact on the environment in different ways due to its composition and disposal methods. The effects of these tailings mainly cause water, air and soil pollution, gradual degradation of the ecosystem and deterioration of human health. At this point, the effects of heavy metals and harmful chemicals cause bigger problems. Pollution of the ecosystem with tailings significantly affects the health of the living creatures in the environment.

In mining areas, the natural environment is exposed to constant changes and as a result, significant damage is caused to nature, agricultural lands allocated to production areas are occupied, and ecological, geocological and geochemical changes occur. Sometimes soils and water bodies become contaminated with harmful substances and chemical elements. As can be seen, soil erosion and degradation in mining and mining industry enterprises cause complex, multifaceted damages that disrupt economic development and ecological balance. This thesis study deals with the reuse of tailings generated during mineral exploration, extraction,

processing and physical and chemical processing in different sectors such as concrete to minimize their effects. Within the scope of the research, concrete samples were prepared by using different wastes in different proportions, and after the 28-day curing period of these concrete samples, experiments were carried out on different samples according to different curing times (56, 90, 120, 150). With the results obtained, the usability of mine tailings in concrete production was determined. |

October 2023, |93| pages.

**Keywords:** |Mine Tailings, Environmental Effects, Concrete |

This study was funded by Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University-Cerrahpasa Rectorate. Project number: 36443

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri daha büyük miktarlarda atık üretir ve diğer insan faaliyetlerinden kaynaklanan atıklardan daha fazla olumsuz çevresel etkiye sahip olmaktadır. Bu bölüm, maden atıklarının depolanması konusunun ana hatlarını çizmektedir. Maden atıkları, genellikle depolanan iri taneli atıklar ve hidrolik dolgu yapılarında depolanan ince taneli atıklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu nedenle, maden atık depolarının insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini uzun vadeli ve sürekli olarak en aza indirecek şekilde inşa edilmesi ve korunması gerekmektedir. Neyse ki, maden atıklarının depolanmasına yönelik kontroller ve yasal düzenlemeler çoğu ülkede depoları güvenli bir şekilde ve uzun süreler boyunca inşa etmek ve sürdürmek için gereken mühendislik becerileri de gelişmektedir.

Endüstriyel atık yönetimi konuları, artan atık üretimi, sınırlı bertaraf kapasitesi, artan bertaraf maliyetleri ve yeni bertaraf tesislerinin kurulmasına tepki nedeniyle bugün dünya çapında insanların dikkatini çekmektedir. Atık yönetimi alanında resmi ve sivil toplum kuruluşları verimli ve çevre dostu çözümler geliştirmek için mücadele etmektedir. Atık miktarı arttıkça, özellikle tehlikeli atık yönetiminde stratejiler geliştirmek giderek daha önemli hale gelmektedir.

Maden atık yönetiminin ekosistemin korunması ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşıdığı vurgulanması gerekmektedir. Aynı zamanda maden atıklarının uygun şekilde değerlendirilmesi ve geri dönüştürülmesi ekonomik açıdan verimli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde, maden atık yönetiminin birkaç etkili yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemler hasarı bir dereceye kadar azaltır, ancak yine de sürdürülebilir kalkınmayı iyileştirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Maden atıkların yeniden kullanımı modern zamanların bir sorunu olmaktadır. Bunların sanayide ikincil hammadde olarak kullanılması ve böylece çevre üzerindeki antropojenik etki miktarının azaltılması konusu günün önemli bir konusu haline gelmektedir. Sanayi bölgelerinin katı atıkları çevreyi kirleten atıklar arasında özel bir yer tutmaktadır. Yeryüzüne daha fazla yayılarak kullanılabilir arazi alanlarını azaltmakta ve çözülmeyi bekleyen çevre sorunları yaratmaktadırlar. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte bu tür atıkların birincil kaynakları da genişlemektedir. Her yıl, jeolojik keşif ve minerallerin çıkarılması ve işlenmesi sırasında

çevreye büyük miktarda katı atık salınmaktadır. Bu atığın sadece %10'u yeniden kullanılmakta ve geri kalanı çevre kirliliği kaynağı oluşturmaktadır. Öte yandan, bu atıkların içerdiği değerli bileşenler hiçbir fayda sağlamadan atık haline gelmektedir.

Diğer taraftan arama hendeklerinin doldurulmaması toprak erozyonuna neden olmaktadır. Derin kazılmış hendekler, yeraltı suyu seviyelerindeki değişiklikleri etkilemektedir. Bu, çevrenin ekolojik istikrarı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmaktadır.

İnşa edilen bina ve tesislerin uzun ömürlü olması ve inşaatın verimli bir şekilde işletilmesi, sadece inşaat işlerinin kaliteli performansına değil, uygulanan inşaat malzemelerinin doğru seçilmesine ve kalitesine de bağlı olmaktadır. İnşaat malzemelerine harcanan miktarın, toplam inşaat ve montaj işlerine harcanan miktarın yarısından fazlası, toplam sermaye yatırımının üçte biri olduğunu dikkate alırsak, doğru seçilmiş malzemeye sahip olmanın ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda betonun işleyişinde ortaya çıkan eksiklikler bu yönde araştırma yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Beton, dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde inşaatlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı bu yönde bilimsel araştırmalar yapmaktadır.

Bu tez, madencilik atıklarını değerlendirmek ve beton üretimini nasıl etkilediğini araştırmak için yapılan bir araştırma çalışmasının parçası olarak yapılmıştır. Betonun inşaat alanında yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra, üretim aşamasında çevreye çok sayıda zararlı etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu zararları en aza indirmek için maden atıklarının beton üretiminde uygulanması etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Betona eklenen maden atıkları, priz süresinin kontrolünü, kendi kendini iyileştirmesini, hava sürüklenmesini, betonun korozyon önleyici özelliklerini artırır, betonun sülfat saldırısına ve alkali silika reaksiyonuna karşı direncini artırır ve yüzey görünümünü iyileştirir. Bahsedilen verilerden hareketle tez çalışmasının amacı olarak maden atıklarının beton üretimindeki işlevselliği dikkate alınarak birtakım değerlendirmeler ve analizler yapılmıştır.

Yapılan araştırma kapsamında aynı zamanda maden atıklarının farklı alanlardaki uygulamalarının değerlendirilmesi de ele alınmıştır. Bu konuda yapılan bilimsel araştırma çalışmaları incelenmiş ve çalışmanın konusuna göre tez karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan araştırmanın önemi, maden atıklarının ekosistem üzerindeki etkisini en aza indirecek çözümler sunması ve maden atıklarının beton üretiminde kullanılmasının işlevselliğini

vurgulamasıdır. Bu çalışmanın sonuçları, konu ile ilgili ileride yapılacak araştırmalarda başvurulacak önemli bir bilimsel materyal olacak ve maden atıklarının beton üretiminde kullanılması konusunda yol gösterici olacaktır.

Tez çalışmasında araştırmayı yürütmek için benimsenen yapı aşağında listelenmiştir.

İlk olarak, tezin ikinci bölümünde maden atıklarının işlevselliğinden ve uygun şekilde yönetilmesinden bahseden “Kavramsal Çerçeve” bulunmaktadır. Atıklar ayrıca metal, enerji ve üretim madenciliğİ atıkları olarak da sınıflandırılmaktadır. Bunun devamı niteliğinde atık yönetiminin kapsamlı bir analizi yapılmakta ve önemi vurgulanmaktadır. Maden atıklarının beton üretimindeki etkinliğı ve teknik işlevselliğı bu bölümde incelenmektedir. Konuyla ilgili dünya tecrübesi ve farklı akademik araştırma çalışmalarında yapılan araştırmaların tartışma ve analizleri de burada verilmiştir.

Üçüncü bölümde “Yöntem” başlığı altında araştırmanın yürütüldüğü alanlar, araştırmada kullanılan malzeme özellikleri, yapılan araştırmanın yöntemleri ve uygulama sırası ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları yorumlanmıştır. Burada elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde analiz edilmekte, elde edilen sonuçlar tez çalışmasının araştırma amacına uygun olarak akademik olarak yorumlanmaktadır.

Son bölüm olan beşinci bölümde ise araştırma sonuçlarının genel bir tartışması yapılmıştır. Yapılan araştırmanın gelecekteki araştırmalardaki rolü hakkında ayrıntılı bilgiler açıklanmaktadır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde genel olarak tez konusuna ilişkin maden atıkları, atık yönetimi, atık bertaraf yöntemleri, beton ve beton ürünleri, madencilik atıkların beton özelliklerine etkileri ve madencilik atıkların farklı sektörlerde değerlendirilmesi ile ilgili literatür çalışmalar gibi konu başlıkları ele alınmaktadır.

### 2.1. MADEN ATIKLARI

Madencilik faaliyetleri her yıl büyük miktarlarda madencilik atığı üretmektedir. Madencilik, Mineraller ve Sürdürülebilir Kalkınma Projesi'ne (MMSD) göre, dünya çapında atık kaya çöplükleri ve atık barajlarından oluşan yaklaşık 3500 aktif madencilik atık tesisi bulunmaktadır. Ek olarak, temel metallere yönelik artan talep, karmaşık daha ince taneli düşük dereceli cevher kütlelerinin çıkarılmasına ve geliştirilmesine yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar göstermiş ki, düşük dereceli ve karmaşık cevherlerin madenciliği, ton ürün başına daha fazla miktarda atık üretmekte ve ayrıca atıkların ince dane içeriğini artırmaktadır [1]. Düzgün yönetilmemesi sonucu olarak, madencilik atıkları hem hava yolları (toz ve gaz emisyonları) hem de su sızıntısı (asit maden drenajı) yoluyla önemli kirlilik oluşturma bilmektedir [2-4]. Ayrıca, bu, maliyetli yıkıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Brezilya'daki Brumadinho atık barajının yıkılması gibi son olaylar, atık yönetim sistemlerinde arıza meydana geldiğinde endüstrinin ve toplumun madencilik atıklarının yıkıcı etkilerine olan ilgisini artırmıştır. Maden atıklarını daha iyi yönetmenin bir yolu, daha güçlü ve verimli yeraltı ekipmanlarının geliştirilmesi yoluyla açık ocak yüzey operasyonlarından yer altı madenciliğine geçiş gibi madencilikten kaynaklanan üretimini azaltmaktır [5]. Potansiyel çözümler, temiz üretim, atıktan yan ürünler, süreçlerin yeniden yapılandırılması, kapalı devre sistemler ve ürün yönetimi gibi mevcut yaklaşımlardan yararlanması gerekmektedir [1].

V.F.Korovyakov, yol kaplamalarında kullanılan betonu incelemiştir ve metal lif kullanımının daha etkili olduğunu belirlemiştir. Lif beton esas alınarak yapılan numunelerin eğilme dayanımlarının %120-150 arttığı belirlenmiştir. Bu tür betonların basınç dayanım sınırı %25, eksenel çekme dayanımı %60-80 olup, darbe dayanımı 10-12 kat artmıştır. Aynı zamanda donma direnci ve su geçirmezlik göstergeleri de yüksek olmaktadır [1]. Diğer bir örnek olarak

bilim adamı A.Y.Buchkin, ince taneli betonun korozyon direncini artırmak için nar dispersiyonlu bazalt atığının uygulanmasını önermiş ve bazalt atığının betonun performans göstergelerini ve fiziksel-mekanik özelliklerini temelden artırdığını belirlemiştir [2].

Madencilik faaliyeti, kayda değer nüfus artışı ve dünya çapında maden kaynaklarına olan talep nedeniyle önemli ölçüde artmaktadır [1]. Bu artış, çevresel kaygıların sektördeki tüm temsilciler için artan bir zorluk haline geldiği yeni bir farkındalıkla örtüşmektedir [2,3]. Özellikle yeterli yönetim olmak üzere madencilikle ilgili tüm faaliyetlerin sürdürülebilir gelişimi için toplumsal talep artmaktadır. Maden arama, arama, geliştirme, çıkarma, taşıma ve elde edilen ürünün işlenmesi vb. dahil olmak üzere madencilik sürecinin her aşamasında atık ürünlerin Madencilik süreci, ekonomik verimliliği çevresel sürdürülebilirlik talepleri ile birleştirmek için stratejik olarak işlenmesi ve yönetilmesi gereken büyük miktarda kalıntı üretmektedir. Enerji gereksinimleri, çevre ve insan sağlığı riskleri, su kaynaklarına yönelik talepler ve gerekli teknolojinin tümü dikkate alınması gerekmektedir [5].

Maden çıkarmayla üretilen atık, katı, tortu veya bulamaç olmakta, en yaygın olanları tortu, atık kaya, cüruf ve ince malzemelerdir [6,7].

### **2.1.1. Endüstriyel Maden Atıkları**

Bu maden atıklarının ana kaynağı çeşitli endüstriyel süreçlerden kaynaklanmakta olup madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklar olarak sayılmaktadır. Endüstriyel maden atıkları farklı bileşenlerden oluşmaktadır ve bu nedenle çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırılmanın kaynağı bileşenlerin ana tiplerine göre, Endüstriyel maden atıkları bileşenlerin ana kaynaklarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Madenlerin açılması ile oluşan kaya ve çakıllar;
- Petrol ve doğal gaz madenlerinde kimyasallarla birlikte çıkarılan ve maden ocaklarında kullanılan kuyu atıkları;
- Cevher madenlerinden çıkarılan cevherlerin işlenip ayrılması sonucu ortaya çıkan atıklar.

### **2.1.2. Metalik Maden Atıkları**

Metalik maden atıkları belli bir işleme sürecinden geçtikten sonra sanayide ürün üretiminde hammadde olarak tekrar kullanılabilir. Tüm endüstriyel atıklar katı ve sıvı tiplere

ayrılmaktadır. Katı atık metal, ahşap, plazma ve çeşitli kaynaklı tozlardan, endüstriyel atıklardan (kauçuk, kâğıt, kumaş, kum, cüruf vb.) oluşmaktadır. Sıvı atık, atık su arıtma işleminden sonra kalan çökeltileri, ıslak gaz arıtma sisteminde oluşan mineral cürüfları ve organik tozları içermektedir. Atıkların ikinci kez hammadde olarak kullanılabilmesi için endüstriyel sınıflandırmasının geliştirilmesi gerekmektedir. Fiziksel özelliklerine göre sınıflara, kimyasal bileşimlerine göre gruplara ve markalara, kalite göstergelerine göre tiplere ayrılmaktadır. Katı atıkların büyük bir kısmını metaller oluşturmaktadır. İkincil metal stokunun %43'ü hurda metal ve %57'si atık olmaktadır.

Hurda metal, aşınmış ve eskimiş makine parçalarını içermektedir. Atık, metal içeren çeşitli endüstriyel atık türlerini içermektedir. Bu atıklardan eritme ve mekanik işleme yoluyla metal elde edilmektedir. Atık, işleme sürecinde tamir edilemeyen atık makine parçalarını da içermektedir. Demir metalürjisinde 1 ton çelik başına 650 kg hurda ve atık metal elde edilmektedir [7]. Şu anda, katı endüstriyel atıkların (metal hurdalar hariç) bertaraf edilmesi ve yeniden işlenmesinin ana yönleri, endüstriyel işletmelerde modern işleme teknolojisi geliştirilene kadar bunların taşınması, düzenli depolama alanlarına gömülmesi, yakılması ve depolarda depolanması şeklinde olmaktadır. Metal madenciliği operasyonlarının doğası, diğer atık yönetimi yöntemlerinin fizibilitesini sınırlamaktadır [15].

### **2.1.3. Enerji Maden Atıkları**

Enerji maden atıkları, enerji üretimi sürecinde oluşan ve genellikle kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer enerji gibi kaynakların kazanımından sonra geriye kalan atıklar olarak hesap edilmektedir. Bu atıklar, enerji üretimi tesislerinde kullanılan yakıtların işlenmesi, yanması veya nükleer sonucu ortaya çıkmaktadır.

Kömür madenciliği atıkları, enerji maden atıkları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Kömür madenciliği sırasında çıkarılan kömürün işlenmesi ve kullanılması sonucunda artık ürünler ve atık malzemeler oluşmaktadır. Bu atıklar arasında kömür külü, uçucu kül, kül atıkları ve gaz atıkları bulunmaktadır. Bu atıklar, çevresel kirleticiler, toksik maddeler ve ağır metaller içermektedir. Kömürün yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit emisyonları da iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır.

Petrol ve doğal gaz üretimi atıkları da dikkate değer hesap edilmektedir. Bu atıklar arasında sondaj çamuru, kullanılmış sondaj boruları, çamur tortuları ve işleme artıkları yer almaktadır.

Bu atıkların doğru bir şekilde bertaraf edilmesi ve yönetilmesi önemlidir, çünkü sızıntılar, su kaynaklarının kirlenmesi ve toprak erozyonu gibi çevresel sorunlara yol açabilmektedir.

Nükleer enerji üretimi atıkları da özel bir öneme sahip olmaktadır. Nükleer santrallerde kullanılan radyoaktif malzemeler, yanma veya fisyon sürecinde yüksek düzeyde radyoaktif atıklar oluşturmaktadır. Bu atıkların güvenli bir şekilde depolanması ve yönetilmesi, radyasyon sızıntılarının önlenmesi ve nükleer güvenliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

## **2.2. ATIK YÖNETİMİ**

Maden atık yönetimi, maden yataklarını elde etmek için çıkarılan büyük toprak ve kaya kütesini ifade etmektedir. Cevher işleme, mineral zenginleştirme ve ekstraksiyon sırasında üretilen atıklar madencilik endüstrisi tarafından yönetilmektedir. Maden atık yönetiminin ana türleri yerüstünde ve yeraltında depolama olarak ifade edilmektedir. Yüzey madenciliği, yüzeye yakın mineralleri çıkarma yöntemini ifade etmektedir. Mineral veya metaller arasında kömür, demir, altın, alüminyum, bakır, nikel ve diğer mineraller, metaller bulunmaktadır.

Küresel madencilik atık yönetimi pazarı, 2022'de 184,33 milyar dolardan 2023'te %6 bileşik yıllık büyüme oranıyla (CAGR) 195,33 milyar dolara yükselmiştir. Rusya-Ukrayna savaşı, en azından kısa vadede, COVID-19 salgınından küresel ekonomik toparlanma şansını alt üst etmiştir. Bu iki ülke arasındaki savaş, birden fazla ülkeye yönelik ekonomik yaptırımlara, emtia fiyatlarında artışa ve tedarik zinciri kesintilerine yol açarak mal ve hizmetlerde enflasyona neden olmuştur ve dünya çapında birçok pazarı etkilemiştir. Maden atık yönetimi pazarının 2027'de %5,8'lik bir YBBO ile 245,2 milyar dolara çıkması beklenilmektedir [17].

Maden atık yönetimi pazar araştırması raporu, madencilik atık yönetimi endüstrisi küresel pazar büyüklüğü, bölgesel paylar, madencilik atık yönetimi pazar payına sahip rakipler, ayrıntılı madencilik atık yönetimi pazar segmentleri dâhil olmak üzere madencilik atık yönetimi pazar istatistiklerini sağlayan bir dizi yeni rapordan biri hesap edilmektedir (pazar eğilimleri ve fırsatları ve madencilik atık yönetimi endüstrisinde gelişmek için ihtiyaç duyabileceğiniz diğer veriler). Bu madencilik atık yönetimi pazar araştırması raporu, endüstrinin mevcut ve gelecekteki senaryolarının derinlemesine bir analizi ile ihtiyacınız olan her şeyin eksiksiz bir perspektifini sunmaktadır.

Büyük şirketler, madencilik atıklarının kullanımıyla yeni ürünler geliştirmektedir. Örneğin, Aralık 2020'de Birleşik Krallık merkezli bir kamu araştırma üniversitesi olan University College London, Onya McCausland, UCL Innovation & Enterprise ve Coal Authority ile işbirliği içinde, hizmet dışı bırakılan kömür madenlerinin ürettiği atıklardan bir dizi boya geliştirmiştir [21]. Bu, madencilik topluluklarının katılımından ve girdilerinden güçlü bir şekilde yararlanan benzersiz bir boya yelpazesinin geliştirilmesini ve ticarileştirilmesini sağlamıştır.

Eylül 2022'de, African Infrastructure Investment Managers (AIIM) ve Royal Bafokeng Holdings'e (RBH) sahip Fransa merkezli bir kamu hizmetleri şirketi olan SUEZ, EnviroServ Proprietary Holdings Limited ve yan kuruluşlarını açıklanmayan bir bedel karşılığında satın almıştır. Bu satın alma sayesinde UEZ, Afrika kıtasındaki konumunu güçlendirecek ve endüstriyel ve evsel atık işlemede uluslararası lider konumunu pekiştirmesi beklenilmektedir. EnviroServ, Güney Afrika merkezli bir atık yönetim şirketidir. EnviroServ'deki Atık ekibi, şirketin bütünleşmiş atık yönetimi çözümlerinin bir parçası olarak madencilik sektöründeki atık akışlarını ele almaktadır [22].

Asya-Pasifik, 2022 yılında madencilik atık yönetimi pazarındaki en büyük bölge oldu. Bu raporda ele alınan bölgeler Asya-Pasifik, Batı Avrupa, Doğu Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Orta Doğu ve Afrika'dır. Maden Atıkları Yönetimi pazar raporunun kapsadığı ülkeler Avustralya, Brezilya, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, Japonya, Rusya, Güney Kore, Birleşik Krallık, ABD'dir.

Çeşitli endüstrilerde metal ve minerallere yönelik artan talebin, ileriye dönük olarak madencilik atık yönetimi pazarının büyümesini hızlandırması bekleniyor. Metaller ve mineraller, yer kabuğunda bulunan katı, doğal olarak oluşan inorganik maddelerdir. Çeşitli endüstrilerde metallere ve minerallere yönelik artan talep, maden arama, geliştirme, çıkarma, nakliye ve çıkarılan ürünün işlenmesi dahil olmak üzere madencilik sürecinin her aşamasında uygun atık yönetimini sağlayarak madencilik atık yönetimi pazarının büyümesine yardımcı olur. Örneğin, Hindistan hükümetine ait bir mineral üreticisi olan National Mineral Development Corporation Limited'e (NMDC) göre, 31 Mart 2022'de sona eren mali yılda demir cevherinin 42,15 milyon ton (MT) ürettiğini belirtti. Yılda %23. Bu nedenle, çeşitli endüstrilerde metal ve minerallere yönelik artan talep, madencilik atık yönetimi pazarının büyümesini sağlıyor.

Maden atık yönetimi piyasası, katı atık depolama, yakma, atık sıkıştırma ve kompostlama gibi hizmetler sağlayarak kuruluşlar tarafından kazanılan gelirleri içerir. Piyasa değeri, hizmet sağlayıcı tarafından satılan veya hizmet sunumuna dahil edilen ilgili malların değerini içerir. Yalnızca kuruluşlar arasında ticareti yapılan veya son tüketicilere satılan mal ve hizmetler dahildir.

Cevher yüzeye çıkarıldıktan sonra, muazzam miktarlarda atık üreten minerali çıkarmak için işlenir. Bunun nedeni, yüksek dereceli cevherlerde bile geri kazanılabilir metal miktarının genellikle toplam kütlelerinin sadece küçük bir kısmı oluşturmasıdır. Ayrıca, yüksek dereceli maden yatakları tükenirken, maden endüstrisi artık daha düşük dereceli rezervlere bağlı olmak zorunda olduğundan, giderek daha fazla miktarda atık üretilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde 20. yüzyılın başında çıkarılan bakır cevheri, ağırlıkça yaklaşık yüzde 2,5 oranında kullanılabilir metalden oluşuyordu; bugün bu oran yüzde 0,51'e düştü. Bu endüstri tarafından küresel olarak ne kadar atık üretildiğine dair bir tahmin yoktur. Ancak, miktarın hayal edilemeyecek kadar büyük olduğu konusunda herkes hemfikirdir. Örneğin, 1 ton bakır üretimi, 110 ton atık cevher ve 200 ton fazla yük oluşturur. Böylece, 2004 yılında küresel olarak bakır endüstrisi, 10,8 milyon ton bakır metali üretmek için 3348 milyon ton atık malzeme üretti. 2000 ile 2004 yılları arasında sadece 5 yılda, küresel bakır endüstrisi 16709 milyon ton atık malzeme üretmiştir.

Her yıl, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki madenler, ağırlıklı olarak tüm ABD şehir ve kasabalarının toplamında üretilen çöpün yaklaşık dokuz katına eşdeğer atık üretmektedir. Bugüne kadar ABD metal madenciliği endüstrisi tarafından üretilen toplam atık cevher miktarı (aşırı yük hariç) muhtemelen 90 milyar tonu aşıyor. Hindistan'da ihtiyatlı bir tahmin, 2006'da aşırı yük oluşumunun (işleme sırasında üretilen atık hariç) 1861 milyon ton olduğunu gösteriyor. Aşırı yük gibi madencilik atıklarının çoğu inert katı malzemeler olsa da, endüstri aynı zamanda doğası gereği zehirli olan atıklar da üretir. Bu toksiklerden bazıları, örneğin cıva, arsenik, kurşun, çinko, kadmiyum vb. gibi ağır metaller cevherde doğal olarak bulunur. Bu ağır metaller depolanan atık yığınlarından sızarak yerel çevreyi kirletir. Bununla birlikte, ekstraksiyon ve işleme sırasında kasıtlı olarak eklendikleri için bazı toksik kimyasallar da atıklarda bulunur. Örneğin altın, "yığın liçi" adı verilen bir teknikle çıkarılır. Altını içeren cevher ezilir, yığınlar halinde istiflenir ve cevherin içinden damlayan siyanür püskürtülür ve altınla birleşir. Ortaya çıkan altın-siyanür solüsyonu yığının tabanında toplanır ve altın ve siyanürün kimyasal olarak ayrıldığı bir değirmene pompalanır. Siyanür daha sonra yeniden

kullanılmak üzere yapay havuzlarda depolanıyor. Her bir süzdürme işlemi birkaç ay sürer ve ardından yığınlara bir kat taze cevher verilir. Bu operasyonların ölçeği ve süresi (genellikle onlarca yıl) göz önüne alındığında, çevredeki ortamın siyanürle kirlenmesi neredeyse kaçınılmazdır. Endüstrinin çabası, siyanürü tesadüfen eşit derecede zehirli olan cıva ile değiştirmek olmuştur.

2001'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki metal madenleri 1.300 ton zehirli atık üretti (tüm ABD endüstrisi toplamının % 46'sı bildirilen tüm arsenik emisyonlarının % 96'sı ve tüm kurşun emisyonlarının % 76'sı dahil). Bu atıklar toprağa veya nehirlere akarsa, yerel çevreyi kirletebilir ve bitki ve hayvan yaşamı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir. Madencilik hemen hemen tüm türleri ve bunların işlenmesi atık malzeme üretir. Bununla birlikte, atık üretiminin miktarı; birikinti oluşumunun doğasına, alanın topografyasına vb. bağlıdır.

### **2.3. MADENCİLİKTE ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ**

Çağdaş dünyanın karşı karşıya olduğu son derece büyük sorunlardan ve temel zorluklardan bazıları kaynak kıtlığı, sürekli artan nüfus ve çevre kirliliğidir. Madencilik endüstrisinin gelişmesiyle, madencilik işletme faaliyetleri giderek daha fazla katı atık üretmiş ve eko-çevre üzerinde giderek daha ağır tahribatlara neden olmuştur. Atık kaya, atıklar ve diğer katı atıklar, maden kaynaklarının işletilmesi sürecinde üretilen en büyük endüstriyel katı atıklardır. Bu atıklar geleneksel olarak kullanılan atık barajlarında depolanırlar. Kaynak kıtlığını ve çevrenin korunmasını telafi etmek için madenlerden çıkan katı atıkların kapsamlı bir şekilde kullanılması, muazzam ekonomik ve sosyal faydalara sahip olacaktır.

Maden katı atıklarının yeniden kullanımı, atık kaya azalımı ve atık kaya ve atık geri dolgusu gibi yeni yöntemlerle atık tahliyesi, arazi işgali ve çevrenin korunması sorununu çözenin etkili bir yoludur. Madencilik ortamını korumak ve yönetmek, geri kazanımı teşvik etmek için, yurtiçinde ve yurtdışında çoğu araştırmacı, bu amacı gerçekleştirmek için katı atıkların kapsamlı kullanımını üzerinde çalışmaktadır.

Atık kaynaklarının kapsamlı kullanımı, madenlerden gelen atıkların önemli bir bertaraf yöntemidir. Gittikçe daha fazla atık sorunuyla karşı karşıya kalan Çin'deki birçok maden, atık deşarjını azaltmak ve çevreyi korumak için çeşitli şekillerde atık ve atık kayaları kaynak olarak kullanmaya başlıyor. Genel olarak, madenlerden çıkan atıkların ıslahı aşağıdaki gibi kategorize edilir:

İnşaat malzemelerinin üretilmesi: Sosyalist ekonominin sürdürülebilir kalkınmasını teşvik etmek için ekili araziye gerçek bir koruma sağlamak amacıyla, Devlet, inşaat malzemesi üretmek için killi toprak madenciliğine kısıtlamalar getirir. Bunun yerine, madenlerden çıkan katı atıkların kullanımına daha fazla dikkat ediliyor. Günümüzde, inşaat malzemeleri üretmek, madenlerden çıkan katı atıkların en büyük geri kazanımıdır. Farklı maden işleme tesislerinde tane inceliğinin çeşitliliği nedeniyle, artıklar daha iri boyuta ve ince boyuta göre sınıflandırılabilir. Çoğu maden için, daha kaba artıklar ince beton agregası olarak kullanılabilir ve ince boyutlu artıklar tuğla yapmak için iyi malzemelerdir. Das ve diğerleri [10] demir artıklarını kullanarak inşaat için yer karosu ve duvar tuğlası yapmayı başardı. Bu tür tuğlalar, geleneksel tuğlalardan daha yüksek bir yoğunluğa ve sertliğe ve daha düşük bir maliyete sahiptir. Atıkların inşaat malzemesi olarak kullanımları şu şekilde açıklanmaktadır: a) İnşaat için duvar tuğlası ve yer karosu yapımında kullanılır; b) Çukurları, mayınlı alanı veya çöküntü alanını doldurmak için kullanılır; c) Toprağın ıslahında kullanılır ve d) Betonun ince agregası ve yapı kumu kullanımı için daha kaba boyutun ayrılması.

Kullanılabilir minerallerin geri kazanılması: Teknolojik durumun değerlendirilmesinin kısıtlanması nedeniyle bazı eski madenlerde işleme geri kazanım oranı daha düşük seviyedeydi. Bu madenlerde maden kaynaklarının kapsamlı bir kullanımı yoktu ve artık rezervuarlarında biriken veya boşaltılan artıklar bol miktarda kullanılabilir mineral elementler içermektedir. Örneğin, Çin'in kuzey doğusunda bulunan Anshan bölgesindeki bazı manyetik demir madeni atıklarındaki demir tenörü yaklaşık %20'dir. Cevher işleme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte atıklardaki kullanılabilir minerallerin geri kazanılabilmesi mümkün hale gelmiştir.

Maden dışı dolgu alanı: Atık kaya ve artıklar, açık ocaktan yer altı madenciliğine geçişte bir madenin dolgu maden sahasında da kullanılabilir. Bu yöntemle arazi kullanım miktarı ve çevre ve eko-çevre üzerindeki etkileri azaltılabilir. Geri doldurma teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, artıklar, atık kaya ve izabe tesisi gibi endüstriden gelen katı atıklar, dolgu malzemeleri olarak kullanılabilir. Açık ocaktan yer altına geçiş yapan bir maden için katı atık bertarafı amacıyla geri doldurma teknolojisine daha fazla dikkat edilmesi çok önemlidir. Geleneksel olarak, bir madende geri doldurma yöntemi kullanıldığında, atık kaya, kuru dolgu malzemesi ve hidrolik geri doldurmanın artıkları olarak kullanılabilir.

Farklı maden atıklarındaki mineral bileşiminin çeşitlerine göre, cam veya gübre üretmek için atıklar kullanılabilir. Bir tür ince boyutlu malzeme olan artıklar, atık kayaların boşluklarını

etkili bir şekilde doldurabilir ve katı atık kullanım miktarını artırabilir. Bu arada, dolgu malzemelerinin yoğunluk derecesini artırabilir ve geçirgenlik katsayısını azaltabilir. Madenlerden çıkan katı atıkların kapsamlı kullanımı, madencilik endüstrisinin gerekli seçimidir ve özellikle çevre korumada muazzam ekonomik ve sosyal faydalar sağlayacaktır.

#### **2.4. BETON**

Beton, bağlayıcı ve dolgu malzemesinden üretilmiş herhangi bir malzeme olarak kabul edilebilir. Bu haliyle, iki veya daha fazla birincil bileşenden oluşan bir kompozit malzemedir. Bileşenlerin her biri, kompozitin özelliklerine ve özelliklerine bir şeyler katar. Beton yapmak için en iyi bilinen bağlayıcı, Sıradan Portland Çimentosu'dur (OPC). Daha az yaygın olarak, bağlayıcı olarak kireç-puzolan çimentosu ve alçı kullanılmıştır. Bazı özel uygulamalar için kükürt, sentetik organik reçineler ve yüksek alümina çimentosu gibi bağlayıcılar da kullanılmıştır. Dolgu normalde betonun çoğunluğunu oluşturur. Betonun iskelet yapısını oluşturur ve bağlayıcı ile bütünsel olarak bağlanarak şekil verilebilen, sertlik ve dayanım kazanabilen bir malzeme meydana getirir. Normalde beton ürünlerinde kullanılan dolgu, topluca agrega olarak bilinen çakıl veya kırma kaya ve kum karışımıdır. Bununla birlikte, kaliteli agrega pahalı olabilir ve topraktan çıkarılması, nehir yataklarından alınırsa tarım arazilerinin kaybına ve hatta suyollarının akışında değişikliklere neden olabilir. Ancak gerçekte, alternatif agregaların çoğu, zeminden çıkarılan geleneksel kaya, taş ve kum agregalarına kıyasla beton için daha düşük özellikler sağladığını kanıtlamıştır. Pirinç kabuğu, talaş ve kırık fındık kabuğu gibi çoğu tarımsal ve bitki atığı, özel yöntemlerle işlem görmedikçe genellikle oldukça düşük kaliteli beton üretir. Kömür yakan elektrik santrallerinden kaynaklanan toz haline getirilmiş yakıt külü (pfa) ve silikon üretiminden gelen silis dumanı gibi birkaç atık, belirli oranlarda kullanıldıklarında geleneksel beton özelliklerini bile iyileştirebilir; esas olarak bu iyileşme atığın, puzolanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

OPC ile yapılan beton, çok çeşitli şekillerde yapmak için çok yönlü bir malzemedir çünkü karıştırıldıktan hemen sonra son derece işlenebilir ve içine döküldüğü kalıbın şeklini alabilir. Normal beton, kum, çakıl veya taş ile çeşitli oranlarda çimentonun ilave su ile karışımından oluşur. Karışımda kullanılan su miktarı ne kadar büyük olursa, o kadar işlenebilir hale gelir. Ancak bu, genellikle su miktarı arttıkça azalan betonun nihai mukavemeti pahasına gelir. Beton karışımları için ağırlıkça su/çimento oranını belirtmek olağandır. Bazı özel uygulamalarda bu aralığın dışındaki oranlar kullanılabilir de, çoğu beton 0,4 ila 0,7 su/çimento oranlarıyla yapılır.

Karışımı yeterince işlenebilir kılmak için su/çimento oranını minimum olarak ayarlamak normaldir, ancak betonun zayıflamasını ve daha az dayanıklı hale gelme riskini önlemek için su/çimento oranı daha yüksek olmamalıdır.

Beton, OPC'nin su ile kimyasal reaksiyonu sonucu sertleşir. Bu oldukça yavaş bir reaksiyondur, ancak daha da önemlisi beton yaklaşık yarım saat sonra sertleşmeye başlar. Bu nedenle, yarım saat veya en geç 40 dakika içinde tüketilemeyecek kadar çok beton yapmak ve daha sonra daha fazla su ekleyerek karışımı daha uygulanabilir hale getirmeye çalışmak yanlış bir uygulamadır. Taze karıştırıldığında bile, özellikle zayıf (düşük çimentolu ve yüksek agregalı) bir karışım kullanılıyorsa, beton hala oldukça sert hissedebilir. Daha sonra basitçe dökülürse kalıbı tamamen doldurmaz ve kalıbın kenarları ve köşeleri boş kalabilir. Betonun kalıbı tamamen doldurması için, ya elle sıkıştırarak köşelere ve kenarlara zorlamak ya da daha iyisi mekanik titreşim ile betona yardım edilmesi gerekir. Beton priz almaya başladığında, betondan yapılan ürünlerin işlenmesi için yeterli dayanıma ulaşması oldukça zaman alır. Bu en az 10 saat, ancak tercihen tam bir gün olmalıdır. Daha sonra çoğu ürün türü, normal kürlenme koşullarında en az yedi gün daha kürlenmeye devam etmek için kalıplarından güvenli bir şekilde çıkarılabilir, ancak tercihen binada kullanılmaya başlanmadan 10 gün önce. OPC ile beton kürlenirken su arasındaki kimyasal reaksiyon ısı üretir. Isıtma betonun kurummasına ve kimyasalın durmasına veya çok zayıflamasına neden olabilir. Bu, betonun düşük mukavemetine neden olabilir. Bu nedenle, kürlenmenin ilk 7 ila 10 günü boyunca beton ürünlerinin nemli kalmasını sağlamak çok önemlidir.

Beton, büyük miktarda doğal kaynak tüketen ve toplam küresel antropojenik karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının %8-9'undan sorumlu olan inşaat sektöründe en yaygın kullanılan malzemedir [18]. Öte yandan artan kentleşme ve sanayileşme, ciddi çevresel sonuçları olan muazzam miktarda atık üretimiyle sonuçlanmaktadır. Bu atıklar düzenli depolama alanlarına atılırsa, bu atıklarda yaygın olarak bulunan toksik ağır metaller (yeraltı suyunu daha da kirletebilir [21]. Bu nedenle atıkların beton gibi büyük endüstrilerde hammadde olarak kullanımı son yıllarda giderek artan bir uygulamadır. Sürdürülebilir çimentolu karışımlar genellikle kalsiyum alümino silikat malzemeleri ve altyapıda kullanılmış olan diğer endüstriyel atıkları içerir. Sürdürülebilirliğe ek olarak, çimento ikamesi olarak tamamlayıcı çimentolu malzemelerin (SCM'ler) kullanılması, malzeme reolojisini, uzun vadeli mukavemet ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirebilir [22,23,24].

## 2.5. MADEN ATIKLARININ BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Literatürde maden atıkları da dâhil olmak üzere birçok endüstriyel atığın beton imalatında başarıyla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, demir cevheri artıkları birçok araştırma tarafından betonda ince agrega ikamesi için kullanılmıştır.

Madencilik atıklarının beton özellikleri üzerinde çeşitli etkileri olabilir. Bu etkiler maden atıklarının kimyasal bileşiminden ve beton malzemelerle etkileşiminden kaynaklanabilir. Maden atıklarının beton özellikleri üzerindeki bazı potansiyel etkileri şunlardır:

Alkali-silika reaksiyonu (ASR): Bazı maden atıkları, çimentoda bulunan alkalilerle reaksiyona girebilen kuvars veya kalsedon gibi reaktif mineraller içerir. Bu reaksiyon, jel benzeri bir maddenin oluşumuna yol açarak zamanla betonun genişmesine ve çatlamasına neden olabilir. Böylece, ASR, beton yapıların dayanıklılığını ve hizmet ömrünü azaltabilir.

Sülfat saldırısı: Madencilik atığı, havaya ve suya maruz kaldığında oksitlenebilen ve sülfürik asit üretebilen pirit gibi sülfür mineralleri içerebilir. Sülfürik asit, betonun çimentolu malzemeleriyle reaksiyona girerek etrenjit gibi genişleyen bileşiklerin oluşumuna yol açabilir. Bu sülfat saldırısı, betonun mukavemetinin ve bütünlüğünün bozulmasına neden olabilir.

Ağır metal sızıntısı: Madencilik atığı, su veya nem ile temas ettiğinde çevredeki ortama sızabilen kurşun, cıva, kadmiyum ve arsenik gibi ağır metaller içerebilir. Beton bu tür kirli suya maruz kalırsa, bu ağır metaller beton matrisine nüfuz ederek beton özelliklerinin bozulmasına ve potansiyel çevre kirliliğine yol açabilir.

Azaltılmış mukavemet ve dayanıklılık: Maden atıklarının doğasına bağlı olarak, betonda bulunması, malzemenin mukavemetini ve dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Madencilik atıkları, çimentonun uygun hidrasyonunu engelleyebilecek ve betonun mukavemetini azaltabilecek ince parçacıklar içerebilir. Ayrıca betonun gözenekliliğini artırarak onu nem girişine, donma-çözülme hasarına ve kimyasal saldırılara karşı daha duyarlı hale getirebilir.

Yer altı suyu kirliliği: Maden atıklarının uygun olmayan şekilde bertaraf edilmesi veya yönetimi, yer altı suyunun kirlenmesine neden olabilir. Maden atığı betonun bir bileşeni veya dolgu malzemesi olarak kullanılırsa, atıktan yer altı sularına zararlı maddelerin sızması meydana gelebilir. Bu kirlenme insan sağlığı ve ekolojik sistemler için risk oluşturabilir.

Bu etkileri azaltmak için madencilik atıklarının uygun yönetimi ve bertarafı çok önemlidir. Etkili çevreleme sistemleri, arıtma yöntemleri ve yönetmelikler, zararlı maddelerin çevreye salınmasını en aza indirmeye yardımcı olabilir. Ek olarak, beton üreticileri, madencilik atıklarının beton özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indiren alternatif malzemeleri ve karışım tasarımlarını keşfedebilir.

## **2.6. MADEN ATIKLARININ FARKLI SEKTÖRLERDE DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

Maden atıklarının farklı sektörlerde kullanımı ile ilgili çalışmalar literatürden derlenmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Aukour (2009) tarafından eko-blokların veya çimento tuğlalarının üretiminde mermer çamurunun kullanılması incelenmiştir. Numuneler hava ile kurutulmuş çamur, kireçtaşı çakıl ve siyah çimento kullanılarak hazırlanmıştır. Kurutulduktan sonra numuneler kür için suya batırılmıştır. Numuneler 28 gün sonra 7,8 MPa basınç dayanımı ve %7 su absorpsiyonu gösterdi. Yazar, hazırlanan blok numunelerinin sonuçlarının Ürdün standardını karşıladığı, bu şekilde üretilen numunelerin ticari yapı taşlarına kıyasla daha iyi özellikler gösterdiği sonucuna varmıştır [25].

Gnanavel ve arkadaşları (2009) granit ve mermer testere tozu atıklarının yapı tuğlalarının formülasyonunda kullanımını araştırdılar. Mermer ve granit atıkları ile ham kil (%0-50) karıştırılarak numuneler işlenebilir kıvamda hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler daha sonra 2 saat boyunca 500 ila 900 °C'de sinterlenmiştir. Test sonuçları, 0,6- 1,2 MPa basınç dayanımı, 12,5-22 % su emme, 1,79-1,93 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk ve 0,1-0,6 MPa eğilme dayanımı gösterdi. Yazarlar, kil tuğlalara mermer ve granit atığının eklenmesinin hazırlanan tuğlaların özellikleri üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu gözlemlediler [26].

Ergün (2011) tarafından atık mermer tozunun betonun mekanik özellikleri incelenmiştir. Beton numuneleri çimento (270-285 kg/m<sup>3</sup>), atık mermer tozu (15-30 kg/m<sup>3</sup>), süper akışkanlaştırıcı (3 kg/m<sup>3</sup>), nehir kumu (312,3 kg/m<sup>3</sup>) ve (507.7-565 kg/m<sup>3</sup> kırmataş kullanılarak hazırlanmıştır. Beton numunesi küp (100 x 100 x 100 mm) ve kiriş (100 x 100 x 300 mm) kalıplara dökülmüştür. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarıldı, ardından 20 °C'de kireçle doymuş suda kürlendi. Bu numuneler, 31,1-39,4 MPa'lık bir basınç mukavemeti ve 5-5,3 MPa'lık bir eğilme mukavemeti gösterdi. Ayrıca, kısmi çimento ikamesi olarak %5 atık mermer tozu içeren

beton numunelerinin, kontrol beton numunesine göre daha yüksek basınç dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir [27].

Gencel ve diğerleri, (2012) tarafından mermer atıklarının beton finişer bloklarının özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla agrega kısmen atık mermer ile değiştirilmiştir. Parke taşı numunesi çimento ( $400 \text{ kg/m}^3$ ), mermer atığı (% 0-40), ince agrega ( $505-907 \text{ kg/m}^3$ ), iri agrega ( $509-913 \text{ kg/m}^3$ ) ve su (192-240) kullanılarak hazırlanmıştır. Numuneler  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve % 65 bağıl nemde kürlendi. Numuneler, 30 MPa (yaklaşık) basınç dayanımı, 5,25 (yaklaşık) su emme ve 3,7 MPa (yaklaşık) çekme dayanımı gösterdi. Beton parkedeki atık mermerin agrega yerine daha iyi uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır [28].

Hebhoub ve arkadaşları (2011) tarafından betonda doğal agrega ikamesi olarak atık mermerin kullanımını incelemiştir. Beton numuneleri, kırma doğal çakıl, beyaz mermer ocağı atıkları, doğal kum ve çimento ( $350 \text{ kg/m}^3$ ) kullanılarak sabit su/çimento oranında (0,5) üretilmiştir. Doğal agrega %25, %50, %75 ve %100 oranında geri dönüştürülmüş agrega (mermer atığı) ile ikame edilmiştir. Numuneler, 20-33 MPa (yaklaşık) basınç dayanımı, % 2,45-2,47 (yaklaşık) su emme ve 2,5-3,8 MPa (yaklaşık) çekme dayanımı göstermiştir. Yazarlar, doğal agreganın mermer atığı ile ikame edildiğini bildirmiştir. Bu konuda ortaya çıkan sonuç, agrega beton direnci için %75'e kadar faydalıdır ve %75 çakıl ikamesinde betonun basınç dayanımı kazancı %25,08'dir [29].

Omar ve diğerleri (2012) tarafından ince agreganın kısmi ikamesi olarak kireçtaşı atığı ve mermer tozunun etkisi incelenmiştir. Beton numuneleri çimento ( $350-450 \text{ kg/m}^3$ ), kireçtaşı atığı (%25-75) ve mermer tozu kullanılarak hazırlanmıştır (%5-15). Karışım, 0,47 sabit su-çimento oranına ve 90-110 mm aralığında sabit bir çökmeye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Test sonuçları, 35,2-40,6 MPa'lık basınç dayanımı, 6,2 MPa'lık eğilme dayanımı ve 4,1 MPa'lık çekme dayanımı göstermiştir. Kireçtaşı atığının %50 oranında değiştirilmesinin 28 günde basınç dayanımını yaklaşık %12 arttırdığı bulunmuştur [30].

Ahmet ve arkadaşları (2013) tarafından çeşitli ağırlık oranlarında mermer çamuru silika ilave edilerek hazırlanan doğal kauçuk hibrit kompozitini incelemiştir. Numune hazırlama için, her 100 kauçuk toplam dolgu yüklemesi için 60 parça ile iki merdaneli değirmen bileşimi gerçekleştirilmiştir. Kompozit numuneler  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de vulkanize edildi. Hazırlanan numunelerin test sonuçları, 0,73- 2,04 MPa ve çekme mukavemetinin 5,08- 23,12 MPa olduğunu gösterdi.

Yazarlar, mermer işleme endüstrisinden gelen mermer çamurunun doğal kauçuk bileşiklerinde dolgu maddesi olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır [31].

Bacarji ve diğçerleri, (2013) tarafından incelenen betonda değişken su-çimento oranlarında çimento ikamesi olarak mermer ve granit tozu kalıntısının uygulanabilirliğine bakılmıştır. Bu çalışmada beton numuneleri mermer granit kalıntısı (%0-20), çimento ( $277\ 450\ \text{kg/m}^3$ ), 0,50 ve 0,65 efektif su/çimento oranlarına sahip ince agrega ( $699.3\text{-}770.7\ \text{kg/m}^3$ ) ve iri agrega ( $937.9\text{-}953.5\ \text{kg/m}^3$ ) hazırlanmıştır. Dökümden sonra numuneler, 21 °C sıcaklıkta %75 bağıl nem ile nemli bir odaya taşındı. Sonuç olarak numuneler, 15,5-31,5 MPa'lık bir basınç dayanımı ve %6-7,8 su emme göstermiştir [32].

Aliabdo ve diğçerleri (2014) tarafından betonda mermer atıklarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu araştırma, kum yerine çimento içeren betonun özelliklerini araştırmıştır. Beton numuneleri çimento ( $340\text{-}400\ \text{kg/m}^3$ ), mermer tozu (%0-15), kum ( $581\text{-}726\ \text{kg/m}^3$ ), iri agrega ( $1021\text{-}1028\ \text{kg/m}^3$ ) ve su ( $160\text{-}200\ \text{kg/m}^3$ ). Test sonuçları, 34,5-53 MPa'lık bir basınç mukavemeti ve 3,7-4,5 MPa'lık bir gerilme mukavemeti gösterdi. Mermer tozu ile modifiye edilmiş harcın kontrol örneğine göre %5 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu (%15 mermer tozu) görülmüştür [33].

Talah ve diğçerleri, (2015) tarafından yüksek performanslı betona mermer tozu eklenmesi incelenmiştir. Numuneler çimento ( $340\ \text{kg/m}^3$ ), mermer tozu ( $60\ \text{kg/m}^3$ ), kum ( $788\ \text{kg/m}^3$ ), çakıl ( $1049\ \text{kg/m}^3$ ) ve su ( $200\ \text{kg/m}^3$ ) olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler referans beton (mermer tozu içermeyen) ile karşılaştırılmıştır. Yüksek performanslı mermer tozu beton için dayanım değerleri 49 ile 65 MPa arasında, referans beton için ise 26 MPa ile 48 MPa arasında değişmektedir. Sonuç, mermer tozu ile basınç dayanımında kesin bir gelişme olduğunu gösterdi [34].

Sütçü ve diğçerleri, (2015) tarafından atık mermer tozu ilavesi ile pişmiş kil tuğlaların yapı malzemesi özellikleri incelenmiştir. Tuğla numunesi kil (%65-95), mermer atığı (%5-35) ve su (yaklaşık %15) ve 40 MPa basınçta bir hidrolik pres kullanılarak sıkıştırıldı ve 950 ve 1050 °C'de sinterlendi. Numuneler, 6,2-34,2 MPa'lık bir basınç dayanımı, %10.9-26.9 su emme ve  $1.59\text{-}2.05\ \text{g/cm}^3$  yoğunluk gösterdi. 950 C ve 1050 °C'de pişirilen %30 mermer atığı içeren tuğlalar, 8,2 ila 32,1 MPa arasında yeterli basınç dayanımı sergilemiştir [35].

Tennich ve diğeri (2015) tarafından mermer atığının kendiliğinden yerleşen betona dolgu maddesi olarak dahil edilmesini incelemiştir. Beton, çimento ( $350 \text{ kg/m}^3$ ), çakıl ( $794,8-824,6 \text{ kg/m}^3$ ), kum ( $786-815 \text{ kg/m}^3$ ) mermer atığı ( $100-200 \text{ kg/m}^3$ ) ve süperakışkanlaştırıcı (%1) kullanılarak hazırlanmıştır. Beton numuneleri 24 saat kalıpların dökümünde tutuldu ve ardından 20 C'de suda kürlendi. Numune 35,5 MPa basınç dayanımı gösterdi. Kendiliğinden yerleşen betona mermer atık dolgu ilavesinin basınç dayanımını yaklaşık %6,7 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir [36].

Mashaly ve diğeri (2015) tarafından, çimento ( $210 - 315 \text{ kg/m}^3$ ), mermer çamuru ( $35 - 140 \text{ kg}$ ) kullanılarak beton numunelerinin hazırlandığı bir başka çalışmada, mermer çamuru atıklarının beton parke bloklarının farklı özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada ince agrega ( $660 - 695 \text{ kg/m}^3$ ) ve iri agrega ( $1140 - 1175 \text{ kg/m}^3$ ) kullanılmıştır. Hem çimento hem de mermer çamuru optimum su içeriği (su/çamur oranı  $0,48 - 0,91$ ) ile karıştırılmıştır. Daha sonra beton karışımı  $200 \times 100 \times 60 \text{ mm}$  boyutlarında beton üniteler üretmek üzere kalıplanmış ve mekanik vibratör ile paketlenmiştir. 24 saat içinde kalıptan çıkarıldıktan sonra beton numuneler plastik levha kullanılarak kürlenmiştir. Test sonuçları,  $26,42 - 36,60 \text{ MPa}$  basınç dayanımı, %7,8 – %9,9 su emme ve  $2,12 - 2,15 \text{ g/cm}^3$  beton yoğunluğu tespit edilmiştir [37].

Soğancıoğlu ve arkadaşları (2015) tarafından mermer atıklarından oluşan traverten atık suyunun atık fizikokimyasal arıtma çamurunun betonun özelliklerine etkisi incelenmiştir. Beton numunesi, çimento esaslı malzeme (çimento), iri agrega, ince agrega, su ve şap çamuru, noniyonik flokülant çamuru ve sodyum alüminat çamuru katkısı kullanılarak hazırlanmıştır. Beton  $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ 'lik kübik kalıplarda kalıplandı ve kalıptan çıkarma işleminden sonra numuneler 25 °C'de suda kürlenmek üzere yerleştirildi. Test sonuçları önemli basınç dayanımı ( $21-29 \text{ MPa}$ ), su emme (%2,6-3,59) ve yoğunluk gösterdi. ( $2.16-2.28 \text{ g/cm}^3$ ). Arıtılmış traverten çamurunun betonda katkı olarak kullanılmasının %12-15'e varan dayanım kazandırdığı da tespit edilmiştir [38].

El-Alfi ve Gado, (2016) tarafından Kalsiyum sülfat-alüminat-belit çimentosunda ana hammadde olarak mermer çamuru atıklarının kullanımı incelenmiştir. Ham karışım bileşiminin farklı yakma sıcaklıklarındaki etkisini araştırmışlardır. Numuneler kaolin (%15-25), alçıtaşı (%20) ve mermer çamur atığı (%55-65) kullanılarak hazırlanmıştır. Düşük miktarda su (yaklaşık %5) kullanılarak kimyasal oksitlerle kalın macun yapıldı ve daha sonra bir basınç ( $50 \text{ MPa}$ ) altında kalıplandı, ardından kurutuldu ve ( $1150-1250 \text{ °C}$ )'de fırımlandı. Test numuneleri  $1,80-1,90$

g/cm<sup>3</sup> kütle yoğunluğu, %14,85-24,53 görünür gözeneklilik ve 9,86-36 MPa basınç dayanımı gösterdi. 1250 °C'de hazırlanan numunenin maksimum sülfoalüminat-belit fazları ile hidrasyon işlemi sayesinde en iyi yanma kabiliyeti ve iyi bir mukavemet verdiği tespit edilmiştir [39].

Sadek ve diğerleri (2016) tarafından betonda mineral katkı maddesi olarak mermer ve granit tozunun kullanımını incelemiştir. Numuneler çimento (400 kg/m<sup>3</sup>), silis dumanı (40 kg/m<sup>3</sup>), mermer tozu (160-200 kg/m<sup>3</sup>), granit tozu (160-200 kg/m<sup>3</sup>), iri agrega (797-200 kg/m<sup>3</sup>) kullanılarak kalıplar hazırlanmıştır. Kalıptan çıkarma işleminden sonra, numuneler su tankında 20 °C'de kürlenmiştir. Test sonuçları, 39 MPa basınç dayanımı, %3,84 su emme, 9 MPa (yaklaşık) eğilme dayanımı ve 3 MPa (yaklaşık) çekme dayanımı göstermiştir. Ayrıca örneklerin basınç dayanımının sırasıyla %30, %40 ve %50 mermer tozu içeriği ile sırasıyla %1,7, %3,9 ve %9,5 arttığı tespit edilmiştir [40].

Kore ve Vyas (2016) tarafından mermer atıklarının (kaba agrega) yağsız çimento betonunun farklı özellikleri üzerindeki etkisi Kore ve Vyas 2016 tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada geleneksel iri agrega, farklı oranlarda mermer agrega ile değiştirilmiştir. Beton numuneleri çimento (310 kg/m<sup>3</sup>), kum (646,87 kg/m<sup>3</sup>), doğal iri agrega (0-1170,85 kg/m<sup>3</sup>), mermer iri agrega (0-1170.85 kg/m<sup>3</sup>) ve su (191,91 l/m<sup>3</sup>) kullanılarak hazırlanmıştır. Beton karışımı üç katman halinde kalıplara dolduruldu ve her katman Hindistan standardına (BIS: 516-1959) göre titreşimli masa üzerinde sıkıştırıldı. Test sonucu, 15,98-19,95 MPa'lık basınç dayanımını gösterdi [41].

Dattatraya ve Vyas (2016) tarafından yapılan çalışmada mermer atıkları kullanılarak betonun performans değerlendirmesi yapılmıştır. Test numunelerinin basınç dayanımını ve geçirgenliğini belirlemek için beton bileşenleri bir karıştırıcıda karıştırılmış ve 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarında küpler dökülmüştür. Tüm numuneler 24 ± 1 saat yaşta kalıptan çıkarılmış ve daha sonra su tankında oda sıcaklığında testin belirtilen yaşına kadar kürlenmiştir. Taze hazırlanmış beton karışımı üzerinde çökme konisi testi, betonun işlenebilirliğini ölçmek için BIS 11992'ye göre yapılmıştır. Beton numunelerinin basınç dayanımı, BIS: 516-1959 'e göre 7 gün, 28 gün, 90 gün ve 180 günlük kür yaşlarında belirlenmiştir. Betondaki gözenekliliği değerlendirmek için, Alman standardı DIN -1048 bölüm 5-1991'e göre su geçirgenlik testi yapılmıştır. Test numuneleri Su emme testinin belirlenmesi için 100 mm x 100 mm x 100 mm küpler dökülmüştür. Bu test, BIS 15658:2006 'ye göre yapılmıştır. Betonun homojenliğini ve

kalitesini değerlendirmek için ultrasonik darbe hızı testi BIS 13311 1992'e göre yapılmıştır. Aşınmaya karşı direnç, standart test koşulları altında betonun aşınma derinliği cinsinden ölçülmüştür. 100 mm beton küplerin test numuneleri üzerinde BIS 1237: 1980'ye göre gerçekleştirilmiştir. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi, bir karışımın bileşenlerini ayırmak ve fonksiyonel grubu bilmek için kullanıldı. Betonun yüksek sıcaklıktaki davranışını incelemek için Termo Gravimetrik Analiz (TGA) yapıldı [42].

Buzkan ve Erman (2020) yaptıkları çalışmada flotasyon atıklarının, çimento ve suya dayalı olarak farklı bileşimlerin sentezlenmiş ve analiz edilmiş örneklerinin sonuçlarını sunmaktadır. Kimyasal ve mineralojik testler için kullanılan yöntemler, endüktif olarak eşleştirilmiş plazma atomik emisyon spektroskopisini (ICP-AES), atomik absorpsiyon spektroskopisini (AAS), X-ışını kırınım analizini (XRD) ve nefelometrik bulanıklık birimlerini (NTU'lar; türbidimetri) içerir. %5 çimento, %24 su ve %71 flotasyon artıklarından oluşan CPB ile hazırlanan sonuçlar en kabul edilebilir sonuçlardı. Analiz edilen sonuçlara göre, %5 çimento ve %71 yüzdürme tortusu ile sentezlenen flotasyon artığı numunesinin en iyi olduğu kanıtlanmıştır. Sentezlenen çimento hamurunun 28 gün sonra basınç dayanımı 1,123 MPa olup, gerekli olan 1-1,5 MPa basınç dayanımının başlangıç koşulunu karşılamaktadır. Elde edilen sonuçlar mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikler ve mekanik özellikler gösterdi ve madencilik ve yeraltı suyu korumasında yeni sentezlenen malzemelerin kalitesini ve uygulamasını iyileştirmek için doğal katkı maddelerinin eklenmesiyle macun sentezinde gelecekteki araştırmalara devam edilmelidir [43].

Benahsina, Haloui, Taha ve Elomari (2021) yaptıkları çalışmada beton üretimi için bakır madeni atık kayaları ile doğal kum ikamesi incelenmiştir. Madencilik endüstrisi tarafından üretilen atık kayaların yönetimi, yüksek miktarı, çevresel etkisi, insan sağlığı riskleri ve yüksek bertaraf maliyetleri nedeniyle küresel bir endişe haline gelmiştir. Bu nedenle, bu israfı doğru yönetmek için etkili ve sürdürülebilir çözümler geliştirmek gerekli hale geliyor. Bu çalışmada, bakır madeni atık kayalarının (CMWR) C25 beton kategorisinde (28 günde 25 MPa) doğal kum yerine kullanılmasının fizibilitesi değerlendirilmiştir. İlk aşamada CMWR'nin fiziksel, kimyasal, mineralojik, jeoteknik ve çevresel karakterizasyonları yapılmıştır. Daha sonra, referans beton (CM-0), CMWR esaslı %50 (CM-50) ve %100 (CM-100) doğal kum ikameli CMWR kumu olmak üzere üç beton karışımı tasarlanmış ve hazırlanmıştır. Beton numuneleri, her karışımın mekanik performansını ve dayanıklılık tahminini değerlendirmek için test edildi. Sonuçlar, CMWR kumunun fiziksel-mekanik ve jeoteknik özelliklerinin beton üretiminde

kullanılan doğal kuma çok yakın olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çevresel bulgu, CMWR'nin tehlikeli olmayan malzemeler olarak sınıflandırıldığını doğruladı. Ayrıca, CMWR bazlı betonlar, tüm değiştirme seviyelerinde C25 beton kalitesi standardının gereksinimlerini karşıladı. Mekanik dayanım açısından değerler, standardın gerektirdiğinden (25 MPa) daha yüksekti. Betonun dayanıklılığını etkileyen su emme oranı ise standardın gerektirdiği sınırın (%6) altında kalmıştır. CMWR'nin betonda doğal agregaların yerini alacak şekilde yeniden kullanılmasıyla çevre sorunları, maliyetler ve doğal kaynakların tükenmesi en aza indirilebilir [44].

Macuchi ve ark (2022) yaptıkları çalışmada Ekvador'un üç zanaatkar ve küçük ölçekli altın madenciliği alanında bulunan MEL ile ilgili çevresel risk (RI) incelenmiştir. Bu kapsamda maden alanlarından düzenli depolama sahaları, maden galerileri, atık yatakları ve maden işleme tesislerini içeren 167 MEL'in verileri analiz edilmiştir. Atık birikintilerinin varlığına ilişkin risk değerlendirmesi, İspanyol Jeolojik Araştırması tarafından önerilen metodolojiye dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Peru Çevre Bakanlığı Çevresel Risk Değerlendirme Rehberinde atık olmayan tortular için belirtilen prosedür uygulandı. En yüksek RI değerleri Puyango ve Tenguel–Ponce Enriquez'de belirlendi. Böylece her ikisi de müdahale ve rehabilitasyon planları gerektiren öncelikli kontrol alanları olarak kategorize edilmiştir. Yüksek düzeyde müdahale gerektiren MEL, potansiyel olarak toksik elementlerle ilişkili atık birikintilerini ve maden girişlerini içerir. Ayrıca, nokta risk haritaları, incelenen alanlardaki nehirlerin potansiyel bir kirlilik riski taşıdığını göstermiştir. Bu çalışma, Ekvador'daki madencilik alanlarında MEL ile ilişkili risk seviyelerini sağlar. Bu bilgi çevre yönetimi ve kirliliğin azaltılması için kullanılabilir [45].

Gupta ve Chaudhary (2022) yaptıkları çalışmada çinko madeni atıkları içeren betonun mekanik özellikleri ve dayanıklılık performansı deneysel ve istatistiksel analiz yoluyla araştırılmıştır. Bu kapsamda mekanik olarak işlenmiş ve işlenmemiş çinko atık atıkları, beton üretiminde çimento ikamesi olarak kullanılmıştır. Beton numuneleri, çimento (%0, %5, %10, %15 ve %20) mekanik olarak işlenmiş ve işlenmemiş çinko madeni atık atıkları ile değiştirilerek üretilmiştir. Çinko madeni atıklarının etkisi, çeşitli mekanik (basınç mukavemeti ve elastik modül) testleri, dayanıklılık (ultrasonik darbe hızı, su emme, klorür penetrasyonu, karbonatlaşma, sülfat saldırısı) testleri yapılarak araştırılmıştır. Mikroyapı analizi için ayrıca beton numuneler üzerinde X-ışını kırınım (XRD) analizi ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yapılmıştır. Yapılan çeşitli testlere göre, tüm beton özellikleri, mekanik olarak işlenmiş çinko atık atığı ile

betonda %5 çimento ikamesinde karşılaştırılabilir sonuçlar göstermiştir. Bununla birlikte, çinko atık betonunun, kontrol betonundan daha fazla sülfat direnci olduğu gösterilmiştir. Test bulguları, çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmak için betonda çimento yerine %10 mekanik işlem görmüş ve %5 işlenmemiş çinko atığının kullanılmasının uygun olduğunu göstermektedir [46].

Ateş (2022) yaptığı çalışmada yapay zeka algoritmalarında kullanılan tahmin metotları ile çimento ve betonunun basınç dayanımına etki eden faktörleri incelenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasına yön veren incelenen diğer araştırmalarda beton ve çimento için basınç dayanımına etki eden faktörleri göz önünde bulundurulmasıdır. Çalışma sonucu olarak basınç dayanımının istenilen düzeyde olması için su ve çimento oranının 0,7-0,8 aralığında olması gerekmekte olduğu belirtilmiştir [47].

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. ÇALIŞMA SAHALARI

Madencilik atıklarının farklı sektörlerde değerlendirilmesi ile ilgili çalışmaları yapmak için tez konusunu kapsayan birkaç çalışma sahaları önceden belirlenmiştir (Tablo 3.1).

**Tablo 3.1.** Çalışma sahaları.

İşletme adı	Atık türü	Konum
Çöpler altın madeni	Altın	İliç/Erzincan
Balya kurşun-çinko işletmesi	Kurşun-çinko	Balya
Küre Bakır	Bakır	Kastamonu
Sivas demir export	Demir	Şekerpınar/Kangal
Balıkesir bandırma bor karbür üretim tesisi	Bor	Bigadiç/Balıkesir
Trakya bölgesi silis işletmeleri san. ve tic.ltd.şti.	Silis kum	Çatalca/İstanbul
TKİ Ege Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü	Kömür	Manisa- Soma

Bu sahalarda yapılan çalışmalar, şartlara ve seçilen malzemelere göre farklı boyutlarda incelenmiştir. Saha çalışmaları kapsamında; madencilik atıklarının farklı sektörlerde değerlendirilmesinin detaylı olarak ele alınması, maden atıklarından alınan örneklerin analiz değerlerinin araştırılması ve ileride maden atıklarının özelliklerinin etkilerini ortaya konulmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

##### 3.1.1. Altın Sahası

Tez konusuyla alakalı altın sahası olarak Erzincan bölgesindeki Çöpler Altın İşletmesi seçilmiştir. Çöpler, Türkiye'nin doğusunda, Erzincan ilinde bulunan dünya çapında bir epitermal altın-gümüş-bakır madeni yatağıdır (Şekil 3.1). 1999 yılında keşfedilen Çöpler Maden'inde ilk altın 2010 yılında döküldü ve bugüne kadar son on yılda yaklaşık 2 Moz altın üretilmiştir.



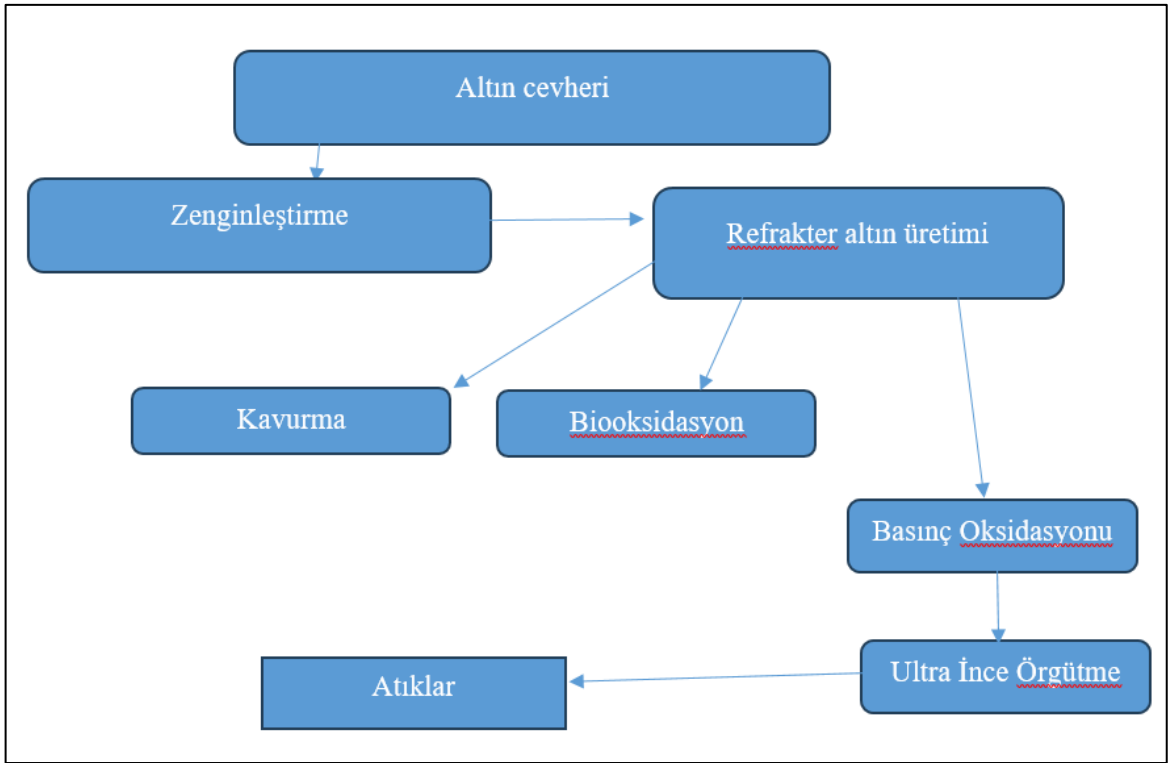
**Şekil 3.1.** Çöpler altın işletmesi.

Çöpler Maden Şirketi Anagold; Alacer Gold ile Lidya arasında kurulmuş bir iştirak şirkettir. Çöpler, sırasıyla yığın liçi işlemi ile oksit cevherinden ve basınçlı oksidasyon devresi (POX) yöntemi ile sülfürlü cevherinden altın elde eden bir açık ocak maden işletmesidir. POX tesisi Türkiye'deki altın üretimi açısından bir ilk olması ile dünyadaki sayılı POX tesislerinden de birisidir.

İnceleme alanı içinde ve yakın çevresinde; altın, mangan, bakır ve krom cevherleşmeleri bulunmaktadır. Çalışma alanı çevresinde yer alan mangan, demir ve krom yatakları Efe (1987) tarafından tepe veya mevki isimleri kullanılarak; Acıkavak, Belen Tepe, Ağbaba, Yeniçeşme Demir Yatakları, Çöpler Mangan Yatağı ve Çaltı Krom Yatağı şeklinde isimlendirilmişlerdir. Çöpler Altın Yatağı'nda bulunan cevherli kısımlar; işletmeci şirket çalışanları tarafından Çöpler Granitoyiti ile Munzur kireçtaşı dokunağı boyunca; mangan yatağının olduğu kısım (Mangan Yatağı zonu), ana cevherleşmenin geliştiği kısım (ana zon) ve son olarak kristalize kireçtaşlarının yoğun olduğu kısım (mermer zonu) şeklinde 3 farklı zona ayrılmıştır.

Yeraltı ve açık ocaklardan stoklanan cevher, proses tesisindeki primer kırıcıya beslenir. Kırılmış kaya daha sonra değirmene gider. Daha kaba malzeme alta düşer ve kırma/öğütme döngüsüne geri dönerken, daha hafif malzeme yukarı doğru döner ve bir sonraki aşamaya itilir. Flotasyon ünitesi hücreleri, altın içeren cevheri atık kayadan ayırmak için ilk fırsattır. Çıkarılan ana malzeme sülfür cevheridir (altın parçacıkları içerir). SIBX (Sodyum İzobütül Ksantat) bulamacın içine pompalanır ve altın parçacıklarının kaya içindeki kükürtle bağlanmasına neden olur. Bulamacı karıştırmak ve altın bağlı sülfürü tankların üstünden bir sonraki aşamaya

geçirmek için hava kullanılır. Bu işlem, altın içeren cevheri konsantre etmek ve onu atık kayadan ayırmak için tekrarlanır (cevherin derecesini yükselterek). Yüzdürme üniteleri sahada toplanan altının %70'ini yakalar, diğer %30'unu birincil kaba işleyenler toplar. Altın içermeyen bulamaç nötrale edilerek atık barajına gönderilir. Konsantre koyulaştırılır ve daha sonra kükürt ve altın arasındaki bağları kırmak için otoklava beslenir ve doğal oksitlenmeyi taklit eder. Altın, basınç altında oksijen ve kükürt arasındaki reaksiyon yoluyla serbest bırakılır. Reaksiyon başladığında, taze bulamaç otoklava beslenir ve oksitlenmiş bulamaç çevrimin bir sonraki aşamasına boşaltılır. Oksitlenmiş bulamaç, altını kayadan eritmek için karbon liç devresine gider (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Altın üretim akım şeması.

### 3.1.2. Kurşun Çinko sahası

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi içinde Balıkesir-Çanakkale ve Balıkesir-Gönen devlet karayolları kavşağında, Balıkesir il merkezinin 49 km kuzeybatısındaki Balya İlçesi sınırları içinde yer alan Balya Kurşun-Çinko madeni çalışma sahası olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).

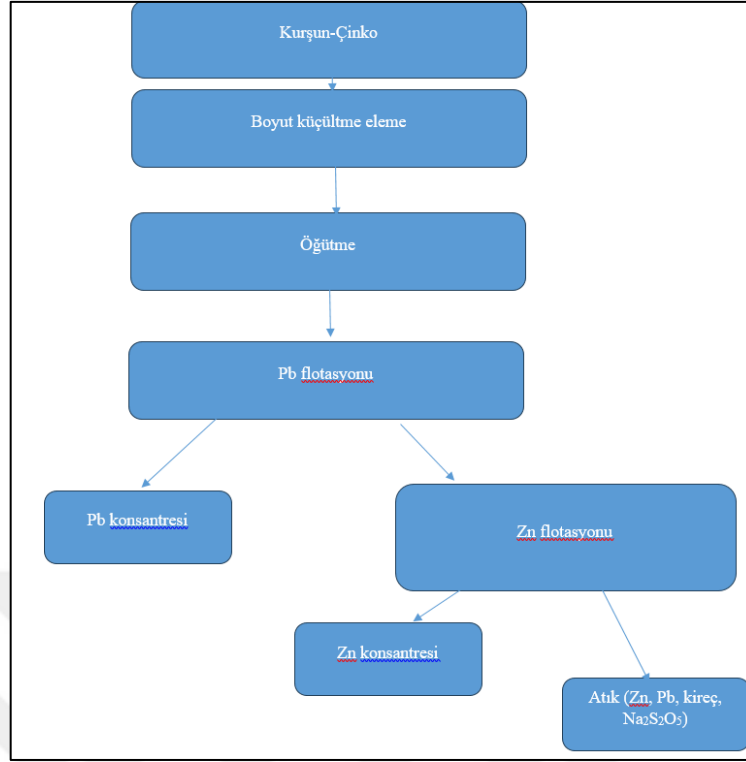


**Şekil 3.3.** Balya Kurşun-Çinko işletmesi.

Dünyanın büyük kurşun-çinko maden yataklarından birine sahip olan Balya Cumhuriyet tarihi madenciliklerinin başlangıç noktası olarak gösterilebilir. Balya maden yatağının işletme geçmişi çok eskidir. Özellikle 20. yy'da oldukça hareketli ve sorunlu bir süreç yaşandığı anlaşılmaktadır. Balya madeninin antik çağlardan beri zaman zaman kurşun madeni olarak ve özellikle de içerdiği yüksek gümüş metali için işletildiği, günümüze kadar gelen yeraltı ve yerüstü kalıntılarından anlaşılmaktadır. Balya yöresinde, yabancı bloklar oluşturan Permiyen yaşlı kireçtaşı, Triyas yaşlı miltaş-kumtaşı çakıltaşı araldanması ve Tersiyer yaşlı volkanitlerden kurulu bir jeoloji yapısı bulunmaktadır. Kireçtaşları iki ayrı konumda görülmektedir. Bunların bir bölümü, kendilerinden daha genç Triyas tortullarının içinde bloklar biçiminde yer alırken; bir bölümü de, Triyas istifinin üzerine taşınarak yerleşmiş durumda durmaktadır. Kıltaşı-miltaş-kumlu kireçtaşı araldanmasından oluşan Triyas'ın tavanında da bir tavan çakıltaşı tabakası yer almaktadır. Tersiyer ise volkanitlerle temsil edilmektedir. Bunlar çok altere dasit ve riyalitlerden oluşmaktadır. Volkanik etkinliklerin KD-GB doğrultusunda uzanan faylarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu kaya istifi Kırmızı Tepe'den geçen KD-GB uzanımlı "Büyük Fay" ile kesilmektedir. Düşeye yakın duruşlu bu fayın cevherleşmeyi de yönlendirdiği düşünülmektedir.

Balya Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni'nde kes-doldur madencilik yöntemi uygulanmaktadır. Balya Kurşun-Çinko Madeni, 1940 yılına kadar Fransız şirketleri tarafından işletilmiş ve bu süre boyunca yaklaşık 1,5 milyon ton işletme artığı birikmiştir. Yöredeki özel sektör zenginleştirme tesislerinde bazı artıklar kullanılmış olsa da şu anda artıkların bir kısmı Etibank'ın ruhsatı altında bulunmaktadır. Etibank, Balya Kurşun-Çinko Yatağını tekrar işletmek amacıyla çalışmalara başlamış ve ilk aşamada bu artık yığınlarını finansman kaynağı olarak değerlendirmeyi düşünmektedir. Bu nedenle, beş ayrı artık yığınının değerlendirme olanaklarının araştırılması istenmiştir. MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi'nde, beş yığından alınan temsili örnekler üzerinde zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır [48].

Kurşun-çinko madenin işlenmesi süreci, bir dizi aşamadan oluşur: İlk aşamada, maden cevheri kırıcılar ve öğütücüler kullanılarak boyut küçültülür. Ardından elekler yardımıyla öğütülmüş malzeme farklı boyutlara ayrılır. Eleme sonrası malzeme daha fazla öğütülür. Bu genellikle bilyalı veya çubuk değirmenlerle yapılır, böylece madde daha ince bir toz haline getirilir. Öğütülen malzeme, kurşun cevheri içeren mineral ve cevherlerin flotasyon işlemine tabi tutulur. Flotasyon makineleri kullanılarak kurşun minerali köpük oluşturarak ayrıştırılır. Bu işlem sonucunda kurşun minerali ayrı bir konsantre haline gelir. Kurşun flotasyonunun sonucunda elde edilen konsantre, daha fazla işlem görmek üzere ayrılır ve depolanır. Öğütülen malzeme, çinko cevheri içeren mineral ve cevherlerin flotasyon işlemine tabi tutulur. Aynı şekilde, çinko minerali köpük oluşturarak ayrıştırılır ve çinko konsantresi elde edilir. Çinko flotasyonunun sonucunda elde edilen konsantre, daha fazla işlem görmek üzere ayrılır ve depolanır. İşlem sonuçlarında oluşan atıklar çevre dostu yöntemlerle işlenir veya depolanır. Geri kazanılabilir değerler, yeniden kullanılır veya geri kazanma süreçlerine sokulur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kurşun-Çinko akım şeması.

### 3.1.3. Bakır Sahası

Küre Maden Sahaları, 1939 yılında MTA (Maden Tetkik Arama) bünyesine dahil edilmiştir. Eti Bank tarafından başlatılan çalışmalar ile ilk yıllarda tüvenan cevher üretimiyle devam eden faaliyet çalışmaları, 1987 yılında Konsantratör tesisinin kurulmasıyla, bakır ve pirit konsantrelerinin üretimine ve sevkiyatına başlanmıştır. Tesis, 1998 yılı itibariyle, Eti Bakır A.Ş. adı altında faaliyetlerini sürdürmeye devam etmiştir (Şekil 3.5). 2004 yılında Cengiz Holding tarafından devir alınan tesis, bu tarihten itibaren faaliyetlerine Holding çatısı altında devam etmektedir. Eti Bakır A.Ş. Küre tesislerine ait bakır sahalarından piritli bakır cevheri üretilmekte olup, üretilen bakır cevherleri bakır konsantratör tesisinde işlenerek bakır konsantresi ve pirit konsantresi üretilmektedir. Maden sahalarında çıkarılan kalkopirit bakır cevheri, konsantratör tesisine taşınmaktadır. Konsantratör tesisinde beslenen cevher önce kırma işlemine tabi tutulup tane boyutuna küçültülmektedir. Daha sonra konveyör bant yardımıyla ara stok sahasına alınan cevher, buradan ince kırma ünitesine ve sonrasında çubuklu ve bilyalı değirmenlerden geçirilerek, daha küçük tane boyutlu hale getirilmektedir. Ardından flotasyon işlemine tabi tutulan malzeme zenginleştirilerek, yoğunlaştırma ve kurutma ünitesine alınmaktadır. Nihayetinde %17-18 bakır ihtiva eden bakır konsantresi elde edilmektedir. Elde edilen bakır konsantresi ise İnebolu limanına taşınarak buradan deniz yolu ile nakliyesi yapılır.

Eti Bakır A.Ş. Küre işletmesinde yılda  $1.100.000\text{m}^3$  tüvenan bakır cevheri,  $110.000\text{m}^3$  bakır konsantresi ve  $400.000\text{m}^3$  pirit konsantresi üretilmektedir.



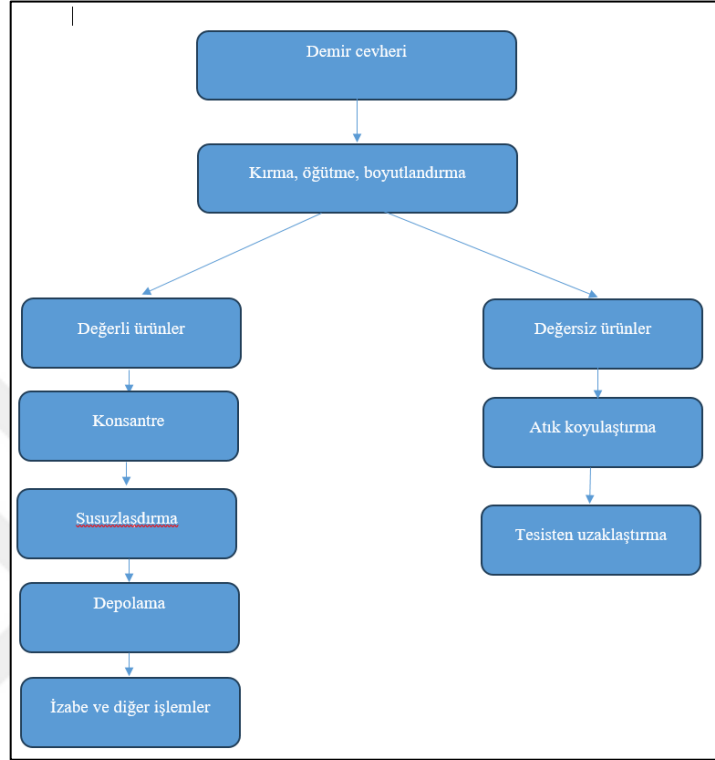
Şekil 3.5. Küre Bakır İşletmesi.

#### 3.1.4. Demir Sahası

Demir Export A.Ş. 1957 yılından beri demir cevheri üretimi yapmakta olup, yarım asrı aşkın tecrübesiyle çeşitli bazlardan çinko, kurşun, gümüş, bakır cevheri ve altın konsantreleri üretmektedir. Çalışma alanının yer aldığı Sivas yöresinde yüzeyleyen birimler çok genel olarak; en altta izlenen temel kayalar (Paleozoyik - Mesozoyik), bunların üzerine gelen Tersiyer ve Kuvaterner kayaları (Senozoyik) ve Mesozoyik - Senozoyik zaman aralığında etkili olmuş magmatik kayalar biçiminde sıralanabilir. Çalışma alanında kayaç birimleri ve yaş aralıkları şu biçimde sıralanabilir: 1) Munzur kireçtaşları (Alt Karbonifer- Kampaniyen) 2) Güneş ofiyoliti (serpantin, peridodit- piroksenit, gabro- diyorit - diyabaz; Üst Kretase) 3) Sıya formasyonu (konglomera, kumtaşı, miltaşı, kireçtaşları ve split - diyabazlardan oluşan volkanosedimanter istif; Maastrichtiyen) 4) Sincan grubu (Eosen-Miyosen) 5) Yamadağ volkanitleri (andezit-bazalt ve piroklastikleri; Plio-Kuvaterner).

Demir cevheri ilk olarak depolama kısmından Cevher hazırlama tesisine geçmekte ve burada kırma, öğütme ve boyutlandırma işlemine maruz bırakılmaktadır. Sonraki aşamada değerli

ürünler ve değersiz ürünler olmak üzere 2 ürün elde edilmektedir. Değerli ürünler susuzlaştırma bölümünde susuzlaştırıldıktan sonra depolanmaktadır. Değersiz ürünler ise atık koyulaştırma bölümünden sonra tesisten uzaklaştırmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Demir Export İşletmesi akım şeması.

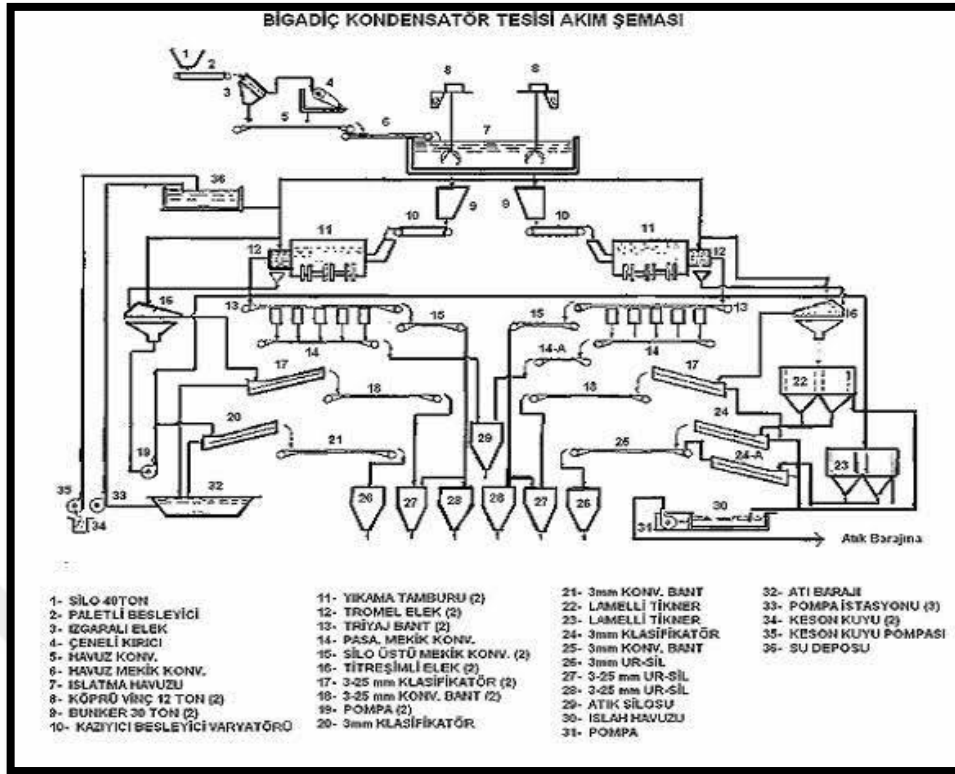
### 3.1.5. Bor Sahası

1976 yılında Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde Bigadiç bor madenlerinin işletme ve imtiyaz haklarına sahip olan Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü kurulmuştur (Şekil 3.7). Bu müdürlük, madencilik ve kimya alanlarında önemli yatırımlar yaparak bor ve bor ürünlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. 1976 yılında faaliyetlerine başlayan işletme müdürlüğü, 1980 yılında yoğunlaştırıcı tesisin kurulması ile üretime başlamıştır. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Tülü, Acep, Simav ve Kestelek bölgelerinde kolemanit ve üleksit mineralleri üretmektedir. Bu ürünlerin ihracatında da etkin rol oynamaktadır. 1980, 1985 ve 2007 yıllarında devreye alınan konsantratörler ile konsantré kolemanit ve üleksit üretimi yapan Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü; 1998, 2007 ve 2012 yıllarında devreye aldığı öğütme tesisleri ile dünyanın her yerine öğütme ürünleri ihraç etmektedir. Bigadiç ilçesi inceleme alanında Paleozoyik yaşlı kayalar (şist ve mermer) ve Mesozoyik yaşlı kayalar (ofiyolit, kireçtaşı, radyolarit ve kumtaşı) gibi temel kayalar bulunur. Bu kayalar iri taneli kalsit mineralleri içerir ve bazı çatlaklarda demir oksit, kalsit, kuvars gibi mineraller görülebilir.



**Şekil 3.7.** Bigadiç Bor İşletmesi.

Çalışma sahasında Açık ocaktan konsantratöre gelen % 26-27 tenörlü tinkal cevheri kırıcılarda -25 mm' ye kadar kırılır. Daha sonra stok binasına taşınan cevher buradan bir titreşimli eleğe verilir. Elekte tikinerlerden alınan su ile yıkanır. Cevher içindeki manyetik parçalar tamburla tutulurlar. Titreşimli eleğin altı -6 mm boyutundadır ve alt kısımdaki havuzda toplanır. Elek üstü ise +6 -25 mm boyutlarındadır ve tekrar kırılmak üzere III. kademe kırma devresine gönderilir. Burada kırılan cevher de -6 mm boyutundadır ve havuzda bulunan titreşimli elek altıyla birleştirilir. Burada cevherdeki kil ve diğer bir kısım empüriteler çözünerek ayrılırlar. Daha sonra eleğe gelen malzemedan -1 mm'lik parçalar ayrılarak alttaki havuzda toplanırlar. Elek üstü ise santrifüjlere verilir. Biri yedek olmak üzere üç santrifüj vardır. Sızıntı sular aşağıda bir havuzda toplanırlarken, santrifüjde nemi % 4'e inen malzeme dona karşı izole edilmiş olan silolara verilir. Havuzda toplanan -1 mm'lik kısım ise klasifikatörlerde yıkandıktan sonra yine santrifüjlere verilir. Konsantratör tesisi yılda 400 000 ton % 34 tenörlü tinkal cevheri üretecek kapasitededir (Şekil 3.8).

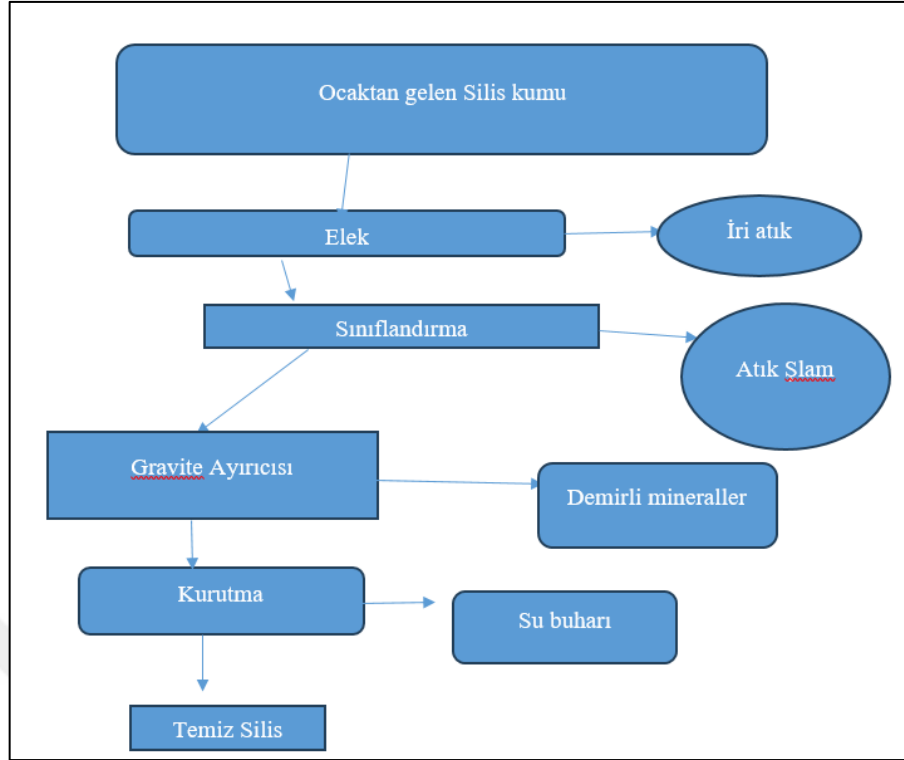


Şekil 3.8. Bigadiç Kondensatör Tesisi Akım Şeması.

### 3.1.6. Silis Sahası

Çalışma sahası İstanbul ilinin Çatalca ilçesinin kuzeybatı-batı kesiminde Yalıköy mahallesi civarında yer almaktadır. Bu alanda kuvarsitten oluşan silisce zengin kayalar bulunmaktadır. İnceleme alanının jeolojisi Istranca Masifini oluşturan birimlerle ilgili olduğundan öncelikle Istranca zonunun jeolojisini incelemek gerekmektedir. Istranca Zonu Çatalca'nın doğusundan bağlar ve Bulgaristan'a kadar devam eden KBGD doğrultulu metamorfik bir zondur. İstanbul'un batısında; Istranca Masifinin fillit ve sleytleri ile İstanbul Triyas kireçtaşları, Karbonifer siltaşları ve şeylleri deforme olmamış Orta Eosen sediment dilimi ile ayrılmıştır.

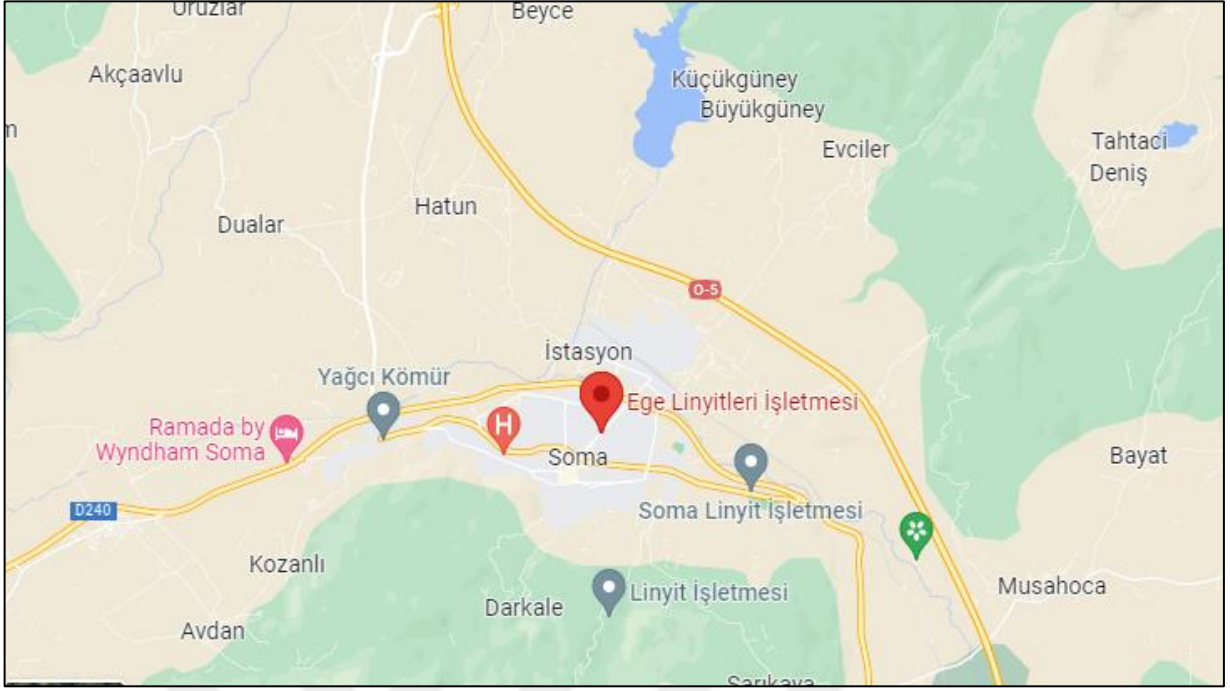
Kuvars kumu ve kuvarsitler açık işletme metodu ile üretilmektedir. Üretimde, dozer, loder, ekskavatör, kamyon ve konveyörler kullanılır. Ekonomik olarak kum üretilebilmesi için kumun üzerindeki kaldırılacak olan örtü tabakasının kalınlığının kum kalınlığına oranı maksimum 4 m<sup>3</sup> / ton seviyesinde olmalıdır. Tüketicilerin taleplerine göre ocaklardan üretilen kuvars kumları ve kuvarsitler cevher hazırlama tesislerinde eleme, yıkama, deşlam, flotasyon ve / veya magnetik separasyon, klasifikasyon ve kurutma işlemlerine tabi tutularak yüksek silisli (SiO<sub>2</sub>), düşük oksitli ve az miktarda ağır mineral içeren kaliteli kuvars kumu üretilmesi gerekebilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Silis kumu akım şeması.

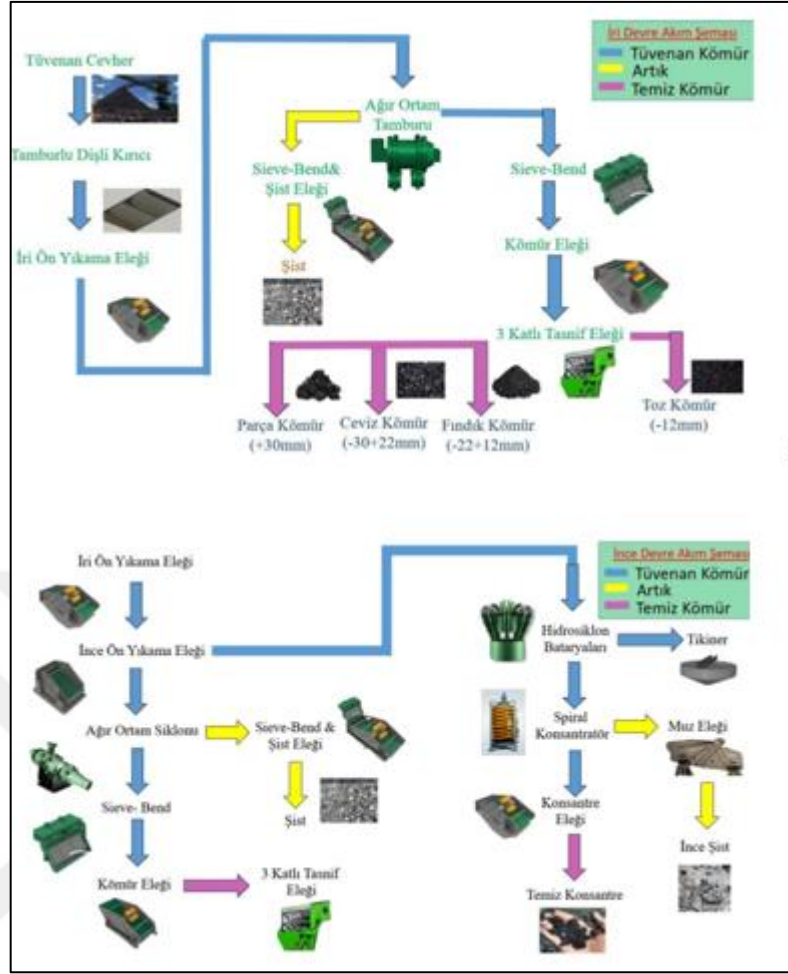
### 3.1.7. Kömür Sahası

Türkiye’de en yaygın madencilik alanlarından biri kömür madenciliğidir. Kömür madenlerinde doğaya zararlı atıklar daha fazla ortaya çıkmaktadır. Tez konusuna ilişkin olarak kömür sahası çalışması Ege linyitleri İşletmesi üzerine yapılmıştır. Ege Linyitleri İşletmesi Ege Bölgesini kapsayan Manisa İlinin Soma İlçesinde merkezden 56 km mesafede yerleşmektedir ve Türkiye Kömür üretiminde büyük paya sahiptir (Şekil 3.10). Bölge yarı nemli Akdeniz iklim tipine dahil edilmektedir. Bölgede kış en yağışlı, yaz ise en yağışsız mevsim olarak belirlenmiştir. Bölge zengin kömür ocaklarına sahiptir. 600 milyon ton görünür rezerv ve yıllık 10 milyon ton üretim miktarı ile başta Manisa ili Soma ilçesi olmak üzere Türkiye ekonomisine önemli miktarda katma değer yaratmaktadır. Bölgede bulunan kömür ocakları 1914-1918 yıllara tekâmül eden savaşlarda ordu için büyük önem arz etmiştir. Bu bölgede hukuki olarak 1978 yılında Ege Linyitleri İşletme Müdürlüğü faaliyete başlamıştır.



**Şekil 3.10.** Ege Linyitleri İşletmesi.

Çalışma alanının içinde bulunduğu Batı Anadolu'da, Neojen'de oluşan pek çok graben çukurlarının içinde karasal özellikli tortulların çökelişi gözlenmiştir. Bu graben havzalarının sayısı çoktur. Yaşı tektonizmaya bağlı olarak neojen'dir. Bunların arasında tuf, tufik, andezitik ve bazaltik lav akıntıları ve aglomeralar vardır. Soma havzasında Neojen formasyonları diskordansla grovak ve kireçtaşı üzerine gelmektedir. Grovak birimi Permokarbonifer, kireçtaşı birimi Kretase yaşlıdır. Neojen istifinde önce Miyosen yaşlı tortullar gözlenmiştir. Buna Soma Formasyonu adı verilmiştir. Bu seriler alttan başlayarak sırasıyla konglomera, alt linyit kömür damarı (en kaliteli kömür), marn (ince kömür damarları içerir), dereceli olarak kireç taşına geçiş göstermektedir. Miyosen formasyonu üzerine diskordansla gelen Pliyosen formasyonları denizeldir. Bu seri sırasıyla altta kum ve silt, üst linyit kömür damarı (alt linyit kömür damarına oranla kalite ve rezerv daha düşüktür), tuf ve marnlar, en üstte de silisifiye kireçtaşından oluşmaktadır. Havzada Neojen sonrası bazaltik ve andezitik volkanik faaliyet görülmektedir [49]. M 1- Miyosen yaşlı kayaların tabanında yer alır. En altta temele ait iri blok, çakıl ve killer üst kısımlara doğru kil-kum-kumtaşları en üst kısımlarda ise yeşilimsi plastik özellikteki kill seviyesi egemendir. Çıkarılan kömür ağır ortam yöntemiyle lavvar tesisinde zenginleştirilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kömür akım şeması.

## 3.2. MALZEME

Çalışmada kullanılan Altın, Kurşun-çinko, Bakır, Demir, Bor, Silis ve Kömür madeni atıklarının tane boyut dağılımları, yoğunlukları, yüzey alanları ve kimyasal içerikleri yapılan analizlerle belirlenmiş ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

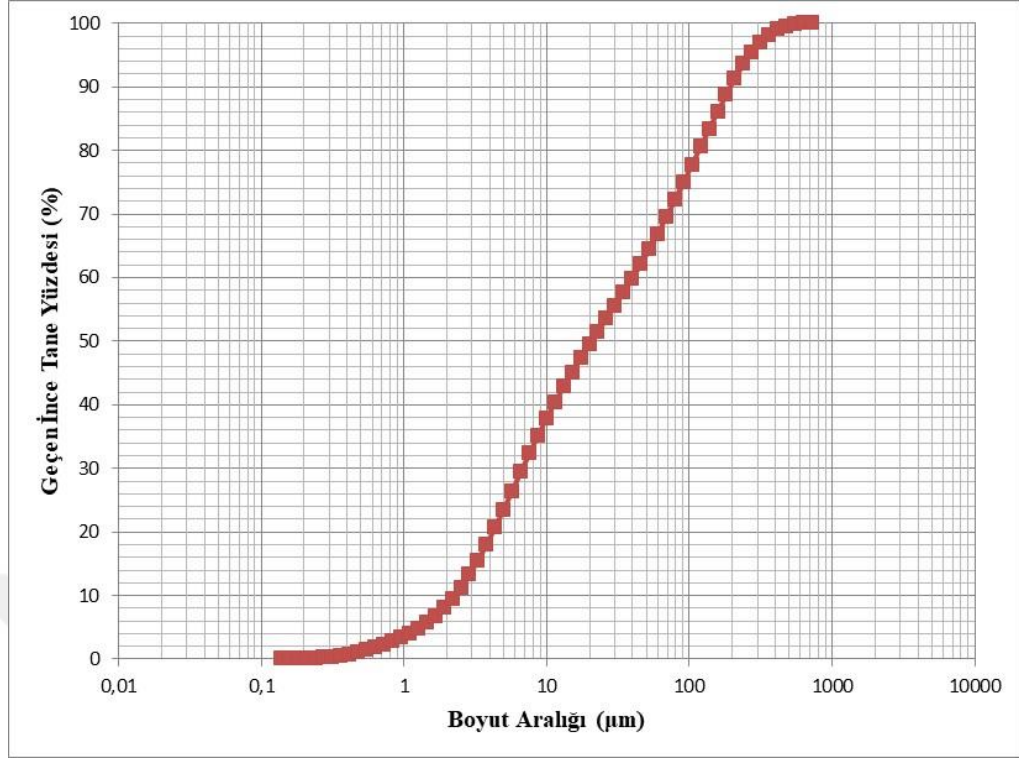
### 3.2.1. Altın Madeni Atık Özellikleri

Altın atığı, öncelikle, cevherden altının çıkarılmasından sonra kalan ince öğütülmüş kaya parçacıklarından ve artıklardan oluşur. Kompozisyon, altın cevherinin türüne ve kaynağına bağlı olarak değişebilir. Altın atığı kuvars, pirit, arsenopirit ve diğer sülfidler gibi minerallerin yanı sıra eser miktarda başka metaller ve safsızlıklar içerebilir. Atık olarak sınıflandırılmasına rağmen, altın atığı, ilk işleme sırasında tamamen çıkarılmamış önemli miktarda altın içerebilir. Ekstraksiyon işleminin verimliliğine bağlı olarak, altın atığı, düşük dereceliden potansiyel olarak ekonomik olarak uygun konsantrasyonlara kadar değişen altın içeriğine sahip olabilir.

Altın atıkları, uygun şekilde yönetilmezse çevresel riskler oluşturabilir. Başlıca kaygılardan biri, arsenik, cıva ve siyanür gibi ağır metallerin atık malzemeden çevreye sızma potansiyelidir. Toprağın, yüzey sularının ve yeraltı sularının kirlenmesi ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir. Atık olarak kabul edilmesine rağmen, altın atığı potansiyel ekonomik değere sahip olabilir. Altına olan talebin artması ve çıkarma ve geri kazanma teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, altının kendisi ve yan ürün olarak bulunan diğer değerli metaller dahil olmak üzere değerli metalleri altın atıklarından çıkarmak ekonomik olarak mümkün olabilir. Altın atığının özelliklerinin, altın yatağının türü, kullanılan ekstraksiyon işlemleri ve müteakip arıtma yöntemleri gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini not etmek önemlidir. Bu nedenle, altın atığının spesifik karakterizasyonu ve uygun yönetimi, duruma göre değerlendirilmelidir. Çalışmada kullanılan malzeme altın madeni proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiği Şekil 3.12’de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Altın madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Altın
D10	2,28
D30	6,61
D50	20,74
D60	39,81
D90	194,19
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,735
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	11,590
Al (%)	1,32
Si (%)	19,53
Fe (%)	6,38
Ca (%)	0,69
Na (%)	0,68
Mg (%)	0,04
Cd (%)	Eser
K (%)	0,96
I (%)	Eser
As (%)	0,40
Cr (%)	Eser
Cu (%)	0,16
Ni (%)	0,03
Pb (%)	Eser
Zn (%)	Eser



Şekil 3.12. Altın Madeni Atığı Tane Boyut Dağılımı.

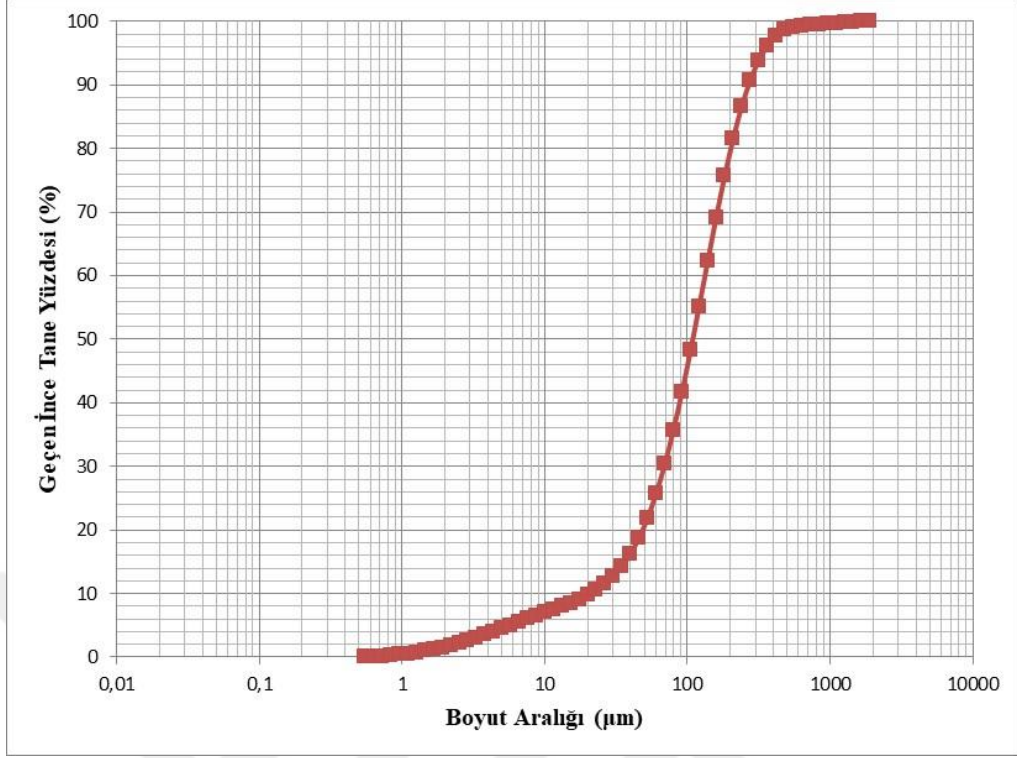
### 3.2.2. Kurşun-çinko Madeni Atık Özellikleri

Kurşun-çinko atıkları, kurşun ve çinko cevherlerinin işlenmesi sırasında oluşan artıkları ve yan ürünleri ifade eder. Kurşun-çinko atığı tipik olarak ezilmiş kaya, toprak ve su dahil olmak üzere ince parçacıkların bir karışımından oluşur. Galen (kurşun sülfür), sfalerit (çinko sülfür), kuvars, demir oksitler ve diğer sülfürler gibi kurşun ve çinko cevherleriyle ilişkili çeşitli mineraller ve elementler içerir. Kurşun-çinko atığı, özellikle kurşun ve çinko olmak üzere yüksek konsantrasyonlarda ağır metallere karakterize edilir. Bu metaller, sülfitler, oksitler ve karbonatlar dahil olmak üzere çeşitli formlarda mevcut olabilir. Kurşun-çinko atıklarında yaygın olarak bulunan diğer metaller arasında bakır, kadmiyum, arsenik ve gümüş bulunur. Kurşun-çinko atığı, atıktaki bulunan sülfid minerallerinin oksidasyonu nedeniyle asidik bir pH'a sahip olabilir. Hava ve suya maruz kaldığında, sülfür mineralleri sülfürik asit üreten kimyasal reaksiyonlara girebilir. Asit maden drenajı (AMD) olarak bilinen bu asidik sızıntı suyu, atıktan ağır metallerin mobilizasyonunu daha da artırarak potansiyel çevresel kontaminasyona yol açabilir. Kurşun-çinko atığı, potansiyel ağır metal salınımı ve asit maden drenajı nedeniyle önemli çevresel kaygılar doğurur. Düzgün yönetilmezse, bu kirleticiler toprağa, yüzey sularına ve yeraltı sularına sızarak ekosistemler ve insan sağlığı için risk oluşturabilir. Ağır metallerin hareketliliği ve biyoyararlanımı parçacık boyutu, mineraloji ve çevre koşulları gibi faktörlere

bağlı olabilir. Kurşun-çinko atık sahalarının iyileştirilmesi, kirleticilerin karmaşık doğası ve uzun vadeli çevresel etki potansiyeli nedeniyle zor olabilir. İyileştirme stratejileri, atığın kontrol altına alınması, stabilizasyonu veya arıtılmasının yanı sıra asit maden drenajını kontrol etmek için önlemlerin uygulanmasını içerebilir. Kurşun-çinko atığının özelliklerinin, özel madencilik operasyonuna, cevher bileşimine ve kullanılan işleme tekniklerine bağlı olarak değişebileceğini not etmek önemlidir. Ek olarak, teknolojiye gelişmeler ve madencilik endüstrisindeki en iyi uygulamalar, kurşun-çinko atıklarının yönetimini ve arıtılmasını etkileyebilir. Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiği Şekil 3.13’de verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Kurşun-çinko madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellikler	Kurşun-Çinko
D <sub>10</sub>	22,90
D <sub>30</sub>	69,18
D <sub>50</sub>	106,25
D <sub>60</sub>	125,2
D <sub>90</sub>	275,42
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,16
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	1,47
Al (%)	0,185
Si (%)	13,76
Fe (%)	14,852
Na (%)	0,2
Mg (%)	0,666
I (%)	0,00078
As (%)	0,047
Cr (%)	0,0068
Ni (%)	0,0026
Pb (%)	0,113
Sb (%)	0,002



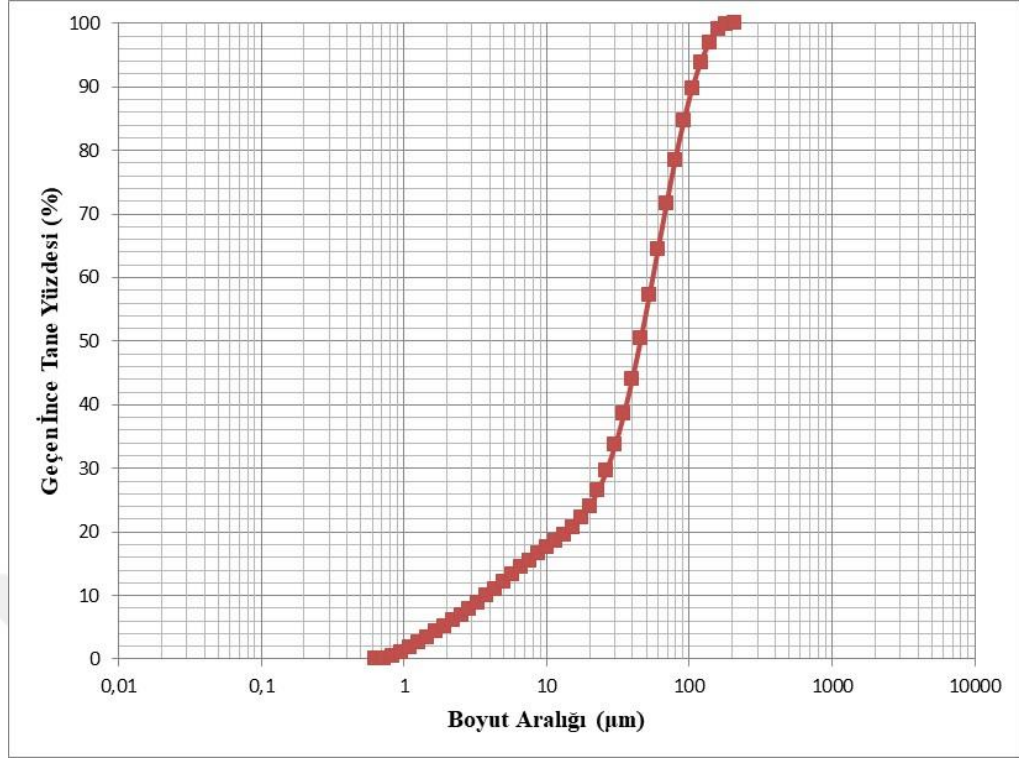
Şekil 3.13. Kurşun-çinko madeni atığı tane boyut dağılımı.

### 3.2.3. Bakır Madeni Atık Özellikleri

Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.4'de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiği Şekil 3.14'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Bakır madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Bakır
D10	3,83
D30	26,3
D50	45,25
D60	59
D90	105,34
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,380
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	11,460
Al (%)	0,16
Si (%)	13,45
Fe (%)	32,46
Ca (%)	0,64
Na (%)	0,13
Mg (%)	0,08
Cd (%)	Eser
K (%)	0,34
I (%)	Eser
As (%)	Eser
Cr (%)	0,04
Cu (%)	0,17
Ni (%)	Eser
Pb (%)	Eser
Zn (%)	0,1



Şekil 3.14. Bakır madeni atığı tane boyut dağılımı.

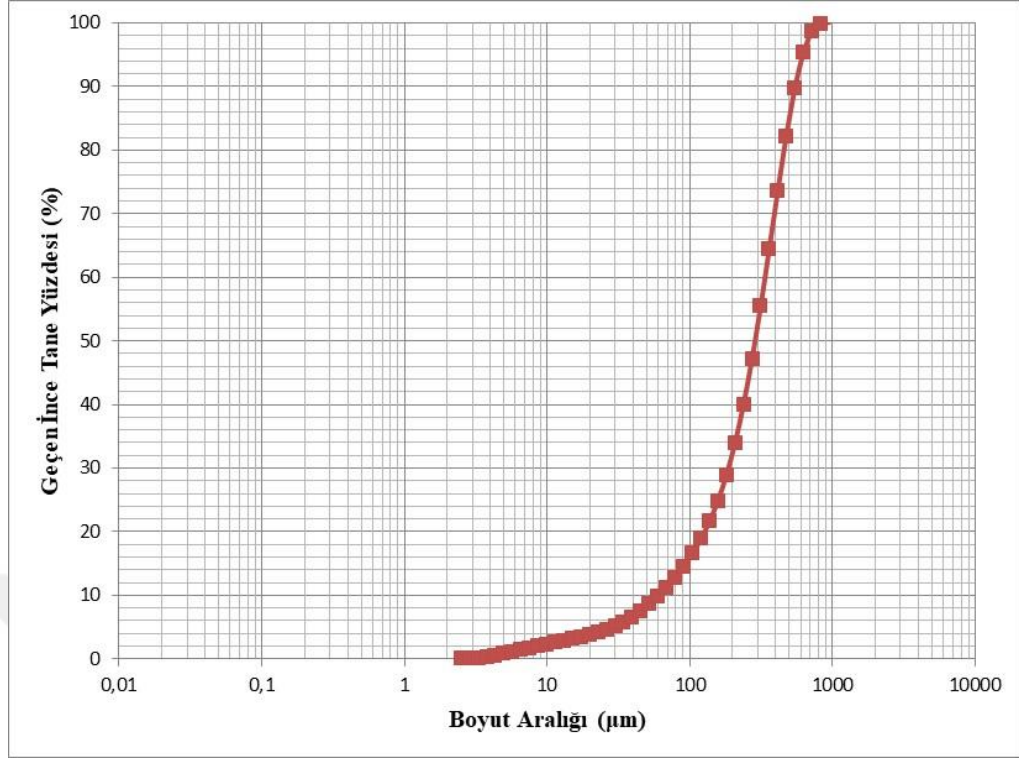
### 3.2.4. Demir Madeni Atık Özellikleri

Demir atığı, demir ve demir bazlı malzemelerin üretimi, işlenmesi veya kullanımı sırasında oluşan artıkları ve yan ürünleri ifade eder. Bu atıklar, ilgili belirli işlemlere bağlı olarak bileşim ve fiziksel form bakımından değişebilir. Demir atığı, demir ve alaşımları ile ilişkili çeşitli malzemelerden oluşabilir. Öncelikle hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve manyetit ( $Fe_3O_4$ ) gibi demir oksit bileşiklerini içerir. Ayrıca silis, alümina, kalsiyum, kükürt ve eser miktarda diğer metaller gibi safsızlıklar içerebilir. Demir atığı, katı atık, çamur, toz veya kireç gibi farklı fiziksel formlarda bulunabilir. Katı atık, atılan demir ürünlerini veya bileşenlerini içerebilirken, çamur, atık su arıtımı veya endüstriyel işlemlerden kaynaklanan yarı sıvı kalıntıları ifade eder. Toz ve kireç, demir işleme veya endüstriyel işlemler sırasında üretilebilen ince parçacıklardır. Yüksek demir içeriği nedeniyle, demir atıkları genellikle manyetik özellikler gösterir. Demir atığını diğer malzemelerden ayırmak için manyetik ayırma teknikleri kullanılabilir, bu ayırma ve geri kazanma işlemleri için avantajlı olabilir. Demir atığı, özellikle kireç veya atılan demir ürünleri halindeyken, neme ve oksijene maruz kaldığında korozyona duyarlı olabilir. Bu korozyon, uygun şekilde yönetilmediği takdirde çevresel etkileri olabilecek demir oksit parçacıklarının veya çözünür demir bileşiklerinin salınmasına neden olabilir. Demir atıkları genellikle çeşitli endüstrilerde geri dönüştürülür ve yeniden kullanılır. Hurda demir ve atılan

demir ürünleri eritilebilir ve yeni demir ve çelik ürünlerinin üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Demir atıklarının geri dönüştürülmesi, doğal kaynakların korunmasına ve madencilik ve çıkarma işlemlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur. Düzgün yönetilmezse, demir atıkları çevresel riskler oluşturabilir. Demir oksit parçacıkları, toz veya çamur havaya karışabilir ve hava kirliliğine katkıda bulunabilir. Demir atığı ayrıca çevreye salınırsa toprağı, su kütlelerini veya yeraltı sularını potansiyel olarak kirletebilecek safsızlıklar veya iz metaller içerebilir. Demir atıklarının işlenmesi için uygun atık yönetimi uygulamaları esastır. Mümkün olduğunca geri dönüşüm ve yeniden kullanıma öncelik verilmelidir. Bertaraf gerekliyse, çevresel etkileri en aza indirmek ve kirlenmeyi önlemek için ilgili yönetmeliklere uygun olarak yapılmalıdır. Demir atığının özelliklerinin, belirli demir üretim süreçleri, ilgili demir veya demir bazlı malzemelerin türü ve safsızlıkların varlığı gibi faktörlere bağılı olarak değişebileceğini belirtmek önemlidir. Bu nedenle, demir atıklarının karakterizasyonu ve uygun yönetimi duruma göre değerlendirilmelidir. Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.5’de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiğı Şekil 3.15’de verilmiştir.

**Tablo 3.5.** Demir madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Demir
D10	61,7
D30	201
D50	289,45
D60	340
D90	553,98
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,929
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	21,720
Al (%)	1,67
Si (%)	18,58
Fe (%)	38,70
Ca (%)	0,08
Na (%)	0,71
Mg (%)	0,09
Cd (%)	Eser
K (%)	0,98
I (%)	Eser
As (%)	Eser
Cr (%)	0,03
Cu (%)	Eser
Ni (%)	0,06
Pb (%)	Eser
Zn (%)	Eser



Şekil 3.15. Demir madeni atığı tane boyut dağılımı.

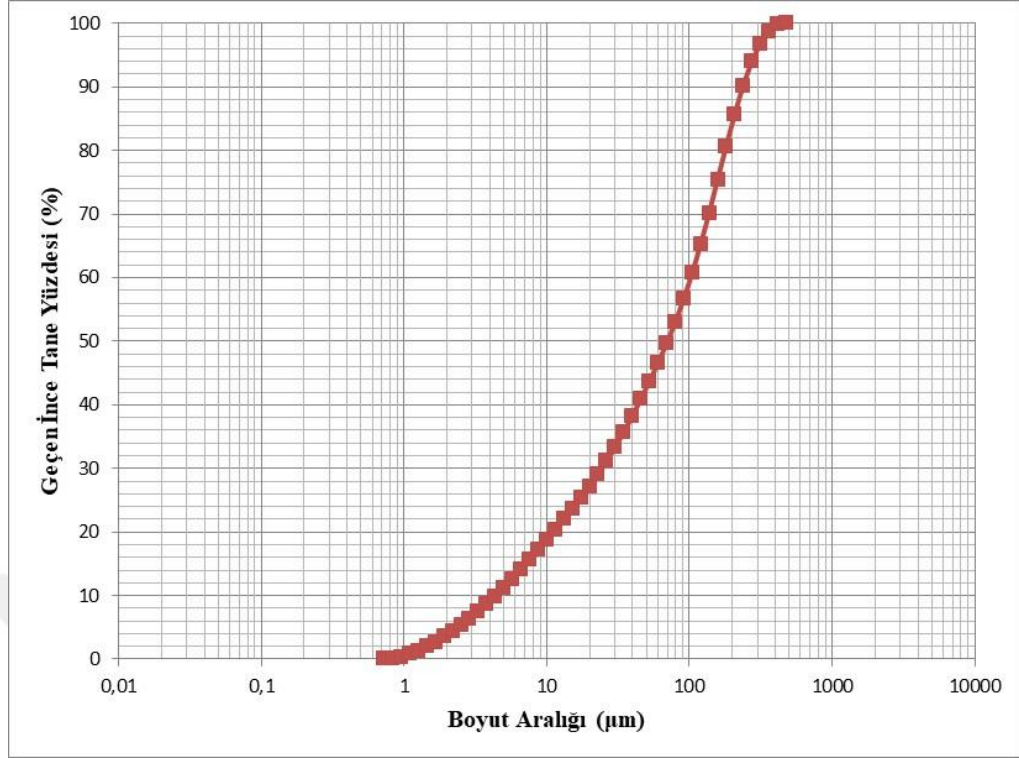
### 3.2.5. Bor Madeni Atık Özellikleri

Bor atığı, bor bazlı malzemelerin üretimi, işlenmesi veya kullanımı sırasında oluşan artıkları ve yan ürünleri ifade eder. Bor, benzersiz özellikleri nedeniyle çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bir kimyasal elementtir. Bileşimi: Bor atıkları öncelikle boratlar veya bor oksit gibi çeşitli bor bileşiklerinden oluşur. Bileşim, kullanılan belirli bor bazlı malzemelere ve ilgili işlemlere bağlı olarak değişebilir. Bor atıkları, kaynağa ve üretim yöntemlerine bağlı olarak safsızlıklar da içerebilir. Bor bileşikleri genellikle kimyasal olarak kararlıdır, bu da bor atıklarının normal koşullar altında kolayca kimyasal reaksiyonlara girmediği anlamına gelir. Bu stabilite, cam veya seramik üretimi gibi belirli uygulamalar için avantajlı olabilir. Bor, yüksek konsantrasyonlarda mevcutsa, insanlar ve çevre için toksik olabilir. Bor bileşiklerinin çevreye salınmasını önlemek için bor atıkları uygun şekilde işlenmeli ve yönetilmelidir. Bor atıklarının su kaynaklarını kirletmemesine veya ekosistemleri olumsuz etkilememesine dikkat edilmelidir. Bor bileşikleri iyi ısı direnci özellikleri sergiler. Üretim süreçleri sırasında üretilen bor atığı, bu ısıya dayanıklılık özelliklerini koruyarak, yüksek sıcaklık direnci gerektiren uygulamalarda yeniden kullanım için potansiyel olarak uygun hale getirir. Bor atıkları geri dönüştürülebilir ve çeşitli uygulamalarda yeniden kullanılabilir. Örneğin, borosilikat cam üretiminden kaynaklanan bor atığı geri dönüştürülebilir ve yeni cam ürünlerin imalatında hammadde olarak kullanılabilir.

Spesifik bileşime ve özelliklere bağlı olarak, bor atığı, çevresel etkiyi en aza indirmek ve işçi güvenliğini sağlamak için uygun muhafaza, depolama veya arıtma gerektirebilir. Potansiyel toksisitesi ve çevresel etkisi nedeniyle bor atığı, işlenmesini, depolanmasını ve bertaraf edilmesini zorunlu kılan yönetmeliklere ve yönergelere tabidir. Bu nedenle, bor atıklarının karakterizasyonu ve uygun yönetimi, özel durumlara ve endüstri gereksinimlerine göre değerlendirilmelidir. Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.6'de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiği Şekil 3.16'de verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Bor madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Bor
D10	4,45
D30	22,9
D50	70,42
D60	104,7
D90	238,17
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,645
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	6,700
Si (%)	5,73
Fe (%)	0,07
Ca (%)	0,70
Na (%)	0,08
Mg (%)	0,21
K (%)	0,13



Şekil 3.16. Bor madeni atığı tane boyut dağılımı.

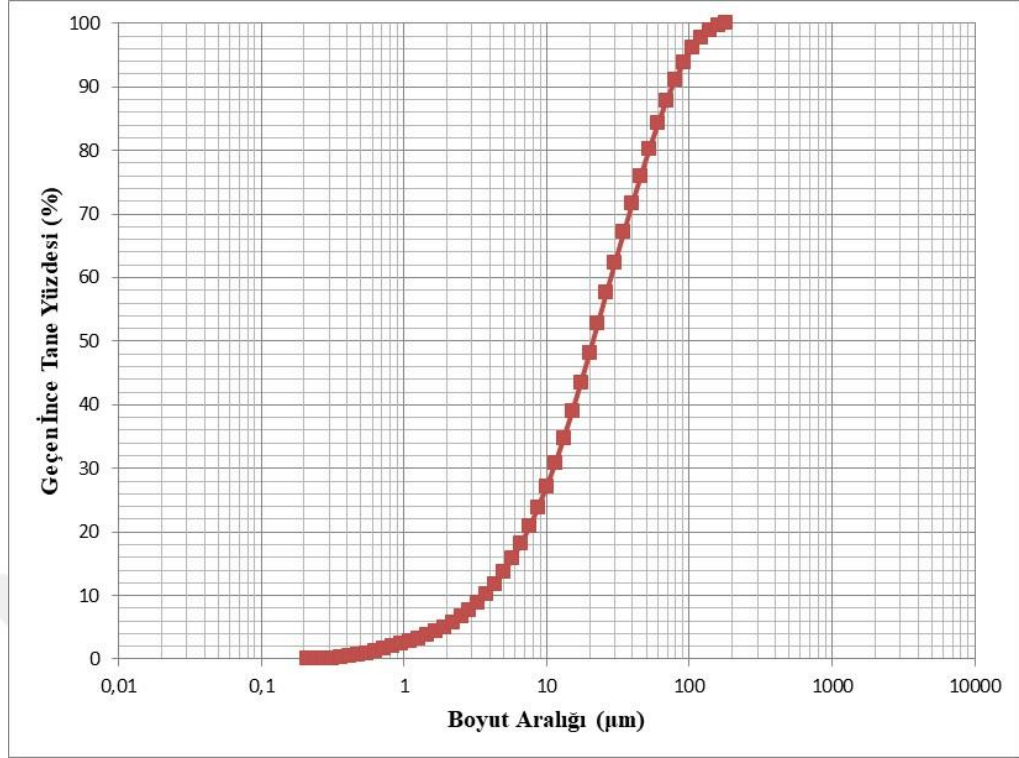
### 3.2.6. Silis Madeni Atık Özellikleri

Silika atığı, silika bazlı malzemelerin üretimi, işlenmesi veya kullanımı sırasında oluşan artıkları ve yan ürünleri ifade eder. Silika, silikon ve oksijenden oluşan bir bileşiktir ve Dünya'da en bol bulunan minerallerden biridir. Silis atıklarının özellikleri, atığın kaynağına, işlenme sürecine, kullanım amacına ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir. Silis atıkları, genellikle yüksek miktarda silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) içerir. Diğer bileşenler ve mineral içerikleri, atığın kaynağına ve işleme sürecine bağlı olarak değişir. Silika atığı, öncelikle silisin ana bileşeni olan silikon dioksitten ( $\text{SiO}_2$ ) oluşur. Kompozisyon, ilgili kaynağa ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişebilir. Silika atıkları, özel uygulama ve üretim süreçlerine bağlı olarak kil mineralleri, demir oksitler, alümina ve eser elementler gibi safsızlıklar da içerebilir. Silika atığı, ince tozlardan daha büyük granüllere ve hatta agregalara kadar çok çeşitli parçacık boyutlarına sahip olabilir. Parçacık boyutu dağılımı, silika bazlı malzemelerin üretimi veya işlenmesi sırasında kullanılan işleme tekniklerine bağlıdır. Silika, kimyasal eylemsizlik özelliğiyle bilinir, yani normal koşullar altında diğer kimyasallarla kolayca reaksiyona girmez. Bu özellik, silis atığını inşaat malzemeleri veya plastik ve kauçukta dolgu maddesi gibi kimyasal kararlılığın gerekli olduğu çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Silika, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanışlı olmasını sağlayan yüksek bir erime noktasına (yaklaşık

1.710 santigrat derece veya 3.110 derece Fahrenheit) sahiptir. Silika atıkları bu özelliği koruyarak potansiyel olarak geri dönüşüm veya yüksek sıcaklık içeren işlemlerde yeniden kullanım için uygun hale getirir. Silika atığı, düşük ısı iletkenliği nedeniyle iyi ısı yalıtımı özellikleri sergileyebilir. Genellikle inşaat ve imalat dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Silika, özellikle silis kumu formunda, aşındırıcı özelliklere sahip olabilir. Kumlama veya taşlama gibi işlemler sırasında oluşan silis atıkları, temizleme, yüzey hazırlama veya cilalama uygulamalarında aşındırıcı bir malzeme olarak kullanılabilir. Silika atıklarının işlenmesi için uygun atık yönetimi uygulamaları esastır. Spesifik bileşime ve fiziksel forma bağlı olarak, silika atığı, çevresel kirlenmeyi önlemek ve işçi güvenliğini sağlamak için uygun depolama, muhafaza veya arıtma gerektirebilir. Silika atığı, çeşitli uygulamalarda sıklıkla yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir. Örneğin, cam endüstrisinden çıkan silis atıkları işlenerek yeni cam ürünlerinin üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. İnşaat ve imalat süreçlerinden kaynaklanan silika atıkları, diğer malzeme veya ürünlerde dolgu maddesi veya katkı maddesi olarak kullanılabilir. Silika atık özelliklerinin kaynak, işleme yöntemleri ve silika bazlı malzemelerin amaçlanan uygulaması gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini not etmek önemlidir. Bu nedenle, silis atığının karakterizasyonu ve uygun yönetimi, özel durumlara ve endüstri gereksinimlerine göre değerlendirilmelidir. Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.7'de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir.

**Tablo 3.7.** Silis madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Silis
D10	3,71
D30	11,48
D50	21,08
D60	28
D90	75,49
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,772
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	20,630
Al (%)	1,43
Si (%)	38,56
Fe (%)	0,46
Na (%)	0,09
K (%)	0,61



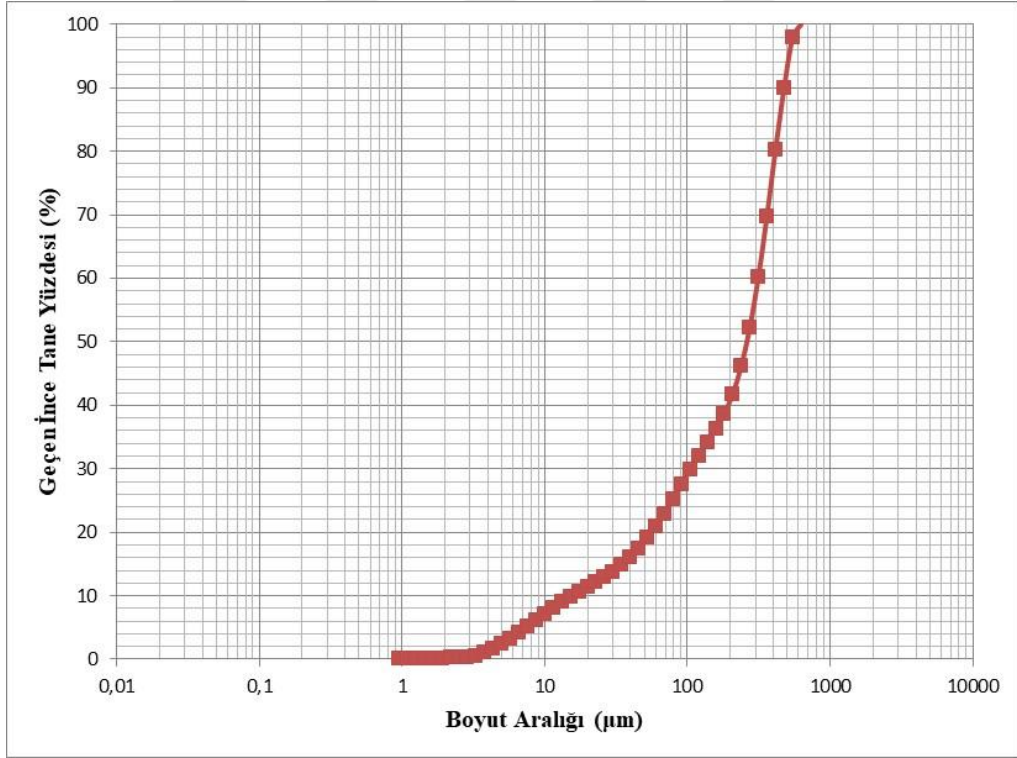
Şekil 3.17. Silis madeni atığı tane boyut dağılımı.

### 3.2.7. Kömür Madeni Atık Özellikleri

Kömür atığı, farklı malzemelerin heterojen bir karışımıdır. Öncelikle silika, alümina, demir, kalsiyum, magnezyum gibi inorganik elementler ve arsenik, cıva, kurşun ve kadmiyum gibi eser miktarda ağır metaller içerir. Kömürden elde edilen organik bileşikler de içerebilir. Kömür atığı, uygun şekilde yönetilmezse çevresel riskler oluşturabilir. Kömür atıklarında ağır metaller ve diğer zehirli maddelerin bulunması, onlarla temas etmesi halinde potansiyel olarak toprağı, yüzey sularını ve yer altı sularını kirletebilir. Bunun ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olabilir. Çalışmada kullanılan malzeme proses atığıdır ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.8'de verilmektedir. Ayrıca malzemenin tane boyut dağılım grafiğı Şekil 3.18'de verilmiştir.

**Tablo 3.8.** Kömür madeni atığı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	Kömür
D10	15,52
D30	104,7
D50	263,01
D60	316,2
D90	479,11
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,253
Yüzey alanı m <sup>2</sup> /g	23,590
Al (%)	0,38
Si (%)	32,01
Fe (%)	3,78
Ca (%)	0,31
Na (%)	0,23
Mg (%)	0,41
K (%)	0,70

**Şekil 3.18.** Kömür madeni atığı tane boyut dağılımı.

### 3.3. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM

Madencilik atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliğini araştıran bu çalışmanın yöntem kısmı aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Atık Numunelerinin Toplanması ve Hazırlanması: Araştırmanın temelini oluşturan madencilik atıkları olan Altın, Kurşun-çinko, Bakır, Demir, Bor, Silis ve Kömür numuneleri saha çalışmaları ile toplandı. Bazı numuneler, yerel madencilik operasyonlarından temin edildi ve saha çalışmaları sırasında uygun boyutlara getirildi. Bazı numuneler ise laboratuvar ortamında temizlendi, kurutuldu ve gerekli boyutlara öğütüldü.

Mekanik Testler için Harç Karışımların Hazırlanması: Deneyler sırasında TS EN 196-1, 2016 standartına göre harç karışımlar hazırlanmıştır. Buna göre harç karışımlarda kullanılması gereken standart kum yerine belirli oranlarda proses atıkları katılarak farklı karışımlar oluşturulmuştur. Her karışıma standart kum ve proses atıklarından ayrı olarak 225 gram su ve 450 gram CEM I 42.5 R Portland çimentosu katılmıştır. Çalışmada kullanılan karışımlardaki malzeme miktarları Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9.** Harç karışımlarda kullanılan malzemeler ve miktarları.

Atık Türü	Atık oranı (%)	Kum (g)	Atık (g)	Su (g)
Altın	5	1282,5	67,5	225
	10	1215	135	
	20	1080	270	
Kurşun-Çinko	5	1282,5	67,5	
	10	1215	135	
	20	1080	270	
	30	945	405	
	40	810	540	
	50	675	675	
Bakır	5	1282,5	67,5	
	10	1215	135	
	20	1080	270	
	30	945	405	
	40	810	540	
Demir	10	1215	135	
	30	945	405	
Bor	5	1282,5	67,5	
	10	1215	135	
	20	1080	270	
	30	945	405	
Silis	5	1282,5	67,5	
	10	1215	135	
	20	1080	270	
	30	945	405	
Kömür	5	1282,5	67,5	
	10	1215	135	
	20	1080	270	

Hazırlanan harçlar 40 mm x 40 mm x 160 mm (TS EN 196-1, 2016) boyutlarındaki kalıplara döküldü. Dökülen harçlar 24 saatlik donma süresi sonunda kalıplardan çıkarıldı. Kalıplardan çıkarılan beton numuneleri 28, 56 ve 90 günlük kürlenme süreleri için 21 °C sıcaklıktaki suda bekletildiler. Beton numuneleri kür süreleri sonunda basma dayanımı testlerine tabi tutuldu.

Basma Dayanım Deneylerinin Uygulanması: Deney numuneleri farklı kür sürelerine (28-56-90-120-150) tabi tutularak dayanım değerlerinin bu süreler boyunca nasıl değiştiği izlendi. Kür sürelerinin betonun uzun vadeli dayanım özelliklerine etkisi değerlendirildi. Basma dayanımı testi, eğilme dayanımı testinde beton numunesinin uygulanan kuvvet sonucu kırılması ile oluşan 2 parçaya uygulanır. Deneyler, bir basınç test cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Her atık için farklı karışım oranları denendi ve beton karışımının su-çimento oranları ayarlandı.

Basma dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen dayanım değerleri kaydedildi ve her farklı kür süresi için ayrı ayrı analiz edildi.

pH Değerlerinin Belirlenmesi: Atık numunelerin pH değerleri laboratuvar koşullarında hassas bir şekilde ölçüldü. Bu, atık malzemelerin betonun kimyasal özelliklerine olan etkisini değerlendirmeye yardımcı oldu. Saf proses atıkları ve belirli karışım oranlarındaki atıklı beton numuneleri, 105 °C’de fırında 24 saat kurutulmuştur ve kurutulduktan sonra <2 mm boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonrasında 5:1 sıvı-katı oranında (20 g atık, 100 g saf su) süspansiyon hazırlanıp karıştırılmıştır. Sonraki aşamada bu numuneler, 15 rpm hızında sürekli mekanik olarak karıştırılıp numunelerin belirli sürelerde pH metre ile ölçümleri yapılmıştır. Daha sonrasında numune 1 gün bekletilmiş ve 24. saatinde de pH metre ölçümleri yapılmıştır.

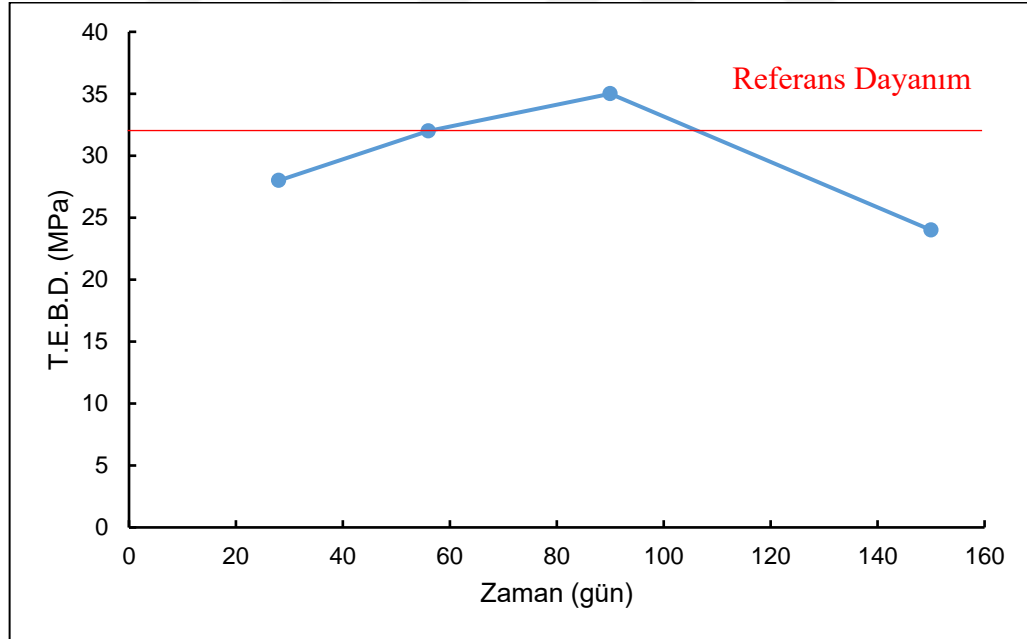
Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yorumlanması: Elde edilen veriler, istatistiksel analizlere tabi tutuldu ve beton numunelerinin farklı atık türleri ve kür süreleri için dayanım sonuçları karşılaştırıldı. Atık yüzdesi, basma dayanımı ve pH değerleri için grafikler oluşturularak görsel analizler gerçekleştirildi. Araştırma sonuçları, madencilik atıklarının beton üretimindeki kullanılabilirliğini ve farklı atık türlerinin betonun mekanik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini içeren bulgular bölümünde özetlendi. Hangi atık türlerinin en uygun sonuçları verdiği ve beton performansını nasıl etkilediği belirtilerek, bu sonuçların inşaat sektörüne potansiyel katkıları tartışıldı. Araştırma sonuçlarına dayanarak, madencilik atıklarının beton endüstrisinde sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek için öneriler sunuldu. Gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler, madencilik atıklarının daha geniş bir kullanım yelpazesinde nasıl değerlendirilebileceği ve beton karışımlarının optimize edilmesi için daha fazla ayrıntılı çalışmaları içerir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında standart kum ikamesi olarak kullanılan Altın, Kurşun-Çinko (Pb-Zn), Bakır, Demir, Bor, Silis ve Kömür madeni proses atıklarının tek eksenli basma dayanım (TEBD) değerleri ve doğal pH sonuçları gösterilmiştir. Her bir atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri değişkenlik gösterdiği için dayanım testlerindeki ikame oranları aşama aşama değerlendirilmiş ve buna bağlı olarak birbirlerinden farklı kür süreleri ortaya çıkmıştır. Bu durum malzeme ve zaman kaybı açısından avantaj sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

### 4.1. Farklı Proses Atıklarının İkame Oranlarına Göre Dayanım Değerleri

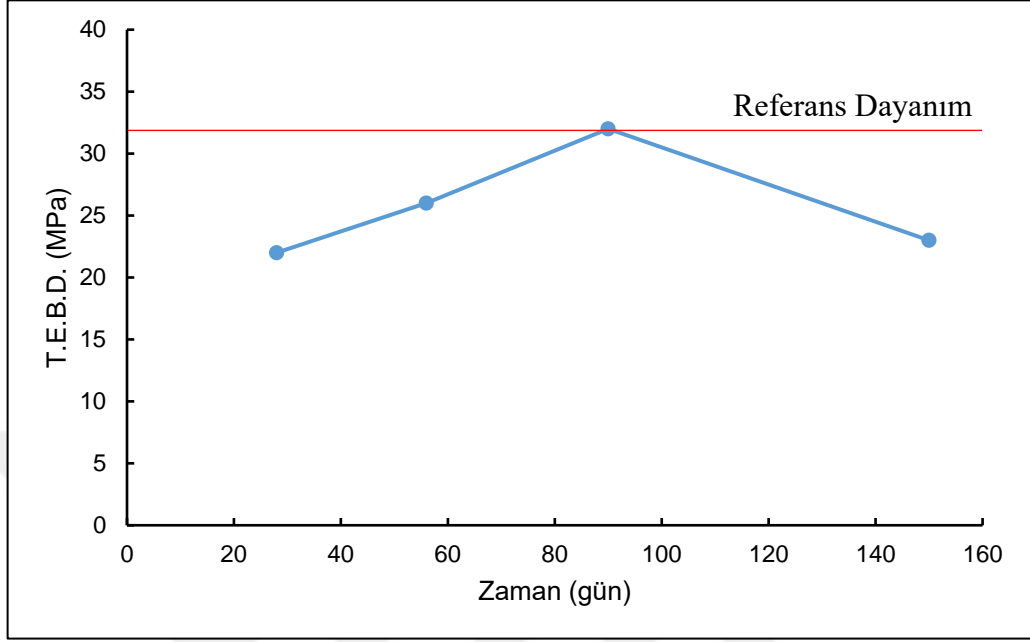
Öncelikle Altın madeni proses atıklarının %5, %10 ve %20 ikame oranlarına göre TEBD sonuçları sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1. %5 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

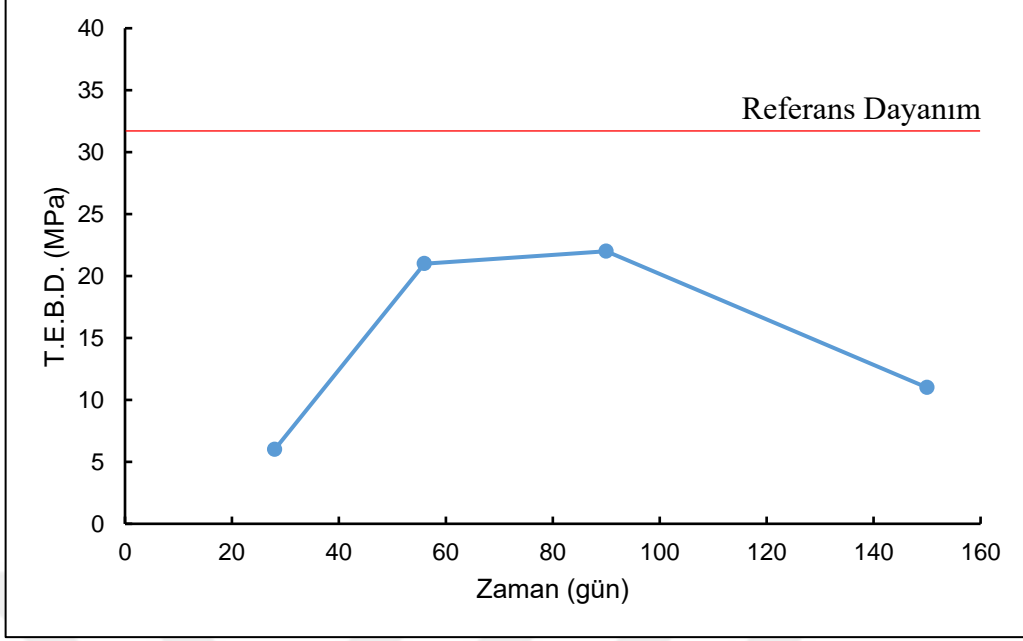
28, 56 ve 90 günlük kür sürelerine göre birbirini takip eden 3-4 MPa dayanım artışları ile en yüksek ~35 MPa değerine ulaşılmıştır. 150. günde ise ~11 MPa azalma gerçekleştiği Şekil 4.1'deki grafikten görülmektedir. Yalnızca standartta belirtilen karışım malzemelerine göre elde edilen referans dayanımını (32 MPa) 56. günde yakalarken 90. günde geçtiği Şekil 4.1'e

göre anlaşılmaktadır. Bu durum daha fazla atık ikamesiyle testlerin sürdürülmesini ortaya koymuş ve standart kum ikame oranı %10'a çıkarılarak dayanım testi uygulanmıştır (Şekil 4.2).



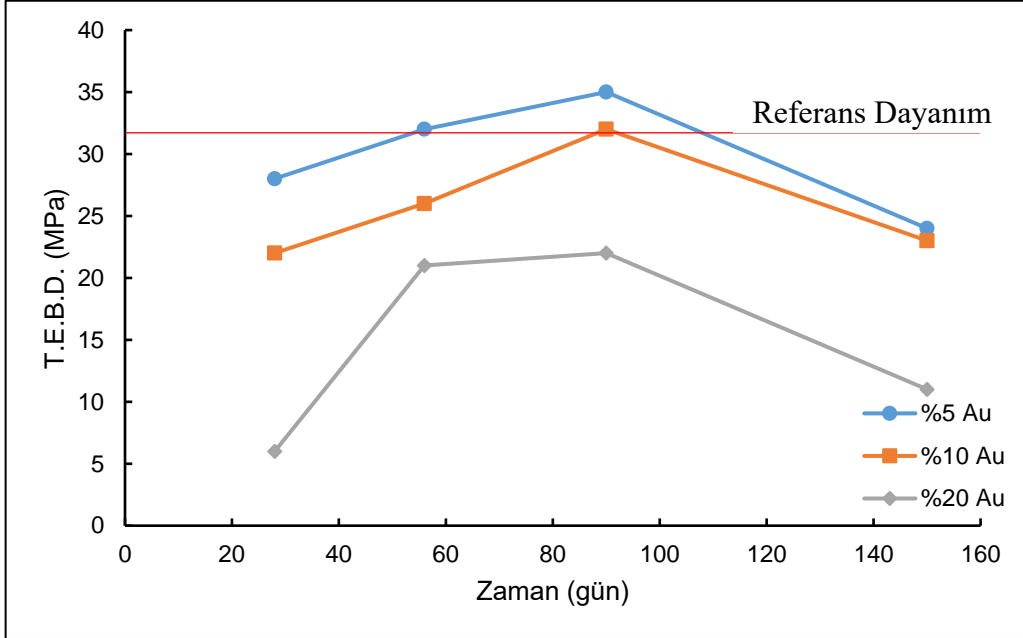
Şekil 4.2. %10 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

28. günde 22 MPa olan dayanım, 56. ve 90. günlerde sırasıyla 26 MPa ve 32 MPa'la ulaşılmış ve referans değer 90. gün de yakalanmıştır (Şekil 4.2). Dolayısıyla, ikame oranı artışıyla benzer dayanım davranışının olup olmadığını belirlemek için standart kum ikame oranı %20'ye çıkarılarak dayanım testi uygulanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. %20 Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Altın madeni proses atıklarından belli oranlarda kullanılarak oluşturulan numunelerin dayanımları genel görünüm olarak bir arada Şekil 4.3a'da verilmiştir.

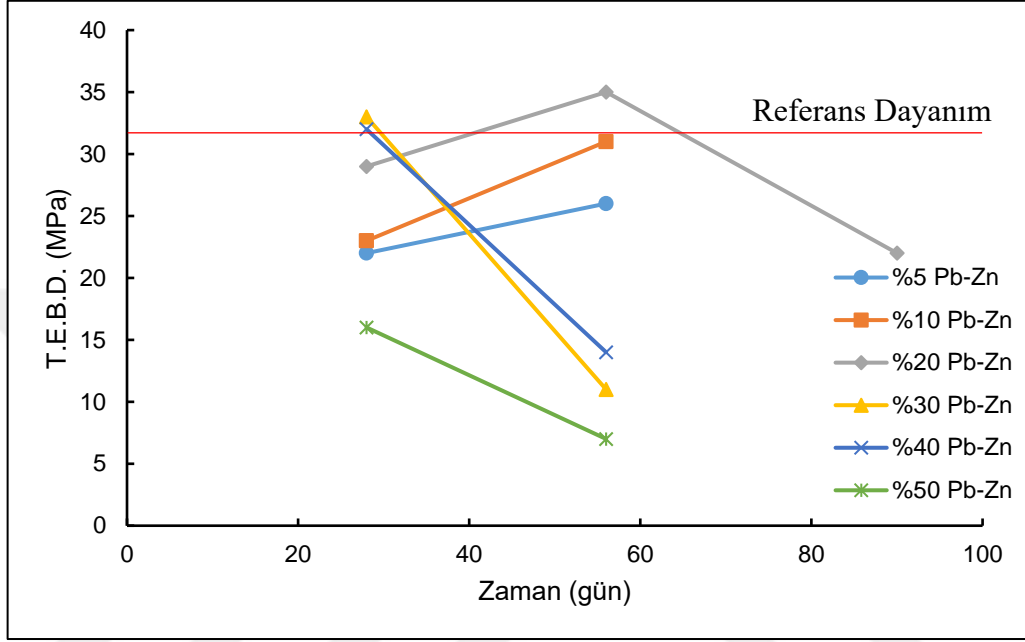


Şekil 4.3a. Altın madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Şekil 4.3a'ya göre Altın madeni proses atıkları genel olarak 90. gün süresine kadar puzolanik etki sağladığı ifade edilebilmektedir. Ancak 90. günden sonra yaşanan dramatik dayanım düşüşleri ise numunede oluşabilecek ikincil jipslerin ve etrenjit oluşumlarının devam ederek

malzemede hacimsel genişlemeye neden olması ve bunun sonucu olarak yapısal kılcal çatlakların oluşarak dayanımların azalmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

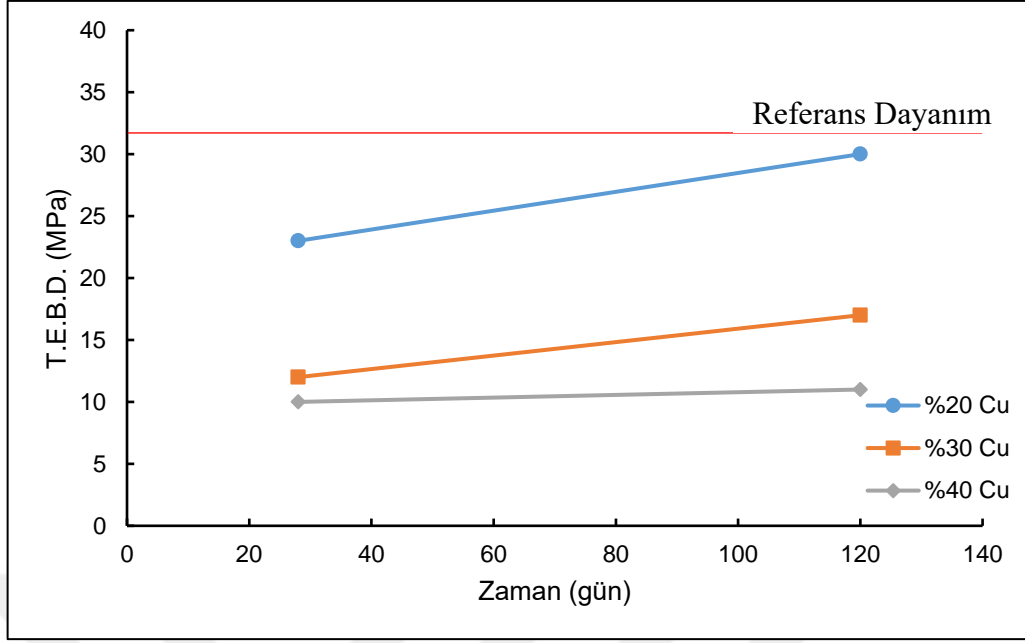
Pb-Zn madeni proses atıkları ise %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranlarına göre 28. gün ve 56. gün TEBD testleri yapılmış ve sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Pb-Zn madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Pb-Zn atıklarıyla yapılan harç malzemelerinin 28. günlük dayanım değerlerine bakıldığında %30 ve %40 ikame oranlarında referans değerinin yakalandığı Şekil 4.4'te görülmektedir. Ancak bu karışım oranındaki değerlerin dayanımlarının ise 56. günde ~%60 dayanımlarını kaybettiği, bu durumun aksine %5, %10 ve %20 ikame oranlarında ise dayanımların yükselme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Referans dayanımın üstünde 56. gündeki ~35 MPa ile en yüksek dayanımın elde edildiği %20 Pb-Zn ikamesindeki uzun dönem dayanım artış trendinin belirlenmesi için 90 günlük dayanım testi yapılmıştır. Ancak %40'a yakın dayanımın düştüğü belirlenmiştir. Bu durum uzun dönemde, Pb-Zn içerisinde bulunan özellikle pirit mineralinden kaynaklı sülfat ataklarının olabileceği riskini göstermektedir.

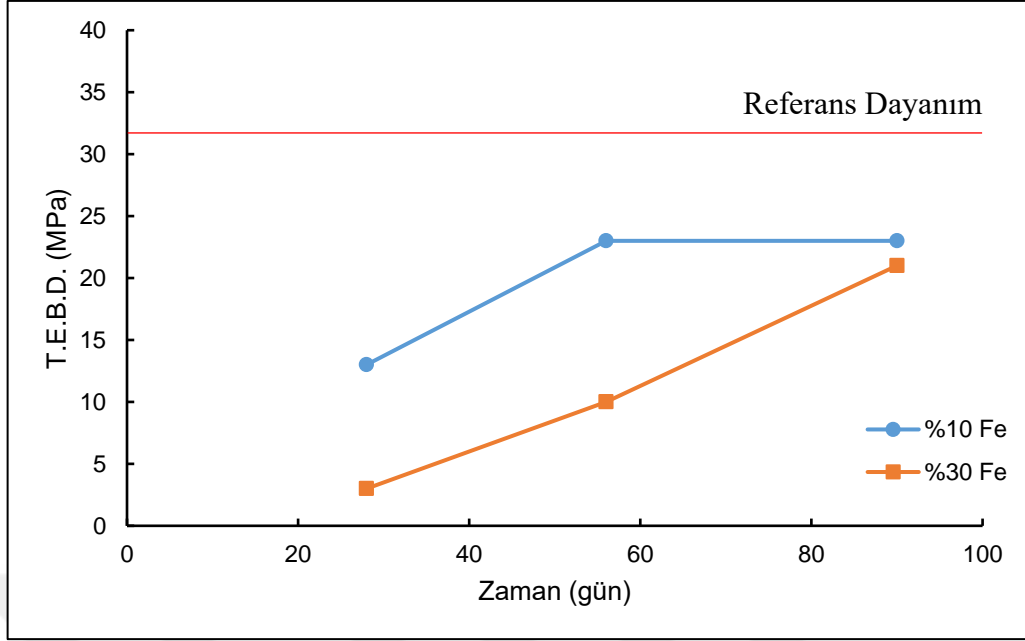
Bakır madeni proses atıklarının öncelikle %5, %10, %20, %30 ve %40 ikame oranlarına göre 28. gün dayanımları ölçülmüş ve sırasıyla 30 MPa, 21 MPa, 23 MPa, 12 MPa ve 10 MPa olarak belirlenmiştir. Karışımlarda atık miktarının fazla kullanılması amaçlandığı için %20 ve sonrasında uzun dönemli dayanım performansları araştırılmış ve sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir.



**Şekil 4.5.** Bakır madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Bakır ikame oranı arttırıldığında Şekil 4.5'e göre %20 Cu uzun dönem performansları açısından karışım reçetesinde sınır değeri oluşturduğu görülüyor.

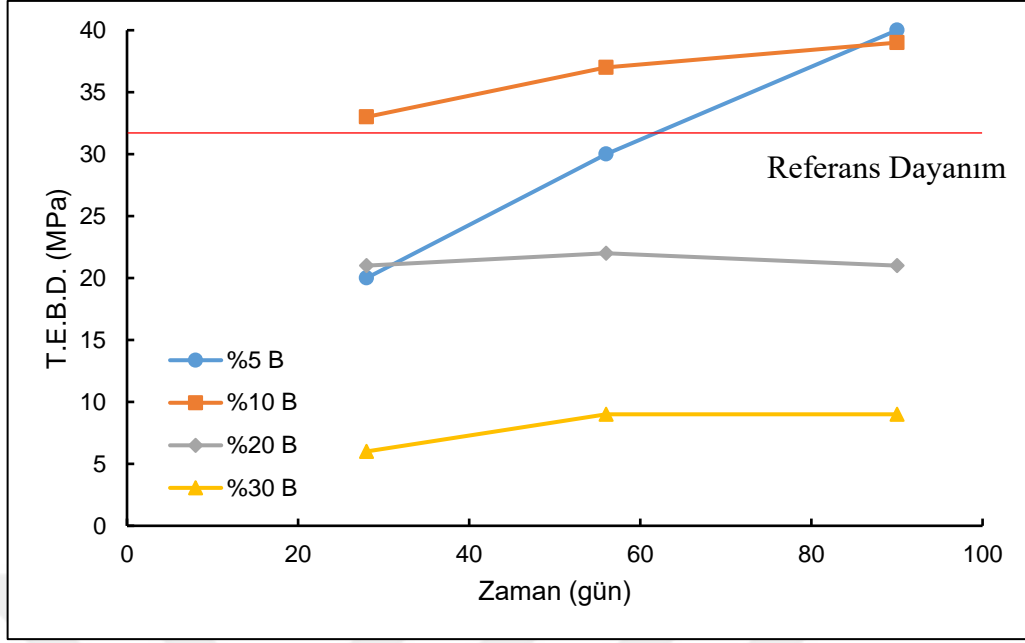
Bir diğer metal madenlerden olan Demir proses atıklarının ise daha önce elde edilen diğer metalik maden atıklarının ikame oranları dikkate alınarak %10 ve %30 olarak uygulanmıştır. Demir madeni proses atıklarıyla oluşturulan numunelerin 28, 56 ve 90 günlük dayanım değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Demir madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Şekil 4.6'ya göre Demir madeni proses atıklarının ikame oranlarındaki artışla doğru orantılı olarak puzolanik özellik gösterdiği ifade edilebilir. Bu sonuçlara göre %40 ikame oranı da test edilmiş ve 56. günde 8 MPa olan dayanım değerinin 90. günde 22 MPa çıktığı belirlenmiştir. %30 ve %40 ikame oranlarındaki %100'ün üzerindeki dayanım artışlarının Demir madeni proses atıklarından gelen Fe, Si ve Al oksitlerinin uzun dönemde çimentolaşma özelliklerini barındırmasından kaynaklı olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir.

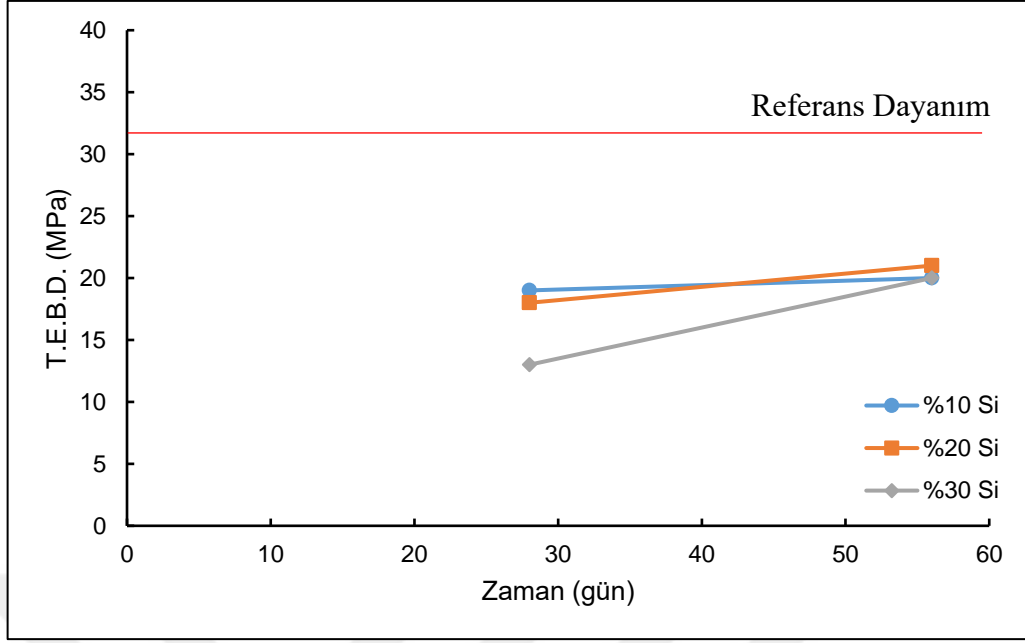
Endüstriyel bir alana giren Bor madenin proses atıkları %5, %10, %20 ve %30 ikame olarak kullanıldığı numunelerin 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerine göre dayanımları ölçülmüş ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Bor madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Şekil 4.7'ye göre %5 B ikameli numunenin dayanım artışı yüksek olsa da, %10 B içeren numune bütün kür sürelerinde referans değerinin üzerinde dayanım olarak daha avantajlı olduğu görülmüştür. Özellikle bu 2 farklı ikame oranının ~40 MPa'la ulaşması, sonraki sürecin daha detaylı araştırılabileceği hakkında fikir vermektedir.

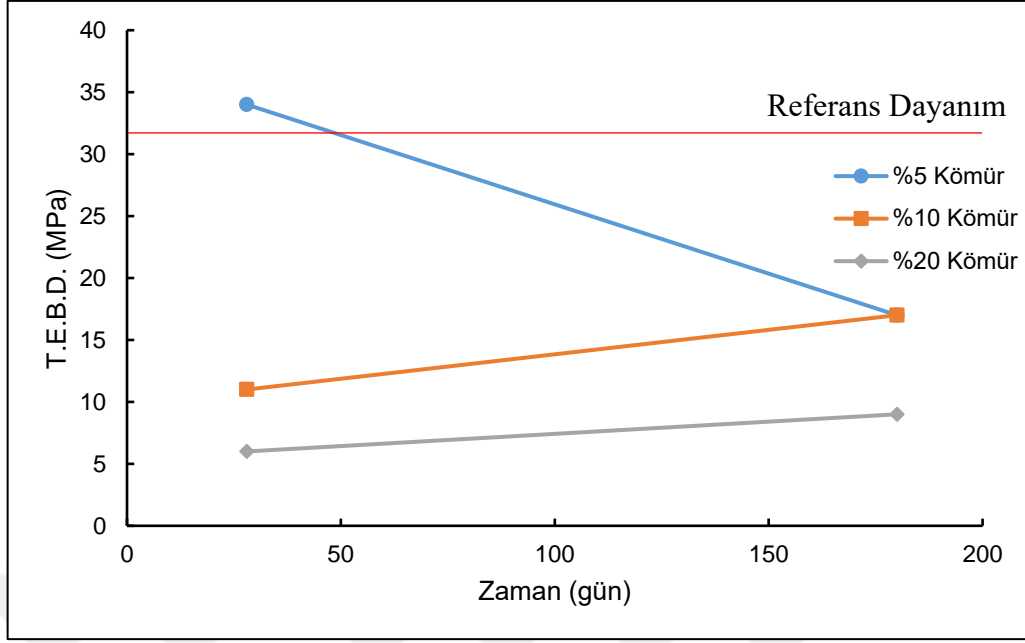
Bir diğer endüstriyel ürün üreten Silis madeni proses atıklarının öncelikle %5, %10, %20, %30 ve %40 ikame oranlarına göre 28. gün dayanımları ölçülmüş ve sırasıyla 28 MPa, 19 MPa, 18 MPa, 13 MPa ve 10 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre %10, %20, %30 Si ikamesi için 56 günlük kür sürelerindeki dayanım performansları araştırılmış ve sonuçları Şekil 4.8'te verilmiştir.



**Şekil 4.8.** Silis madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

Silis madeni proses atıklarının ikamesinde 28. gün dayanımı düşük olmasına rağmen 56. güne kadar en iyi dayanım gelişme süreci %30 Si içeren numunede oluşmuş ve ~20 MPa dayanımı olan diğer karışımları yakalamıştır. Ancak bütün ikame ve kür sürelerine göre de referans değerinin altında kalmıştır.

Enerji hammaddesi üreten Kömür madeni proses atıkları karışımında kullanıldığında ise %5, %10, ve %20'ye kadar test edilmiştir. Atıkların içerisinde kömür vb. organik madde olması nedeniyle kür süresi 180 gün tutularak uzun dönemdeki dayanım değişimleri belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir.

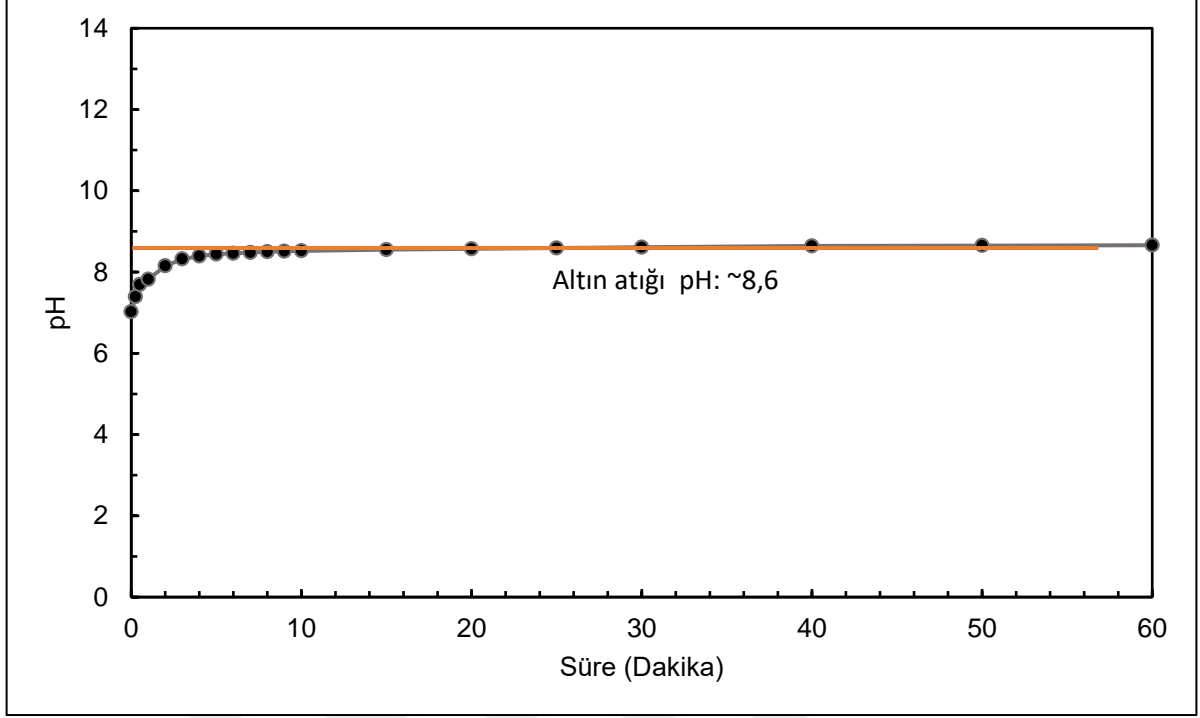


Şekil 4.9. Kömür madeni proses atığı ikamesinde zamana göre dayanım değerleri.

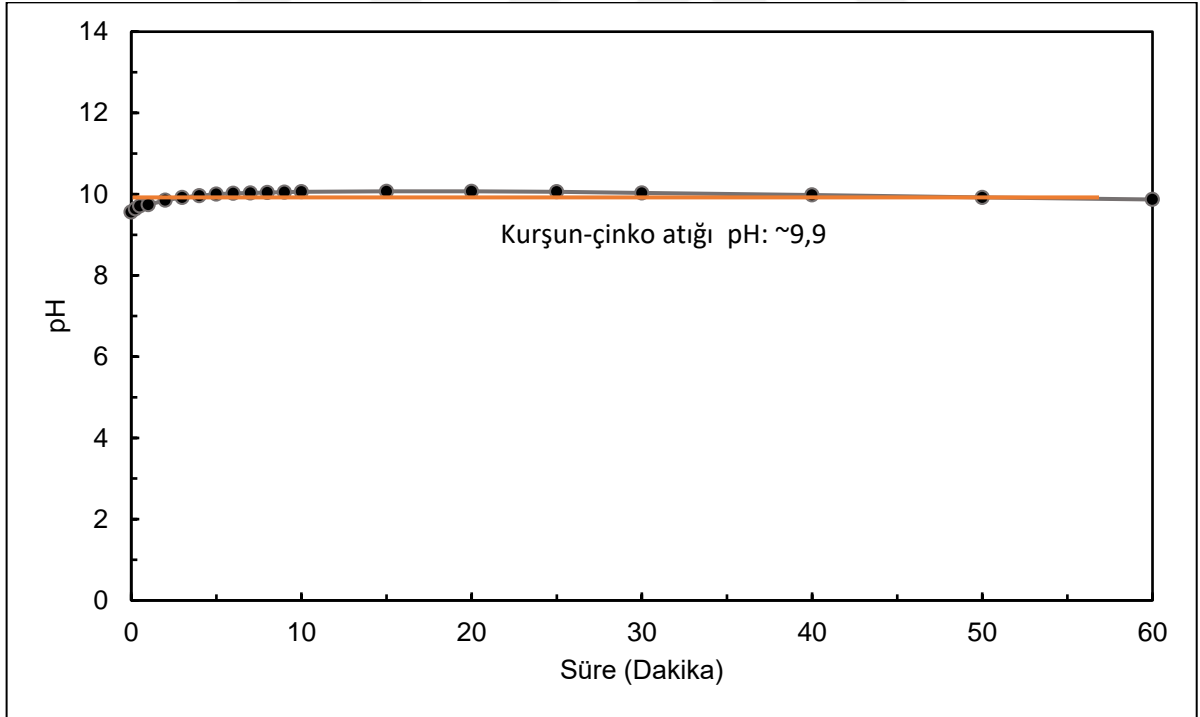
Kömürün gevrek ve kırılgen yapıda olması, ayrıca yan kayaçlarının genelde kıltaşı ve şistlerden oluşması nedeniyle dayanımlarda düşüşe neden olduğu ve belirgin bir artışa etken olmadığı Şekil 4.9'dan anlaşılmaktadır.

#### 4.2. Farklı maden proses atıklarının çevresel risk açısından pH değerleri

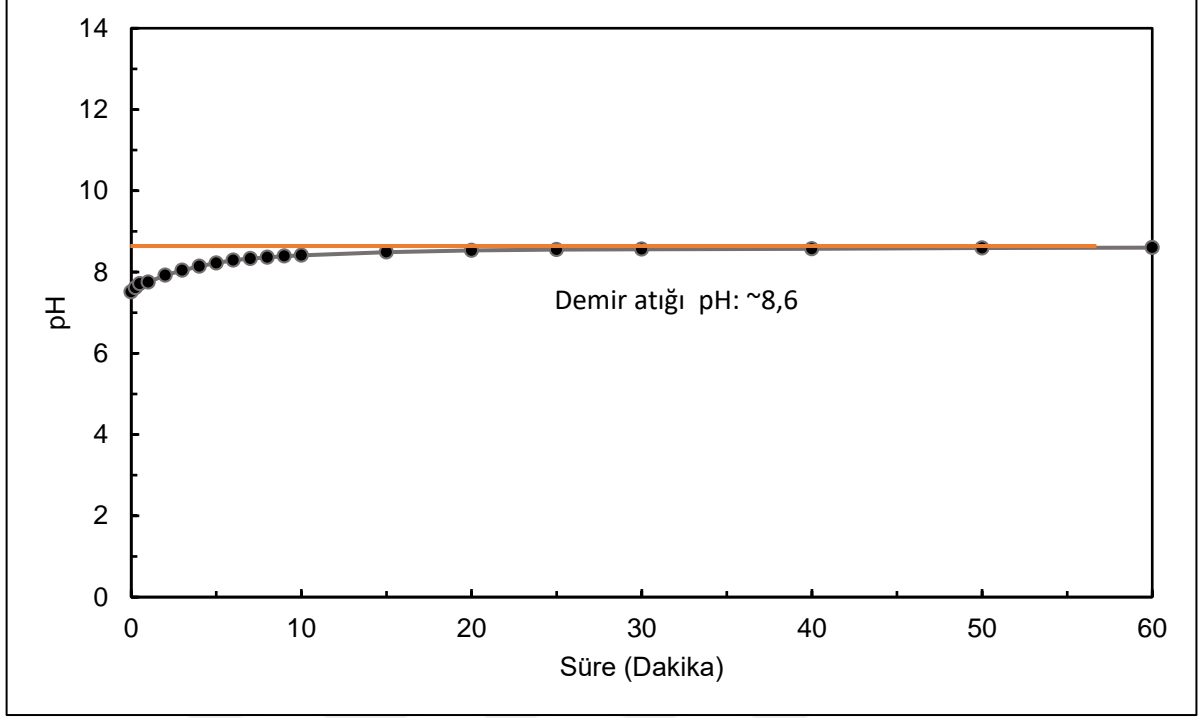
Çalışmada kullanılan Altın, Kurşun-Çinko (Pb-Zn) ve Demir madeni proses atıklarının pH profil sonuçları sırasıyla Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Altın madeni proses atığı pH profili.

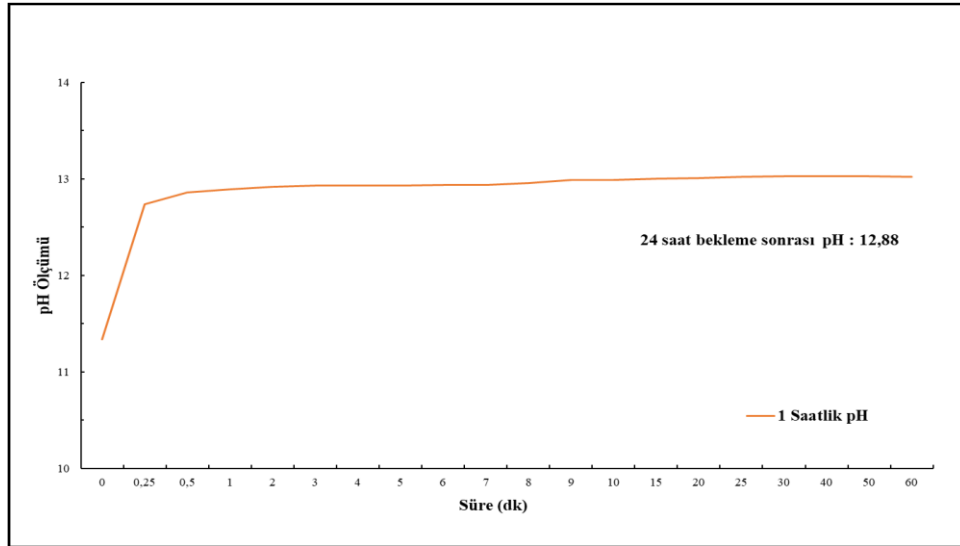


Şekil 4.11. Pb-Zn madeni proses atığı pH profili.



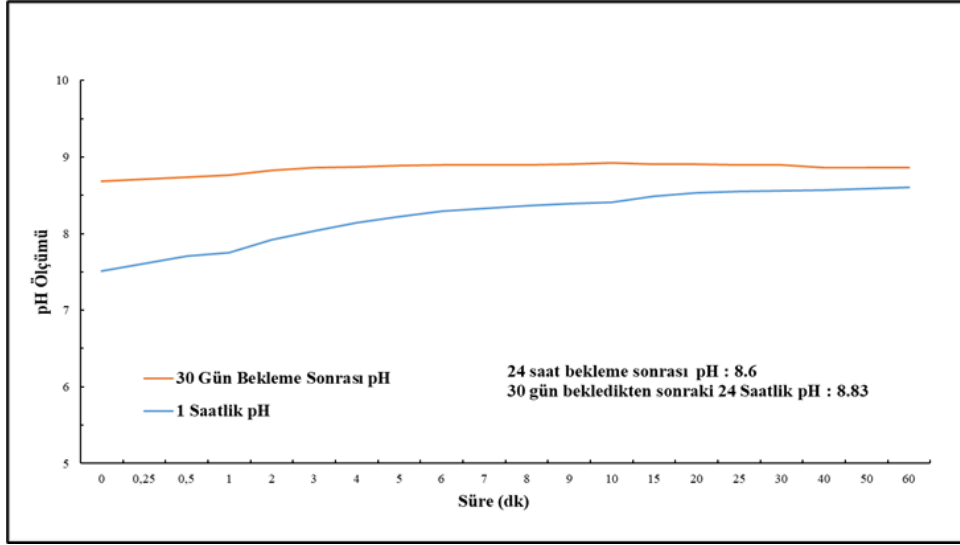
Şekil 4.12. Demir madeni proses atığı pH profili.

Çalışma sonucunda elde edilen demir, altın ve kurşun-çinko atıkları ile standart beton numunesi için pH değişimleri Şekil 4.13-4.19'da sunulmuştur.



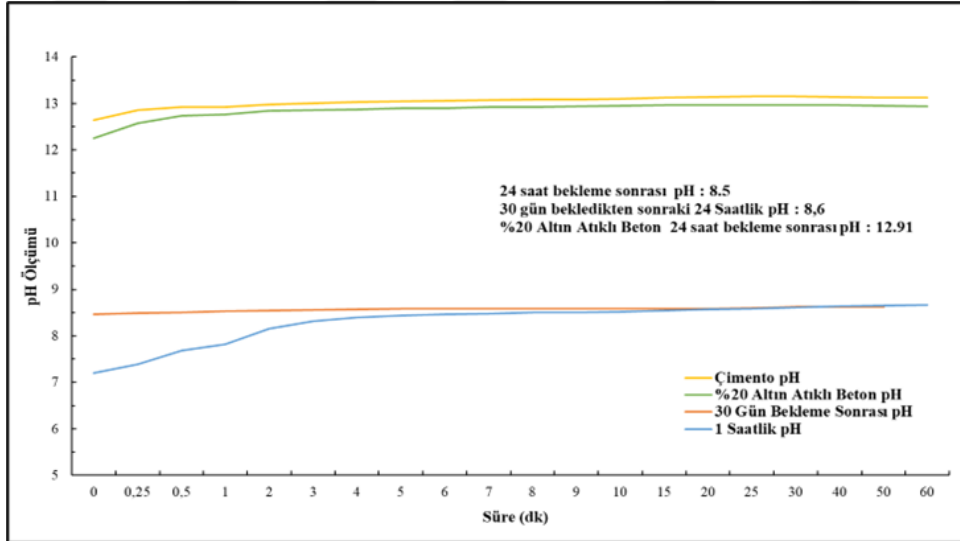
Şekil 4.13. Standart beton pH değişimi.

Şekil 4.13'e göre; 1 saatlik pH ölçümlerinde standart beton numunesinin pH'ı 13'de sabitlenmektedir. Aynı zamanda 24 saat normal koşullarda bekleyen standart beton numunesinin pH'ını ölçtüğümüzde 12,88 olduğu görülmüştür. Bu durum standart beton için buffer pH'nın 12,88-13 arasında olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.14. Demir atığı pH değişimi.

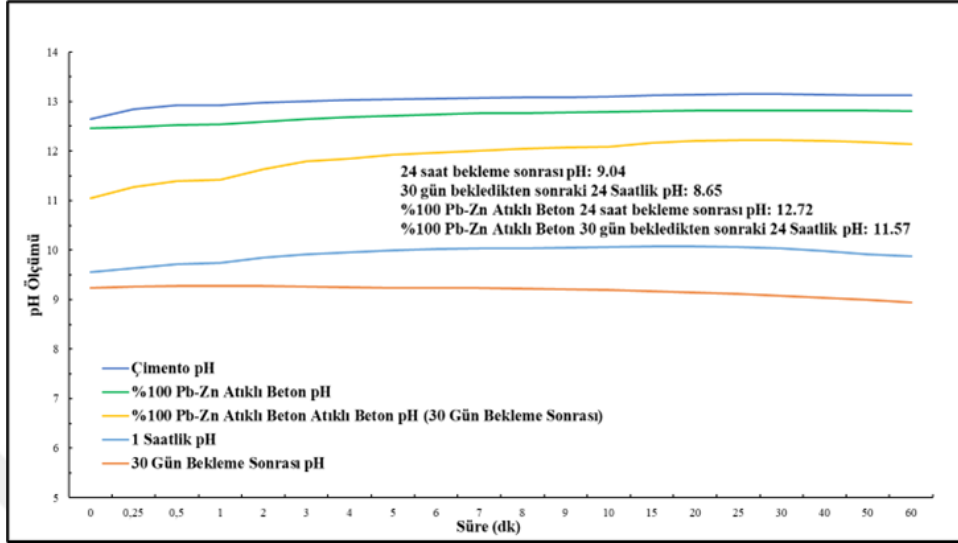
Şekil 4.14'e göre; 1 saatlik pH ölçümlerinde saf demir atığının pH'ı 8,60'da sabitlenmektedir. Aynı zamanda 30 gün normal koşullarda bekleyen saf demir atığının da pH'ını ölçtüğümüzde belli bir süre sonra 8,80'de sabitlendiği görülmüştür. Bu durum saf demir atığı için buffer pH'ının 8,6-8,8 arasında olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.15. Altın atığı pH değişimi.

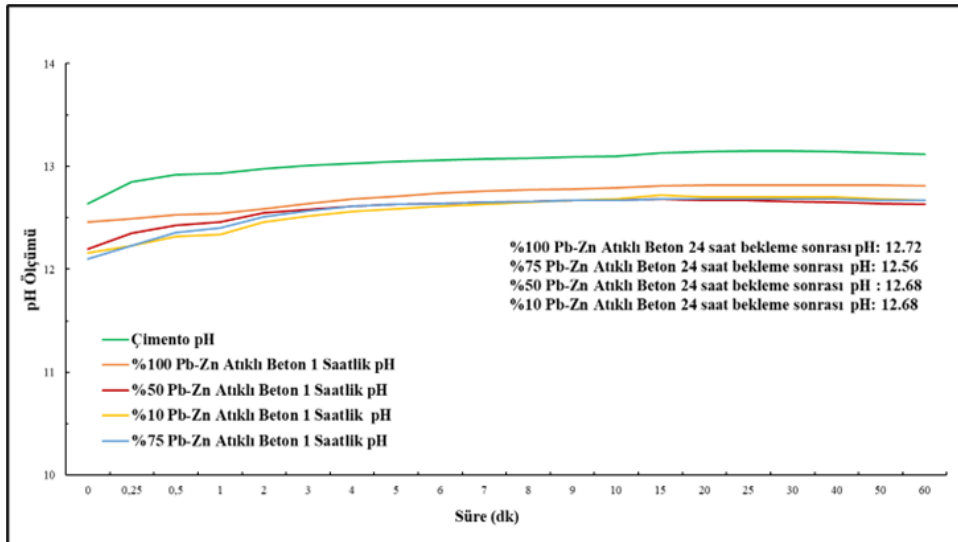
Şekil 4.15'e göre; 1 saatlik pH ölçümlerinde saf altın atığının pH'ı 8,5'te sabitlenmektedir. Aynı zamanda 30 gün bekleyen saf altın atığının da pH'ının belli bir süre sonra yine 8,6'da sabitlendiği görülmüştür. Bu durum saf altın atığı için buffer pH'ının 8,5-8,6 arasında olduğunu göstermektedir. Atıklı betonun pH'ı ise 1 saatlik ölçümlerde 12,90'da sabitlendiği, saf çimentonun pH'ının ise 13'te sabitlendiği görülmüştür. Altın atığının beton içerisinde

kullanıldığı zaman pH'ın, çimentonun pH'ından dolayı alkali bir ortam oluşmasına neden olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16. Pb-Zn atığı pH değişimi.

Şekil 4.16'ya göre; 1 saatlik pH ölçümlerinde saf Pb-Zn atığının pH'ı 10'da sabitlenmektedir. Aynı zamanda 30 gün normal şartlarda bekleyen saf Pb-Zn atığının da pH'ının ise 9,20'lerde sabitlendiği görülmüştür. 30 gün bekleme sonrası pH değerinin düştüğü, fakat her iki koşulda da alkali bir pH değeri elde edildiği görülmüştür. Bu durum Pb-Zn atığı için buffer pH'ının 9-10 arasında olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.17. Pb-Zn atıklı beton pH değişimi.

Şekil 4.17'ye göre; %100 Pb-Zn atıklı betonun pH'ı 1 saatlik ölçümlerde 12,80'de sabitlenirken, %75 Pb-Zn atıklı betonun 1 saatlik ölçümlerde ise pH'ı 12,56'da sabitlendiği, %50 Pb-Zn atıklı betonun pH'ı 1 saatlik ölçümlerde 12,68'de sabitlendiği, %10 Pb-Zn atıklı betonun pH'ı ise 1 saatlik ölçümlerde 12,68'de sabitlendiği görülmüştür. Saf çimentonun ise 1 saatlik ölçümlerde pH'ının 13'te sabitlendiği görülmüştür.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde çevre dostu malzemelerin kullanımı ve sürdürülebilir inşaat yöntemleri, çevresel etkileri azaltma ve kaynak kullanımını optimize etme ihtiyacı nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, maden atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak ve oluşturulan betonun basma dayanıklılığını ölçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Altın atığı, bor atığı, bakır atığı, demir atığı, Pb-Zn atığı, kömür atığı ve silis kumu atığı gibi farklı maden atıkları, farklı oranlarda beton karışımlarına eklenmiştir. Beton numuneleri, 28-56-90-120-150 günlerde basma dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

Elde edilen sonuçlar, maden atıklarının beton üretimindeki potansiyelini değerlendirmek ve inşaat sektöründe sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanımlarını teşvik etmek için önemli bir katkı sağlamaktadır. Aşağıda tartışmanın ana bulguları sunulmaktadır:

Atık oranı arttıkça genel olarak basma dayanımı azalmaktadır. Daha düşük atık oranlarında daha yüksek basma dayanımı değerleri elde edilirken, yüksek atık oranları düşük basma dayanımı değerlerine yol açmaktadır.

Bazı numunelerde, özellikle Altın örneklerinde, 28. günden 56. güne geçişte belirgin bir dayanım artışı olduğu gözlemlenmektedir. Diğer numunelerde ise 56. günden 90. güne geçişte dayanım artışı daha düşük olmuştur.

Silis kumu örnekleri, diğer atıklara kıyasla daha yüksek atık oranlarında bile nispeten yüksek basma dayanımına sahiptir.

Atık malzeme türüne bağlı olarak betonun mekanik özellikleri üzerinde farklı etkiler görülmektedir. Altın ve Silis kumu örnekleri genel olarak daha iyi basma dayanımına sahipken, diğer maden atıkları (Bor, Pb-Zn, Bakır, Demir, Kömür) genellikle daha düşük basma dayanımına sahiptir.

Zaman içinde betonun dayanıklılığı artmaktadır. Beton numuneleri, 28. gün, 56. gün ve 90 gün olmak üzere farklı zaman noktalarında değerlendirilmiştir. Genel olarak, 28. gün ile 56. gün

arasında bir dayanım artışı gözlenmiştir. Ancak, 90. gün değerlerinde bazı örneklerde dayanım düşüşü meydana gelmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, maden atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliği ve sürdürülebilir inşaat malzemelerinin geliştirilmesi konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Atık oranı, atık malzeme türü ve zaman faktörü gibi değişkenlerin betonun mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bazı atık malzemelerin, özellikle Altın ve Silis kumu gibi örneklerin, betonun basma dayanımını artırma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Ancak, atık oranının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi önemlidir, çünkü yüksek atık oranları genellikle düşük basma dayanımı değerlerine yol açmaktadır.

Daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları, farklı maden atıklarının beton karışımlarında kullanılabilirliğini ve optimum atık oranlarını belirlemek için yapılmalıdır. Bu şekilde, çevresel etkileri azaltma ve sürdürülebilir inşaat malzemelerinin kullanımını teşvik etme potansiyeline sahip yeni malzemeler ve yöntemler geliştirilebilir.

Sonuç olarak, maden atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliği ve bu atıkların betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, atık oranının ve malzeme türünün betonun basma dayanımını etkilediğini göstermektedir. Bu çalışma, sürdürülebilir inşaat malzemelerinin geliştirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli bir adım olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Ahmed, A. A., and Abouzeid, A. Z., 2011, An environmental solution for phosphate coarse waste reject-using them as concrete mix aggregates. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 39(1), 207-218.
- [2]. Andreola, F., Barbieri, L., Bondioli, F., 2012, Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment. *Dyes and pigments*, 94(2), 207-211.
- [3]. Argane, R., El Adnani, M., Benzaazoua, M., Bouzahzah, H., Khalil, A., Hakkou, R., Taha, Y., 2016, Geochemical behavior and environmental risks related to the use of abandoned basemetal tailings as construction material in the upper-Moulouya district, Morocco. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(1), 598-611.
- [4]. Alzubaidi, R., 2017, Recycling of Aluminum Byproduct waste in concrete production. *Jordan Journal of civil engineering*, 11(1).
- [5]. Ahmadi, Z., Esmaeili, J., Kasaei, J., & Hajialioghli, R., 2018, Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*, 16, 47-53.
- [6]. Al-Jabri KS., 2018, *Research on the use of Ferro-Chrome slag in civil engineering applications*. In MATEC Web of Conferences, 149, 010170.
- [7]. Amrani, M., Taha, Y., Kchikach, A., Benzaazoua, M., Hakkou, R., 2019, Valorization of phosphate mine waste rocks as materials for road construction. *Minerals*, 9(4), 237.
- [8]. Ahmad, J., Aslam, F., Zaid, O., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., 2021, Mechanical and durability characteristics of sustainable concrete modified with partial substitution of waste foundry sand. *Structural Concrete*, 22(5), 2775-2790.
- [9]. Ahmad, J., Majdi, A., Deifalla, A. F., Isleem, H. F., Rahmawati, C., 2022, Concrete made with partially substitutions of copper slag (CPS): State of the art review. *Materials*, 15(15), 5196.

- [10]. Boncukcuoğlu, R., Yılmaz, M. T., Kocakerim, M. M., Tosunoğlu, V., 2002, Utilization of borogypsum as set retarder in Portland cement production. *Cement and Concrete Research*, 32(3), 471-475.
- [11]. Butler, L., West, J. S., Tighe, S. L., 2011, *Quantification of recycled concrete aggregate (RCA) properties for usage in bridges and pavements: An Ontario case study*. In presentation at the Innovative Developments in Sustainable Pavements Session of the 2011 Annual Conf. of the Transport, Assoc. of Canada, Edmonton, Alberta.
- [12]. Binici, H., Aksogan, O., Sevinc, A. H., Kucukonder, A., 2014, Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with colemanite, barite, ground basaltic pumice and ground blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, 50, 177-183.
- [13]. Benayache, S., Alleg, S., Mebrek, A., Suñol, J. J., 2018, Thermal and microstructural properties of paraffin/diatomite composite. *Vacuum*, 157, 136-144.
- [14]. Colangelo, F., Forcina, A., Farina, I., Petrillo, A., 2018, Life cycle assessment (LCA) of different kinds of concrete containing waste for sustainable construction. *Buildings*, 8(5), 70.
- [15]. Coetzee, J. J., Bansal, N., Chirwa, E., 2020, Chromium in environment, its toxic effect from chromite-mining and ferrochrome industries, and its possible bioremediation. *Exposure and health*, 12(1), 51-62.
- [16]. Choudhary, R., Gupta, R., Alomayri, T., Jain, A., Nagar, R., 2021, Permeation, corrosion, and drying shrinkage assessment of self-compacting high strength concrete comprising waste marble slurry and fly ash, with silica fume. *In Structures* (Vol. 33, pp. 971-985).
- [17]. Chakrawarthy, V., Avudaiappan, S., Amran, M., Dharmar, B., Raj Jesuarulraj, L., Fediuk, R., Saavedra Flores, E., 2021, Impact Resistance of Polypropylene Fibre-Reinforced Alkali-Activated Copper Slag Concrete. *Materials*, 14(24), 7735.
- [18]. Can, S., Sarişik, A., Uygunoğlu, T., 2022, Effect of adding Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MgSO<sub>4</sub> solution on compressive strength of self-compacting concrete subjected to extreme conditions. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(4), 1-14.

- [19]. Chakrawarthy, V., Dharmar, B., Avudaiappan, S., Amran, M., Flores, E. S., Alam, M. A., Rashid, R. S., 2022, Destructive and non-destructive testing of the performance of copper slag fiber-reinforced concrete. *Materials*, 15(13), 4536.
- [20]. Barut, H.B., Karacasu, M., Gündüz, A., 2009, *Atık mermer pasalarının sıcak asfalt özelliklerine etkisi*, Mermer artıklarının değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması sempozyumu, 25-26 Haziran, Diyarbakır, Türkiye.
- [21]. Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan, M., 2007, Türkiye agrega sektör raporu. *Hazır beton dergisi*, Kasım-Aralık.
- [22]. Ceylan, H., Mañça, S., 2013, Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. *SDU Teknik bilimler dergisi*, Isparta, 3 (2), 21-25.
- [23]. Ramezaniyanpour, A. A., Malhotra, V. M., 1995, Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash, or silica fume. *Cement Concrete Composite*, vol.17, pp.125–133.
- [24]. Zorluer İ., Usta M., 2003, *Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi*. Türkiye IV. mermer sempozyumu (Mersem-2003) bildiriler kitabı, 18-19 Aralık.
- [25]. Aukour, F. J., 2009, Incorporation of marble sludge in industrial building eco-blocks or cement bricks formulation. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 3.
- [26]. Gnanavel, B., Ramkumar, T., Dhanapandian, S., 2009, Utilization of granite and marble sawing powder wastes as brick materials. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 4, 147 – 160.
- [27]. Ergün A., 2011, Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and building materials*, 25(2), 806-812.
- [28]. Gencel, O., Özel, C., Köksal, F., Erdoğan, E., Barrera, G. M., Brostow W., 2012, Properties of concrete paving blocks made with waste marble. *Journal of cleaner production*, Vol 21, Issue 1, 62-70.
- [29]. Hebhouh, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., ve Ghorbel, E., 2011, Use of waste marble aggregates in concrete. *Construction and building materials*, 25(3), 1167-1171.

- [30]. Omar S. A., Demirboga, R., Khushefati, W. H., 2012, Relationship between compressive strength and UPV of GGBFS based geopolymer mortars exposed to elevated temperatures. *Construction and building materials*, 94, 189-195.
- [31]. Ahmet ve arkadaşları (2013), Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3 (2), 21-25.
- [32]. Talah A, Kharchi F, Chaid R, 2015, Influence of marble powder on high performance concrete behavior. *Procedia engineering*, 114, 685-690.
- [33]. Bacarji, E., Toledo Filho, R. D., Koenders, E. A. B., Figueiredo, E. P., Lopes, J. L. M. P., 2013, Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. *Construction and building materials*, 45:1-10.
- [34]. Aliabdo, A. A., Elmoaty, A. E. M. A., Auda, E. M., 2014, Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and building materials*, 50, 28-41.
- [35]. Sütçü, M., Alptekin, H., Erdoğan, E., Er, Y., Gencil, O., 2015, Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. *Construction and building materials*, 82, 1-8.
- [36]. Tennich, M., Kallel, A. Ouezdou, M. B., 2015, Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. *Construction and building materials*, 91, 65–70.
- [37]. Vardhan, K., Goyal, S., Siddique, R., Singh, M., 2015, Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement, *Construction and building materials*, 96:615-621
- [38]. Soğancıoğlu M., Yel E., Yılmaz-Kesin U. S., 2015, Utilization of andesite processing wastewater treatment sludge as admixture in concrete mix. *Construction and building materials*, 46, 150-155.
- [39]. El-Alfi E. A., Gado, R. A., 2016, Preparation of calcium sulfoaluminate-belite cement from marble sludge waste , DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.103.
- [40]. Sadek, D. M., El-Attar, M. M., Ali, H. A., 2016, Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. *Journal of cleaner production*, 121, 19-32.
- [41]. Kore S. D, Vyas A. K., 2016, Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete. *Case studies in construction materials*, 4, 85-92.

- [42]. Dattatraya, A., Vyas, P. R., 2016, *Project level analysis using highway development and management model (HDM – 4) : A case study*. National conference on engineering, technology and management.
- [43]. Buzkan, C., Erman, O., 2020, Yapısal atıkların geri dönüşüm sorunu ve Türkiye’deki durumun mevzuat bakımından değerlendirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi doğal afetler uygulama ve araştırma merkezi, *Doğal afetler ve çevre dergisi*. 6 (1), 76 – 89, <https://doi.org/10.21324/dacd.570141>.
- [44]. Benahsina, A., Haloui Y. E., Taha, Y., Elomari, M., Bennouna, M. A., 2022, Substitution of natural clay by Moroccan solid mining wastes to manufacture fired bricks. *Materialstoday:proceedings*, 58, (4), 2022, 1324-1330.
- [45]. Pathak GC, Gupta B, Pandey N, 2012. Improving reproductive efficiency of chickpea by foliar application of zinc. *Brazillian journal of plant physiology* 24(3): 173-180.
- [46]. Ateş, K. T., 2022, Yapay zeka algoritmalarında kullanılan tahmin metotları ile çimento ve betonunun basınç dayanımına etki eden faktörlerin incelenmesi, *International journal of advances in engineering and pure sciences*. 34 (2), 242-261.
- [47]. Kuz’menko, O., Petlyovanyy, M., Stupnik, M., 2013, *The influence of fine particles of binding materials on the strength properties of hardening backfill*. Annual scientific-technical collection mining of mineral deposits, pp. 45–48. DOI: 10.1201/b16354-10.
- [48]. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., Sudakov, A., 2018, *Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits*. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, pp. 29–38. DOI: 10.29202/nvngu/2018-2/3.
- [49]. Pavlychenko, A. V., Fedotov, V. V., Buchavy, Yu. V., Kovalenko, A.A., 2014, *Development of electronic environmental passport of coal mine waste-rock piles*. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, pp. 105–110.

## İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Ulvi RAJABLİ Yüksek Lisans Tez

ORJİNALLİK RAPORU

% **12**

BENZERLİK ENDEKSİ

% **12**

İNTERNET KAYNAKLARI

% **2**

YAYINLAR

% **3**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

**1**

[acikbilim.yok.gov.tr](http://acikbilim.yok.gov.tr)

İnternet Kaynağı

% **2**

**2**

[docplayer.biz.tr](http://docplayer.biz.tr)

İnternet Kaynağı

% **2**

**3**

[www.kisrakderekomur.com](http://www.kisrakderekomur.com)

İnternet Kaynağı

% **1**

**4**

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

İnternet Kaynağı

% **1**

**5**

Submitted to The Scientific & Technological  
Research Council of Turkey (TUBITAK)

Öğrenci Ödevi

% **1**

**6**

[www.lidyamadencilik.com](http://www.lidyamadencilik.com)

İnternet Kaynağı

% **1**

**7**

[www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)

İnternet Kaynağı

% **1**

**8**

Anil Kumar Thakur, Asokan Pappu, Vijay  
Kumar Thakur. "Resource efficiency impact on  
marble waste recycling towards sustainable  
green construction materials", Current

% **1**