



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KATI ATIKLARIN ÇİMENTO
FABRİKALARINDA YAKIT OLARAK
KULLANILMA POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Necip Berat BAĞCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

**05-2025
KONYA**

TEZ KABUL VE ONAYI

Necip Berat BAĞCI. tarafından hazırlanan “Katı atıkların çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması” adlı tez çalışması 28/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Bilimi** Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Danışman

Prof. Dr. Ali TOR

Üye

Doç. Dr. Fatma KUNT

İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../2025 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Necip Berat BAĞCI

13.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

“KATI ATIKLARIN ÇİMENTO FABRİKALARINDA YAKIT OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI”

Necip Berat BAĞCI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Bilimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali TOR

2025, 134 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Doç. Dr. Fatma KUNT

Atıktan türetilmiş yakıtlar (ATY), farklı kaynaklardan elde edilen atık malzemelerin belirli işlemlerden geçirilerek enerji üretiminde kullanılabilir formda dönüştürülmesiyle elde edilen alternatif enerji kaynaklarıdır. Bu tez çalışmasında, çimento üretiminde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların, ATY ile ikame edilme potansiyeli teknik yeterlilik ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmiştir. Atık lastikler, atık yağlar, plastik atıklar (PET ve kablo), tekstil atıkları, organik tarımsal atıklar (buğday ve mısır sapı), arıtma çamurları, ambalaj atıkları ve solvent bazlı sıvı atıklar gibi çeşitli atık türleri, alternatif yakıt olarak kullanılabilirlikleri bakımından analiz edilmiştir. Artan enerji maliyetleri ve sıkılaştıran çevre politikaları, bu tür atıkların enerji geri kazanımı amacıyla değerlendirilmesini çimento sektörü açısından stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir.

Çalışma bulgularına göre: atık yağlar, lastikler ve PET türü plastikler, yüksek kalorifik değerleri ile birlikte düşük nem ve klor içerikleri sayesinde çimento fırınlarında doğrudan kullanılabilir teknik uygunluğa sahiptir. Buna karşın, kablo plastikleri, tekstil atıkları ve organik saplar gibi yüksek klor içeren atıklar, yalnızca harmanlama, ön işlem ya da Cl-bypass sistemleri ile sınırlı oranlarda kullanılabilir. Arıtma çamurları ise yüksek nem ve düşük enerji içeriği nedeniyle ancak kurutma gibi ön hazırlık süreçlerinin ardından değerlendirilebilir hale gelmektedir. İncelemesi yapılan atıklar arasında atık yağ ve ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL), alternatif yakıt olarak kullanılabilir potansiyeli açısından öne çıkmaktadır. Ancak arıtma çamuru ve boya çamuru atıkları, yüksek nem içerikleri ve düşük kalorifik değerleri nedeniyle doğrudan alternatif yakıt beslemesine uygun değildir.

Sonuç olarak, teknik parametreleri karşılayan atık türlerinin alternatif yakıt olarak çimento üretiminde kullanılması, fosil yakıt tüketiminin azaltılması, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ve atıkların enerjiye dönüştürülmesi bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışma, çimento endüstrisinde alternatif yakıt kullanımının teknik uygunluk, çevresel katkı ve uygulama stratejileri açısından kapsamlı bir değerlendirmesini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atıktan Türetilmiş Yakıt, Atık Yönetimi, Çimento, Enerji, Katı Atıklar, Sürdürülebilirlik,

ABSTRACT

MS THESIS

“KATI ATIKLARIN ÇİMENTO FABRİKALARINDA YAKIT OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI”

Necip Berat BAĞCI

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL SCIENCE DEPARTMENT

Advisor: Prof. Dr. Ali TOR

2025, 134 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Doç. Dr. Fatma KUNT

Refuse-Derived Fuel (RDF) refers to an alternative energy source obtained by processing various types of waste materials into a form suitable for use in energy production. This thesis investigates the potential of replacing conventional fossil fuels used in cement production with RDF, focusing on both technical feasibility and environmental impacts. Various waste streams, including scrap tires, waste oils, plastic wastes (PET and cable), textile wastes, agricultural residues (such as wheat and corn straw), sewage sludge, packaging wastes, and solvent-based liquid wastes were analyzed in terms of their applicability as alternative fuels. Rising energy costs and tightening environmental regulations have rendered the use of such waste-derived fuels a strategic necessity for the cement industry.

The analysis revealed that waste oils, tires, and PET plastics exhibit high calorific values with low moisture and chlorine content, making them technically suitable for direct use in cement kilns. In contrast, cable plastics, textile wastes, and agricultural residues contain high chlorine levels and can only be used in limited proportions with appropriate preprocessing, blending, or within facilities equipped with Cl-bypass systems. Sewage sludge, due to its low energy content and high moisture, requires drying processes before being considered viable as a fuel. Among the wastes examined, waste oil and end-of-life tires (OTL) stand out in terms of their potential to be used as alternative fuel. However, sewage sludge and paint sludge wastes are not suitable for direct alternative fuel feeding due to their high moisture content and low calorific value.

In conclusion, the integration of technically compliant RDF into cement production can significantly reduce fossil fuel dependency, lower greenhouse gas emissions, and promote energy recovery from waste. This study provides a comprehensive evaluation of the selection, applicability, and environmental advantages of alternative fuels in the cement sector.

Keywords: Cement, Energy, Refuse-Derived Fuel, Solid Waste, Sustainability, Waste Management,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince sürekli desteklerini esirgemeyen, danışmanım Prof. Dr. Ali TOR'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Çözüm Endüstriyel Atık İşletme Sanayi ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Mete Emre ERGÜÇLÜ, İşletme Müdürü Vedat RADIF ve İşletme Şefi Yasin Yusuf UÇAR'a destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim. Yardımlarımı her zaman hissettiğim KTÜN Öğr. Gör. Muhammed Hasan EKEN ve tüm arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, her zaman her koşulda yanımda olan ve bana desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Necip Berat BAĞCI

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇİMENTO NEDİR?	2
1.1.1. Çimentonun Ana Bileşenleri:.....	3
1.1.2. Çimento Türleri.....	4
1.2. ÇİMENTO ÜRETİM TESİSLERİNDE ÜRETİM PROSESLERİ VE AŞAMALARI.....	6
1.2.1. HAMMADDELERİN HAZIRLANMASI	6
1.2.2. HAMMADDELERİN HOMOJENLEŞTİRİLMESİ.....	6
1.2.3. HAM KARIŞIMIN FIRINA HAZIRLIK SÜRECİ.....	7
1.2.4. KLİNKER ÜRETİMİ (PIŞIRME SÜRECİ).....	7
1.2.5. ÇİMENTO ÖĞÜTME	8
1.2.6. ÇİMENTONUN DEPOLANMASI VE AMBALAJLANMASI	8
1.2.7. KALİTE KONTROL VE SEVKİYAT.....	8
1.2.8. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKIT TÜRLERİ	9
1.2.9. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ENERJİ KULLANIMI	12
1.2.10. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ÇEVRESEL ETKİLER	13
1.2.11. ATIK TANIMI VE TÜRLERİ	16
1.2.12. ATIK YÖNETİMİ NEDİR?	18
1.2.13. Çimento Üretiminde Katı Atıkların Kullanımı	21
1.2.14. Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	24
1.2.15. ATY Üretiminde Kullanılan Atık Kodları	28
1.2.16. ATY Üretimi Ve Aşamaları.....	28
1.2.17. Organik Ve İnorganik Atıklar	32
1.2.18. PARÇALAMA VE BOYUTLANDIRMA SÜRECİ	32
1.2.19. Boyut Küçültmede Kullanılan Makine (Kırıcı) Ekipmanlar	32
1.2.20. Homojenleştirme Ve Enerji Değerlerini Optimize Etme.....	43
1.2.21. Depolama Ve Taşıma Süreçleri	44
1.2.22. Kullanım Alanları Ve Yanma Teknolojileri	44
1.2.23. Çimento Üretiminde Fosil Yakıtlar Yerine Alternatif Yakıt Kullanımının Avantaj/Dezavantajları	44
1.2.24. Sera Gazı Nedir?	46
1.2.25. Emisyon Hesaplama Yöntemleri	48
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	50
2.1. Literatürde Yer Alan Çalışmalar.....	50

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	58
3.1. Çimento Üretimde Kullanılan Yakıt Türleri.....	58
3.2. ANALİZ SÜRESİNCE KULLANILAN CİHAZLAR.....	58
3.2.1. Kalorimetre Cihazı (IKA WERKEN C 7000).....	59
3.2.2. Spectro Cihazı (AMETEI).....	60
3.2.3. Etüv Kurutma Cihazı (MEMMERT).....	61
3.2.4. Kırıcı/Öğütücü Cihazı (RETSCH SM 200).....	62
3.2.5. Terazi (TENVER TP-214).....	63
3.3. KULLANILAN FOSİL YAKITLARIN KARBON AYAK İZİ HESAPLAMALARI.....	64
3.3.1. Hesaplama Kullanılacak Faktörler.....	64
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
4.1. Toz Kömür.....	68
4.2. Petrokok.....	69
4.3. Doğalgaz.....	69
4.4. Atık Lastikler.....	70
4.5. Atık Yağlar.....	72
4.6. Plastik Atıklar.....	73
4.7. Organik Atıklar.....	75
4.8. Tekstil Atıkları.....	77
4.9. Arıtma Çamurları.....	78
4.10. Ambalaj Atıkları.....	80
4.11. Kimyasal Solventler.....	81
4.12. Fosil Yakıtların Oluşturduğu CO ₂ Emisyonlarının Hesaplanması.....	84
4.13. Tüketilen Atıklardan Hesaplanan CO ₂ Emisyon Hesapları.....	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
5.1 Sonuçlar.....	92
5.2 Öneriler.....	95
6. KAYNAKLAR.....	96
EKLER.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	:	Yüzde
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum Oksit
CaCO ₃	:	Kalsiyum Karbonat
CaO	:	Kalsiyum Oksit
CaSO ₄ -H ₂ O	:	Kalsiyum Sülfat Dihidrat
CH ₄	:	Metan
Cl	:	Klor
CO ₂	:	Karbondioksit
Fe ₂ O ₃	:	Demir Oksit
Gg	:	Gigagram
Nm ³	:	Nanometre küp
NO _x	:	Azot Oksit
°C	:	Santigrat Derece
PM	:	Partikül Madde
SiO ₂	:	Silisyum dioksit
SO ₂	:	Kükürt Dioksit
tCO ₂ e	:	Ton Karbondioksit Eşdeğeri
TJ	:	Terajoule

Kısaltmalar

ATY	:	Atıktan Türetilmiş Yakıt
GHG	:	Greenhouse Gas
IPCC	:	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	:	Uluslararası Standartlar Standartı (International Organization for Standardization)
Kcal	:	Kilokalori
Kg	:	Kilogram
KİP	:	Küresel Isınma Potansiyeli
Lt	:	Litre
Mm	:	milimetre
Mt	:	milyon ton
NKD	:	Net Kalorifik Değer
OES	:	Optik Emisyon Spektrometresi
ÖTL	:	Ömrünü Tamamlamış Lastik
RDF	:	Refused Derived Fuels
SRF	:	Solid Recovered Fuels
T	:	Ton
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünya genelinde artan nüfusla birlikte insanlığın tüketim düzeyi de sürekli olarak yükselmektedir. Nüfus artışıyla paralel şekilde gelişen tüketim alışkanlıkları, atık yönetimi ve atıkların geri kazanımı konularını her zamankinden daha önemli hâle getirmektedir. Fosil kaynakların sınırlı olması ve enerji üretim maliyetlerinin giderek artması, enerjinin sürdürülebilir yöntemlerle üretilmesi ve tüketilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerjinin daha verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artırılması bir zorunluluk hâline gelmiştir.

Türkiye çimento sektörü, yıllık yaklaşık 72 milyon ton çimento üretimi gerçekleştirmekte olup, bunun yaklaşık 20 milyon tonunu ihraç etmektedir. 2016 yılı verilerine göre, Türkiye genelinde faaliyet gösteren toplam 70 çimento fabrikası bulunduğu göz önüne alındığında, bu sektör için alternatif yakıt kullanımının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır (URL1).

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), geri dönüşüm süreçleri aracılığıyla atıklardan elde edilen bir enerji kaynağıdır. Bu yakıtlar, çeşitli atık materyallerin işlenmesi ve enerjiye dönüştürülmesiyle üretilmektedir. ATY üretim teknolojileri, hızla artan dünya nüfusunun beraberinde getirdiği enerji ihtiyacının karşılanmasına önemli katkılar sunmaktadır. ATY, atıkları yalnızca bertaraf edilmesi gereken unsurlar olmaktan çıkarıp, enerji üretimi yoluyla çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayan ve doğal kaynakların korunmasını destekleyen stratejik bir enerji çözümüdür.

ATY'nin temel amacı, atıkların enerjiye dönüştürülmesi yoluyla çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve enerji tüketiminde kaynak çeşitliliğinin artırılmasıdır. Bu yakıt türü: elektrik üretimi, ısıtma sistemleri, sanayi üretimi ve ulaşım gibi çeşitli sektörlerde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. ATY kullanımı, hem atıkların ekonomik değere dönüştürülmesini sağlamak hem de fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji tüketiminin daha sürdürülebilir bir biçimde gerçekleştirilmesine katkı sunmaktadır (Kaya, 2024).

Çimento sektörü, kullanım ömrünü tamamlamış araç lastikleri (ÖTL), atık kâğıtlar, atık yağlar, ahşap atıkları, arıtma çamurları, plastikler, yüksek kalorifik değere sahip ATY'ler ve kullanımı sona ermiş solventler gibi çeşitli atık türlerini alternatif yakıt olarak değerlendirmektedir. Bu atıkların enerji üretiminde değerlendirilmesi, çimento sanayisinin fosil yakıt tüketiminde tasarruf sağlamasının yanı sıra, atıkların geri dönüşümünü destekleyerek çevresel korunmaya da katkıda bulunmaktadır.

Etkin atık yönetimi stratejileri sayesinde, katı atık yakma ve bertaraf tesislerine gönderilen atık miktarında azalma sağlanacak ve dolayısıyla bu tür yeni tesislerin kurulmasına olan ihtiyaç en aza indirilecektir. Aynı zamanda mevcut bertaraf tesislerinin kapasite artışı gereksinimi sınırlanacak, bu da çevresel ve ekonomik anlamda sürdürülebilir bir atık yönetimi sisteminin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır (Özel, 2011).

Bu çalışmanın amacı, çimento fabrikalarında üretim sürecinde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar yerine, bertaraf edilmek üzere tesise getirilen katı atıkların atıktan türetilmiş yakıt (ATY) olarak kullanım potansiyelini araştırmaktır. Çalışmada, söz konusu atık yönetimi yaklaşımının çevre ve atık yönetimi açısından sağlayabileceği olumlu katkılar değerlendirilmiş: aynı zamanda bu yöntemin avantajları ve dezavantajları detaylı bir biçimde ortaya konulmuştur. Elde edilecek bulguların, ilerleyen dönemlerde yapılacak benzer araştırmalara ve konuya ilişkin literatüre katkı sunma potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir.

Bununla birlikte, çimento fabrikalarında klinker üretimi sırasında fırınların ısı dengesi açısından, petrol türevi yakıtlarla RDF (Refuse Derived Fuel) yakıtların karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiş: her iki yakıt türünün ısı dengesi üzerindeki etkileri ile atmosfere salınan gazların miktarları karşılaştırılarak sera gazı emisyon salınım miktarları (tCO₂e) değerlendirilmiştir.

1.1. ÇİMENTO NEDİR?

Çimento, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, su ile birleştiğinde sertleşerek dayanıklı bir yapı kazanan bir bağlayıcı maddedir. Genellikle beton ve harç gibi inşaat malzemelerinin üretiminde temel bileşen olarak kullanılır. Çimento, kireç taşı, kil, alçıtaşı ve diğer bazı minerallerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilir ve kimyasal bir süreçle sertleşir (URL2).

Çimento üretimi sırasında, bu minerallerin yaklaşık 1450°C'de yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle klinker adı verilen bir madde oluşur (Şekil 1.1.1.). Oluşan klinker, daha sonra ince toz haline getirilir ve alçıtaşı gibi katkı maddeleriyle karıştırılır. Çimento suyla birleştiğinde, hidrasyon adı verilen kimyasal bir reaksiyon başlar ve sonuç olarak sertleşir, bu da çimentoyu yapıların yapı taşı yapan özelliğidir (Ekincioğlu, Gürgün, Engin, Tarhan, & Kumbaracıbaşı, 2013).



Şekil 1.1.1. Klinker (URL3)

Çimento, inşaatta beton ve harç gibi yapısal malzemelerin üretimi için kullanılır. Beton, çimentonun kum, çakıl ve suyla karıştırılmasıyla yapılırken, harç da çimentonun su ve kum ile karıştırılmasıyla elde edilir.

1.1.1. Çimentonun Ana Bileşenleri:

- **Kalsiyum Oksit (CaO):** Çimentonun temel bileşenidir, genellikle kireç taşı veya kalker minerallerinden sağlanır (Yıldız, 2021).
- **Silisyum Dioksit (SiO₂):** Kum ve kil gibi minerallerde bulunur ve çimentonun dayanıklılığını artırır (Yıldız, 2021).
- **Alüminyum Oksit (Al₂O₃):** Çimentonun dayanıklılığını etkileyen bir bileşendir (Yıldız, 2021).
- **Demir Oksit (Fe₂O₃):** Çimentonun renk ve kuvvet özelliklerine etki eden bir bileşendir (Yıldız, 2021).

Çimento ile su karıştırıldığında, hidrasyon (hidratasyon) süreci başlar ve bu süreç çimentonun dayanıklı bir malzeme haline gelmesini sağlar. Çimentonun yukarıda belirtilen özellikleri, onu inşaat sektöründe temel bir yapı malzemesi yapmaktadır.

1.1.2. Çimento Türleri

Avrupa ve Amerika standartlarına göre pek çok farklı çimento türü bulunmaktadır. Türkiye'de ise, standartlara uygun üretilen çimento çeşitleri arasında en çok tercih edilenler Portland çimentosu ve Portland kompoze çimentosudur. Son yıllarda, karbon salınımı ve çevresel sürdürülebilirlik konularına yönelik artan duyarlılık nedeniyle, katkı maddeleri içeren çimento türlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. TS EN 197-1 standardına göre çimentoların genel sınıflandırılması Tablo 1.1'de tanımlanmıştır (URL2).

Tablo 1.1. TS EN 197-1 standardına göre genel çimentolar (URL2)

CEM I	Portland çimentosu
CEM II	Portland Kompoze Çimento
CEM III	Yüksek fırın cürüflü çimento
CEM IV	Puzolanik çimento
CEM V	Kompoze çimento

TS EN 197-1 standardında yer almayan, ancak Avrupa standartlarına göre tanımlanan diğer çimento türleri, Tablo 1.2.'de belirtilmiştir.

Tablo 1.2. Avrupa standardına göre diğer çimentolar (URL2)

TS EN 14216	Çok düşük ısı çimento
TS EN 15743	Süper sülfat çimentoları
TS EN 14647	Kalsiyum alüminat çimentosu
TS EN 413-1	Harç çimentosu
TS 13353	Borlu aktif belit çimentosu
TS 21	Beyaz Portland çimentosu
TS 1769	Sorel Çimentosu

Betonla inşa edilen bir yapının özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biri, kullanılan çimentonun türüdür. Bu nedenle, farklı çimento türlerinin belirli uygulama alanları vardır. Tablo 3'te çimento türlerine göre kullanım alanları belirtilmiştir.

Tablo 1.3. TS EN 197-1 standardına göre genel çimentoların kullanım alanları (URL2)

CEM I ve CEM II TİPİ ÇİMENTOLAR	
Beton yollar	
Betonarme yapılar ve borular	
Yol kaplamaları	
Yüksek yapılar	
Demir yolu traversleri	
Köprüler ve viyadükler	
Su depoları	
Öngermeli betonlar	
Beton briket	
Tünel kalıp uygulamaları	
Yapı kimyasalları	

CEM III TİPİ

Kıyı ve liman inşaatları
 Su tesisleri ve su kanaletleri
 Baraj inşaatları
 Açık deniz yapıları
 Temel kazıkları
 Tüneller ve tünel kaplamaları
 Beton ya da betonarme yeraltı su boruları
 Sülfat etkisinde endüstriyel zeminler
 Arıtma tesisleri

CEM IV TİPİ

Baraj inşaatları
 Sıva ve duvar harcı
 Su kanaletleri
 Yol kaplama betonları
 Yapı kimyasalları
 Arıtma tesisleri
 Kütle beton

CEM V TİPİ

Genel amaç için kullanılabilir
 Betonarme yapılar ve borular
 Su kanaletleri
 Baraj inşaatları
 Yol kaplama betonları
 Sıva ve duvar harcı
 Arıtma tesisleri

CEM VI TİPİ

Her türlü sıva, duvar örme ve tamirat için kullanılabilir
 Arıtma tesisleri
 Sülfat etkisinde endüstriyel zeminler
 Baraj inşaatları
 Su kanaletleri
 Zemin iyileştirme projeleri
 Çok düşük ısıli çimento
 Kütle beton uygulamaları
 Süper sülfat çimentoları
 Sülfat etkisindeki zeminler ve beton yapılarda
 Kalsiyum alüminat çimentosu
 Yapı kimyasalları
 Kanalizasyon içi kaplamalar
 Barajların dolu savakları
 Asit havuzları
 Sülfat etkisindeki beton yapılarda
 Kimyasal üretim fabrikaları
 Harç çimentosu
 Duvar harcı ve sıvası üretiminde
 Tuğla yapımında
 Blok üretiminde
 Taş duvar yapımında

1.2. ÇİMENTO ÜRETİM TESİSLERİNDE ÜRETİM PROSELERİ VE AŞAMALARI

Çimento üretimi, bir dizi birbirine bağlı işlem ve aşamadan oluşur. Bu işlemler, hammaddelerin işlenmesiyle başlar ve nihai ürünün elde edilmesine kadar belirli bir düzen içerisinde devam eder. Çimento üretim aşamalarını şu şekilde sıralayabiliriz.

1.2.1. HAMMADDELERİN HAZIRLANMASI

Çimento üretimi, hammaddelerin doğru şekilde hazırlanmasıyla başlar. Bu aşamada aşağıdaki adımlar uygulanır:

1.2.1.1. Kalker ve Kil Çıkarımı

Çimento üretiminde kullanılan temel hammaddeler kalker (CaCO_3) ve kil, genellikle açık ocak madencilik yöntemleriyle çıkarılır. Kalker, çimento içindeki kalsiyum kaynağıdır, kil ise alüminyum, silisyum ve demir oksit sağlar. Bazı durumlarda alternatif hammaddeler de kullanılabilir, örnek verecek olursak volkanik tüf, mermer tozu veya cüruf örnek olarak gösterilebilir (Uğur , 2018).

1.2.1.2. Kırma İşlemi

Çıkarılan hammaddeler, büyük boyutlardan işlenebilir parçalara ayrılmak için birincil ve ikincil kırıcılarla kırılır. Çekiçli kırıcılar veya çeneli kırıcılar bu iş için yaygın olarak kullanılan sistemlerdir (Uğur , 2018).

1.2.1.3. Öğütme

Kırılan hammaddeler, bir sonraki aşamada daha homojen bir karışım elde edilmesi için öğütülür. Bu işlem sırasında, hammadde partikül boyutları 90 mikron gibi ince bir hale getirilir (Yıldız, 2015).

1.2.2. HAMMADDELERİN HOMOJENLEŞTİRİLMESİ

Hammaddelerin homojen bir şekilde karıştırılması, çimento üretiminde ürün kalitesini doğrudan etkiler. Bu aşamalar şu şekildedir:

1.2.2.1. Kimyasal Analiz ve Karışım Oranı

Hammaddelerin kimyasal bileşimleri analiz edilir. Bu analizde CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranları hesaplanır. Bu oranların istenen spesifikasyonlara uygun şekilde karıştırılması, kaliteli klinker üretimi için kritik öneme sahiptir.

1.2.2.2. Karıştırma Siloları

Öğütülmüş hammaddeler, pnömatik veya mekanik sistemlerle karıştırma silolarına taşınır. Bu silolar, hammaddelerin karıştırılmasını sağlayarak homojen bir ham karışım elde edilir.

1.2.3. HAM KARIŞIMIN FIRINA HAZIRLIK SÜRECİ

Hammaddelerin fırına hazırlanması, üretimde kullanılan yöntemlere göre değişir, bu yöntemlerden kısaca bahsedecek olursak:

1.2.3.1. Kuru Proses

Modern çimento tesislerinde yaygın olarak kullanılır. Hammaddeler kurutulup ince toz haline getirilir ve doğrudan ön ısıtıcı sistemlere gönderilir. Kuru proses, enerji tüketimini azaltması nedeniyle tercih edilir (Yıldız, 2015).

1.2.3.2. Yaş Proses

Çimento sektöründe kullanılan eski bir yöntemdir. Hammaddeler suyla karıştırılarak çamur kıvamında bir ham karışım elde edilir. Bu yöntemde enerji tüketimi daha yüksektir çünkü karışımdaki suyun buharlaştırılması gerekmektedir. Ancak homojenlik açısından avantajlıdır (Yıldız, 2015).

1.2.4. KLİNKER ÜRETİMİ (PIŞİRME SÜRECİ)

Bu aşamada hammaddeler yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak klinker adı verilen yarı mamul ürün oluşturulur.

1.2.4.1. Ön Isıtma

Kuru proses kullanan tesislerde, ham karışım döner fırına girmeden önce çok kademeli ön ısıtıcı kulelerden geçirilir. Bu kulelerde malzeme 800-1000°C'ye kadar ısıtılır.

1.2.4.2. Döner Fırın

Ham karışım döner fırına girer ve burada 1450-1500°C'ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta malzemelerde kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir ve klinker fazları (alite, belit, alüminat ve ferrit) oluşur. Bu aşama, çimento üretiminin en kritik kısmıdır (Uğur , 2018).

Soğutma: Fırından çıkan sıcak klinker, özel soğutucularda hızla soğutulur. Bu işlem sırasında klinkerin fiziksel ve kimyasal özellikleri stabilize edilir.

1.2.5. ÇİMENTO ÖĞÜTME

Klinkerin çimentoya dönüştürülmesi, ince öğütme işlemiyle gerçekleştirilir,

1.2.5.1. Katkı Maddeleri

Öğütme sırasında klinkere genellikle %3-%5 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eklenir. Bu, çimentonun priz süresini kontrol eder. Ayrıca, üretim türüne göre puzolan, cüruf veya kalker gibi katkı maddeleri de eklenebilir (Karakaş, 2006).

1.2.5.2. Değirmen Teknolojisi

Çoğunlukla bilyalı değirmenler veya dikey valsli değirmenler kullanılır. Bu sistemler, malzemeyi yüksek incelikte toz haline getirir (genellikle 45 mikron altı).

1.2.6. ÇİMENTONUN DEPOLANMASI VE AMBALAJLANMASI

Üretilen çimento, çeşitli uygulama ihtiyaçlarına uygun şekilde depolanır ve sevkiyata hazırlanır:

1.2.6.1. Silo Depolama

Öğütülen çimento, özelliklerini koruyabilmesi için çelik veya beton silolarda muhafaza edilir.

1.2.6.2. Ambalajlama ve Sevkiyat

Çimento, torbalı (genellikle 25-50 kg) veya dökme olarak taşınır.

1.2.7. KALİTE KONTROL VE SEVKİYAT

Üretimin her aşamasında kalite kontrol testleri yapılır. Bu testler şunları içerir:

1.2.7.1. Kimyasal Analiz

Çimentonun içeriğindeki CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve diğer bileşenler kontrol edilir.

1.2.7.2. Fiziksel Testler

Çimentonun inceliği, priz süresi, dayanıklılığı, hacim sabitliği ve basınç dayanımı gibi özellikler test edilir.

1.2.7.3. Ürün Sevkiyatı

Kalite kontrol testlerini geçen çimento, müşteri ihtiyaçlarına uygun şekilde sevk edilir.

Çimento üretiminde bu süreçler, hem enerji hem de hammadde açısından yoğun kaynak tüketimi gerektirir. Günümüzde çevresel etkileri azaltmak adına, modern çimento tesislerinde enerji geri kazanım sistemleri ve alternatif yakıt kullanımı gibi çevreci uygulamalara öncelik verilmektedir.

1.2.8. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKIT TÜRLERİ

Çimento fabrikalarının döner fırınlarında klinker pişirilmesi sürecinde, yakıt olarak fuel-oil, kömür, doğalgaz, petrokok, taşkömürü veya bu yakıtların belirli oranlardaki karışımları kullanılmaktadır. Bu yakıtlara ek olarak ikincil yakıtlarda (fossil yakıtlara alternatif yakıtlar) kullanılmaktadır.

1.2.8.1. Kömür

Kömür, başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerden oluşan, yanıcı özellikteki sedimanter organik bir kaya olup, diğer kaya katmanları arasında damar şeklinde uzun bir süreçte (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkiler sonucu meydana gelmiştir (Şekil 1.1.).

Organik olgunluk seviyelerine göre kömürler: linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür ve antrasit olarak sınıflandırılır. Çimento sektöründe kullanılacak kömürlerin belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Kömürün kalorifik değerinin çok düşük olmaması, homojen olması ve düzenli bir ısıl işlem sürecinde yapısal özelliklerini koruması önemlidir. Bu koşulların sağlanabilmesi için uygun bir yakıt harmanı hazırlanmalıdır (Çimento Mühensliği El Kitabı , 2021).



Şekil 1.1. Toz Kömür Örneği (URL23)

1.2.8.2. Petrokok

Petrokok, yanma sonrası düşük miktarda kül bırakan ve yüksek ısıl değere sahip olan, bazı durumlarda doğal gaz veya fuel-oil ile benzer verim sağlayabilen, petrol rafinasyonundan elde edilen katı bir yakıttır. Belirli işlemlerden geçirildikten sonra çimento ve kireç üretiminde yakıt olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.2.).

Petrokokun kalorifik değeri 7.500 – 8.500 kcal/kg aralığında olup, kükürt içeriği %2 ila %5 arasında değişmektedir. İçeriğinde bulunan kükürt, kalsinasyon işlemi ile azaltılabilmektedir. Kullanılan petrokokun kükürt oranı ise ülkelerin çevre standartlarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Gürsel & Meral, 2012).



Şekil 1.2. Petrokok Örneği (URL24)

1.2.8.3. Doğalgaz

Metan (CH_4) içeriği bakımından zengin olan doğal gaz, fosil yakıtlar arasında yüksek yanma verimliliği ve düşük emisyon potansiyeliyle öne çıkan bir enerji kaynağıdır. Bu özellikleri nedeniyle, özellikle çimento sektöründe hem çevresel duyarlılık hem de üretim süreçlerinde verimlilik sağlama amacıyla yaygın olarak tercih edilmektedir. Doğal gazın neredeyse tam yanma sağlayan (yaklaşık %99 verimlilik) yapısı, çevreye salınan zararlı emisyonların oldukça düşük seviyelerde kalmasına olanak tanır. Ayrıca, yanma sonucunda oluşan kül miktarının yok denecek kadar az olması, sistemlerde kirlenme riskini azaltarak ekipmanların daha az bakım gerektirmesine katkı sunar.

Çimento üretiminde doğal gaz, başta klinker üretiminde kullanılan döner fırınlar ile bu fırınlara bağlı çalışan ön ısıtma sistemlerinde yakıt olarak değerlendirilir. Yüksek yanma sıcaklığına sahip olması ve bu sıcaklığın kolayca kontrol edilebilmesi, üretim hattında homojen bir ısı dağılımının sağlanmasını kolaylaştırır ve böylece klinker kalitesine olumlu yansır. Kalorifik değeri 8.500 ila 9.000 kcal/Nm^3 arasında değişen doğal gaz, çimento fırınlarının yoğun enerji talebini karşılamada oldukça etkilidir. Genellikle boru hatları aracılığıyla doğrudan tesislere ulaştırılan doğal gaz, bu sayede güvenli, kesintisiz ve otomatik kontrol edilebilen bir besleme sistemiyle kullanılabilir.

1.2.8.4. Alternatif Yakıtlar

Çimento sektörü, dünya genelinde yüksek enerji tüketimiyle bilinen bir endüstridir ve yakıt giderleri toplam işletme maliyetlerinin %30-%40'ını oluşturmaktadır. Bu nedenle, maliyetleri azaltmak amacıyla alternatif yakıtların kullanımı gündeme gelmiştir. Alternatif yakıtlar, farklı sıvı ve katı yakıtlardan elde edilen çeşitli türleri içermektedir.

Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde çimento fabrikalarında alternatif yakıt kullanımı oldukça yaygındır. Yakın dönemde, söz konusu uygulamanın ülkemizde de artan bir ivmeyle kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Avrupa'daki çimento tesislerinde, düzenli olarak lastik, plastik, kağıt, atıklardan türetilmiş yakıtlar, kurutulmuş kanalizasyon çamuru, hayvansal atıklar ve diğer farklı atık bazlı yakıtlar kullanılmaktadır. Çimento fırınlarında kullanılan alternatif yakıtlar, tedarikçiler tarafından fabrika sahası dışında işlenerek doğrudan yakıtıma uygun hale getirilebileceği gibi, çimento firmaları tarafından tesis içinde hazırlanarak da kullanıma sunulabilir. Proses açısından yakıtın homojen yapıda olması büyük önem taşıdığından, alternatif yakıt hazırlama süreçleri titizlikle yürütülmelidir. Alternatif yakıtlar, çeşitli enjeksiyon sistemleri aracılığıyla fırının farklı bölgelerinden beslenerek yakılmaktadır ve kullanılan sistemler, fırının ihtiyaçlarına ve teknik özelliklerine göre uyarlanmaktadır.

Düşük ısı değere sahip, yüksek su içeriği barındıran ya da doğrudan yakılamayan yakıtlar, gaz üreteçleri yardımıyla zayıf gaz haline dönüştürülerek yakıt olarak değerlendirilebilir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen gaz, alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir.

Katı atık bazlı yakıtların kullanıldığı fırınların çoğunda emisyon seviyelerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiş veya belirgin bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, alternatif yakıt kullanımı sonucunda azot oksit (NOx) emisyonlarında da azalma görülmüştür. Çimento fabrikalarında yaygın olarak kullanılan bazı alternatif yakıt türleri şunlardır:

-Atık lastikler

-Atık yağlar ve solventler

-Katı atık türevi yakıtlar örnek olarak gösterilebilir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Atıktan Türetilmiş Yakıt Örneği

1.2.9. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ENERJİ KULLANIMI

Çimento üretimi, küresel çapta yüksek miktarda enerji harcayan bir endüstriyel süreçtir. İnşaat sektörünün vazgeçilmez malzemelerinden biri olan çimentonun üretimi, enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından önemli sorunlar yaratır. Bunun yanı sıra maliyetler incelendiğinde çimento üretim maliyetini oluşturan kalemlerin başında % 30- % 40 oranlarında enerji maliyeti gelmektedir. Çimento üretiminde kullanılan enerji genellikle ısı enerjisi ve elektrik enerjisi olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir (Özel, 2011).

1.2.9.1. Isıl Enerji Tüketimi:

Çimento üretimindeki en büyük enerji harcaması, klinker adı verilen ana bileşiğin üretimi sırasında meydana gelir. Klinker, kireç taşı, kil ve diğer bileşenlerin yaklaşık 1450°C gibi yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilir. Bu aşama, çimento üretimi sırasında enerji kullanımının en yoğun olduğu süreçtir. Isıl enerji çoğunlukla kömür, doğal gaz veya alternatif yakıtlar kullanılarak sağlanır. Yüksek sıcaklık gereksinimleri nedeniyle, bu süreç büyük miktarda enerji tüketimi ve buna bağlı olarak karbon salınımına yol açar.

1.2.9.2. Elektrik Enerjisi Tüketimi:

Elektrik enerjisi, çimento üretiminde diğer önemli enerji kaynaklarından biridir. Çimento fabrikalarında elektrik, hammaddelerin öğütülmesi, karıştırılması, taşınması ve diğer üretim işlemlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılır. Kırma, öğütme ve karıştırma gibi işlemler, çimento üretiminin enerji tüketen önemli aşamalarıdır ve bu işlemlerde enerji genellikle elektrik enerjisiyle sağlanır.

1.2.9.3. Enerji Verimliliği ve Azaltma Yöntemleri:

Çimento üretiminde enerji verimliliğinin artırılması, hem maliyetleri düşürme hem de çevresel etkileri azaltma açısından büyük bir öneme sahiptir. Birçok çimento tesisi, enerji verimliliğini iyileştirmek için çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Örneğin, atık ısı geri kazanım sistemleri, fırınlardan çıkan sıcak havayı yeniden enerjiye dönüştürmeyi sağlar. Ayrıca, biyokütle, atık plastik ve lastikler gibi alternatif yakıtların kullanılması, kömür tüketimini azaltabilir. Yüksek verimli motorlar ve enerji tasarruflu ekipmanlarda elektrik tüketimini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

1.2.9.4. Karbon Emisyonları ve Çevresel Etkiler:

Çimento üretimi, enerji kullanımının yanı sıra önemli miktarda karbon salınımına da neden olur. Klinker üretimi sırasında kullanılan yakıtlar, karbon dioksit (CO₂) salınımına yol açar. Ayrıca, çimentonun üretimi sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar da ek karbon salınımına sebep olur. Bu nedenle, çimento endüstrisinin enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin azaltılması, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede hayati bir konu haline gelmiştir.

Çimento üretimi, enerji tüketimi açısından yoğun bir endüstri olup, yüksek miktarda ısı ve elektrik enerjisi gerektirir. Bu enerji tüketiminin azaltılması, enerji verimliliği artırılarak ve alternatif yakıtlar kullanılarak mümkün olabilir. Ancak, çevresel etkilerin azaltılması ve daha sürdürülebilir üretim tekniklerinin geliştirilmesi, karbon emisyonlarının düşürülmesi açısından kritik bir önem taşımaktadır.

1.2.10. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ÇEVRESEL ETKİLER

Çimento üretimi, dünya genelindeki sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır ve karbon ayak izini artıran bir endüstridir. Bu üretim süreci, genellikle kalsinasyon adı verilen bir işlemle gerçekleştirilir. Bu işlemde, kireçtaşı (CaCO₃) yüksek sıcaklıklara (yaklaşık 1450°C) ısıtılarak kalsiyum oksit (CaO) ve karbondioksit (CO₂) gazına dönüştürülür. Bu kimyasal reaksiyon, çimentonun ana bileşeni olan klinker üretiminin temelini oluşturur ve yüksek miktarda CO₂ salınımına yol açar.

1.2.10.1. Çimento Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Ve Karbon Ayak İzi

1.2.10.1.1. Karbondioksit Salınımı (CO₂)

Çimento üretiminde kalsinasyon sırasında her ton çimento başına yaklaşık 0.8 ton CO₂ salınır. Bu emisyon, çimento üretiminin sera gazı salınımlarının büyük bir kısmını

oluşturur. Ayrıca, çimento fabrikalarında kullanılan yakıtlar (doğal gaz, kömür vb.) da ek CO₂ emisyonlarına neden olur (URL4).

1.2.10.1.2. Enerji Tüketimi

Çimento üretimi, yüksek sıcaklıklar gerektirdiğinden, büyük miktarda enerji tüketir. Bu enerjinin çoğu fosil yakıtlar ile sağlanır, bu da sera gazı salınımlarının bir diğer kaynağını oluşturur. Fosil yakıtların yakılması yalnızca CO₂ değil, ayrıca nitrojen oksitler (NO_x) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi kirleticilerin atmosfere yayılmasına yol açar (Zhang, ve diğerleri, 2011).

1.2.10.1.3. Karbon Ayak İzi

Çimento üretimi, küresel karbon ayak izinin yaklaşık %8-%9'unu oluşturur ve sanayi sektörünün toplam emisyonları içinde önemli bir paya sahiptir. Bu karbon ayak izi, kullanılan ham maddelere, üretim tesislerinin verimliliğine ve kullanılan enerji türlerine göre değişkenlik gösterebilir (URL5).

1.2.10.2. Çimento Üretiminde Karbon Ayak İzini Azaltma Yöntemleri

1.2.10.2.1. Alternatif Enerji Kaynakları ve Yakıtlar

Çimento fabrikaları, fosil yakıtlar yerine biyoenerji ve atık malzemeler gibi alternatif enerji kaynakları kullanarak emisyonları azaltabilir. Bunun yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynakları (örneğin güneş ve rüzgâr enerjisi), karbon ayak izinin düşürülmesinde önemli bir rol oynayabilir (Rende, Akalın, Ercan, & Hilmioğlu, 2013).

1.2.10.2.2. Verimli Üretim Yöntemleri

Çimento üretim süreçlerinin verimli hale getirilmesi, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak emisyonları azaltabilir. Bu amaçla daha düşük sıcaklıklarda üretim yaparak ve enerji geri kazanım sistemleri kurarak verimlilik artırılabilir (URL6).

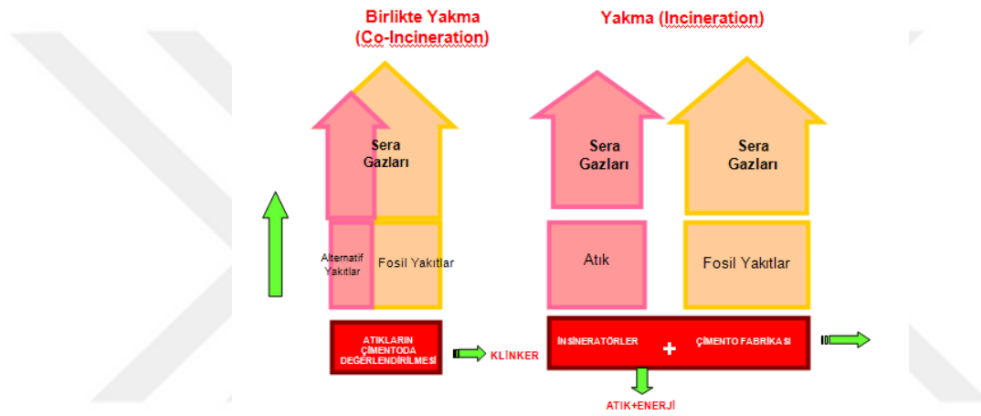
1.2.10.2.3. Karbon Yakalama Teknolojileri

Çimento tesislerinde karbon salınımını doğrudan yakalama ve depolama teknolojileri kullanılarak CO₂ emisyonları yönetilebilir. Ayrıca, karbonu bağlama kapasitesine sahip alternatif çimento türlerinin geliştirilmesi de araştırılmaktadır.

1.2.10.2.4. Sürdürülebilir Ham Maddeler

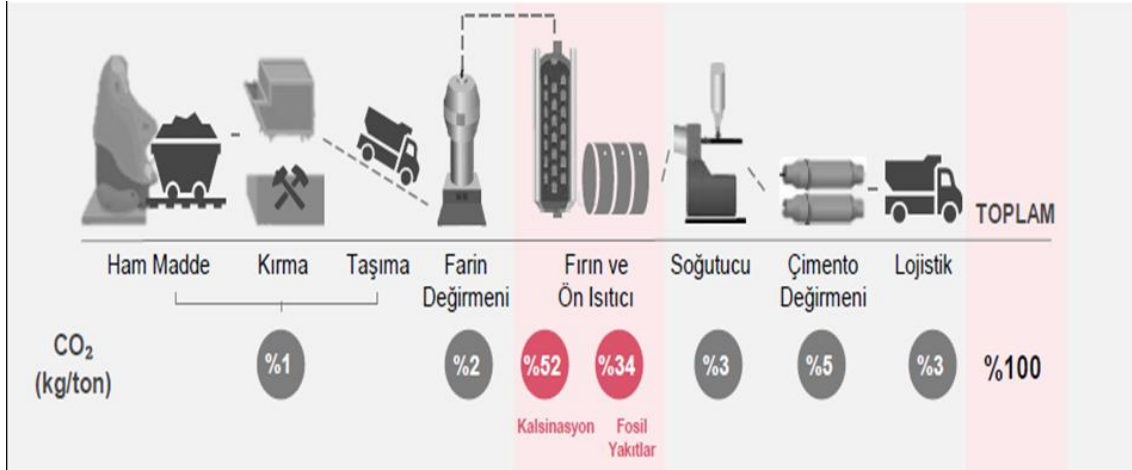
Geleneksel kireçtaşı yerine, karbon salınımını daha düşük tutan malzemeler kullanarak çimento üretimi yapılabilir. Örneğin, atık malzemeler veya mineral katkıları içeren çimentolar, karbon ayak izinin azaltılmasında etkili olabilir (URL6).

Çimento üretimi, genel olarak sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olup, karbon ayak izinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu endüstri, sürdürülebilir üretim yöntemleri ve düşük karbon teknolojilerine geçiş yaparak çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Şekil 1.4.'de yer alan grafikte, çimento fabrikalarında atıkların ısıl geri kazanım amacıyla kullanılması ya da bu atıkların yakma tesislerinde bertaraf edilmesi durumunda ortaya çıkacak sera gazı emisyonları sunulmaktadır (URL4). Bu açıdan bakıldığında, yakma teknolojisi ve ek yakıt ihtiyacı nedeniyle çevresel açıdan ciddi etkiler yaratabilecek yakma tesisleri yerine, çimento üretim tesislerinin atıkları alternatif yakıt olarak kullanması, ek sera gazı emisyonlarının oluşmasını engellemesi açısından büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 1.4. Fosil yakıtlar ile Alternatif yakıt kullanımının yakma sistemlerine göre sera gazı emisyonlarına etkisi (URL4)

Bu değişiklikler, hem sektörün hem de dünya çevresinin sürdürülebilirliği için kritik bir öneme sahiptir. Çimento üretim aşamalarında doğaya salınan CO₂ gazının etkisinin ortama salınım yüzdeleri şekil 1.5.'de gösterilmiştir. Bu yüzdeler bakılarak salınan gazın doğaya verecek tahribatının önüne geçebilmek adına, hangi aşamalara sürdürülebilirlik göz önünde tutularak hızlı alternatif yöntemlerin üretilmesi/bulunması gerektiği gözlemlenmektedir.



Şekil 1.5. Üretim aşamalarında ortama salınan CO₂ yüzdeleri (URL4)

1.2.11. ATIK TANIMI VE TÜRLERİ

1.2.11.1. ATIK NEDİR?

Atık, bir ürün ya da malzeme kullanım ömrünü tamamladığında, işlevini yitirdiğinde ya da artık ihtiyaç duyulmadığında meydana gelir. Bu maddeler, çevreye zarar vermemesi adına doğru şekilde bertaraf edilmelidir. Atıklar, çok farklı kaynaklardan ve çeşitli faaliyetlerden ortaya çıkabilir. Evsel yaşamdan endüstriyel üretime, tarım faaliyetlerinden tıbbi uygulamalara kadar geniş bir alanı kapsayan bu kaynaklar, atıkların çeşitlenmesine yol açmaktadır. Atıkların çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaması için uygun bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir (Atıcı, 2020).

Atıklar, genellikle katı, sıvı, gaz ve kimyasal bileşikler gibi farklı şekillerde bulunabilir. Örneğin, evlerde oluşan yemek artıkları, plastik şişeler, metal kutular ve kâğıt gibi maddeler katı atıklar olarak sınıflandırılırken, sanayide kullanılan kimyasal maddeler ve sıvılar sıvı atıklar arasında yer alır. Ayrıca, gaz formunda bulunan kirleticiler de hava kirliliğine neden olabilir ve bu da bir tür atık olarak kabul edilir.

Atık türlerinin çeşitliliği, bunların nasıl yönetileceğini belirler. Örneğin, organik atıklar (gıda artıkları ve biyolojik atıklar) geri dönüşüm veya kompostlama gibi yöntemlerle zararsız bir şekilde işlenebilirken, kimyasal ve tehlikeli atıklar (örneğin, pil artıkları ve tıbbi atıklar) daha dikkatli ve kontrollü bir şekilde bertaraf edilmelidir. Her atık türü, çevreye zarar vermemek ve potansiyel tehlikeleri önlemek için uygun şekilde işlenmelidir. Aksi takdirde, bu atıklar doğada yıllarca çözünmeden kalabilir ve ekosistemi olumsuz şekilde etkileyebilir.

Atık yönetimi, çevre kirliliğini azaltma ve doğal kaynakları daha verimli kullanma açısından son derece önemlidir. Atıkların geri dönüşümüne, yeniden kullanımına ve

doğru şekilde depolanmasına özen gösterilmesi, sürdürülebilir bir çevre için gerekli adımlardır. Ayrıca, atıkların miktarını azaltmak ve üretim süreçlerinde daha az atık oluşmasını sağlamak, doğal kaynakların daha verimli bir biçimde kullanılmasına yardımcı olabilir (Çimento Mühendisliği El Kitabı Çevre ve İklim Değişikliği, 2021).

Sonuç olarak, atıkların yönetimi, sadece çevre sağlığını korumak için değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, atık yönetimi tüm toplumların dikkatle ele alması gereken, kritik bir konu olmalıdır.

1.2.11.2. ATIK TÜRLERİ

Atıklar, doğada farklı şekillerde işlenebilen ya da yönetilmesi gereken (işlenemeyen) birçok maddeye göre çeşitli kategorilere ayrılabilir. En yaygın bilinen atık türlerini aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz.

Evsel Atıklar

- Gıda atıkları
- Kâğıt, karton ve ambalaj ürünleri
- Cam şişe ve kavanozlar
- Plastik atıklar (pet şişeler, plastik torbalar vb.)
- Metal atıklar (teneke kutular vb.)
- Elektrikli ve elektronik cihazlardan kalan atıklar

Endüstriyel Atıklar

- Üretim süreçlerinden ortaya çıkan atıklar
- Kimyasal atıklar
- Fabrikalardan çıkan atıklar
- Tekstil sektörüne ait atıklar

Tehlikeli Atıklar

- Asidik veya bazik özellikteki kimyasallar
- Ağır metaller (kurşun, cıva vb.)
- Boya, solvent ve ilaç atıkları
- Piller ve aküler

Tıbbi Atıklar

- Sağlık hizmetlerinden kaynaklanan atıklar
- Enfekte olmuş materyaller (iğneler, bandajlar, ilaçlar vb.)

- Kimyasal ilaç atıkları

Biyolojik (Organik) Atıklar

- Gıda atıkları
- Bahçe atıkları (dal, yaprak, çimen vb.)
- İnek gübresi ve diğer biyolojik atıklar

İnşaat ve Yıkım Atıkları

- Beton, tuğla, taş, metal, ahşap gibi inşaat malzemeleri
- Yapı kalıntıları

Elektronik Atıklar (E-atıklar)

- Eski bilgisayarlar, telefonlar, televizyonlar ve diğer elektronik cihazlar

Binalar ve Altyapılardan Çıkan Atıklar:

- Kullanım ömrünü tamamlamış yapı malzemeleri, camlar, fayanslar, sıva vb.

Her bir atık türü, uygun yöntemlerle işlenmeli, geri dönüştürülmeli ya da güvenli şekilde bertaraf edilmelidir. Atık yönetimi kapsamında, bir maddenin üretim aşamasından başlayıp, bertarafına kadar geçen süre zarfında çevreyi koruyarak kaynakları verimli bir biçimde kullanmak için oldukça önemlidir.

1.2.12. ATIK YÖNETİMİ NEDİR?

Atık yönetimi, atıkların toplanması, taşınması, işlenmesi, geri dönüşümü, depolanması ve bertaraf edilmesi gibi işlemlerin düzenli bir şekilde planlanıp uygulanması sürecidir (Çimento Mühendisliği El Kitabı Çevre ve İklim Değişikliği, 2021). Bu sürecin ana hedefi, çevreyi koruyarak doğal kaynakları etkin bir şekilde kullanmak ve halk sağlığını riske atmadan atıkları yönetmektir. Atık yönetimi yalnızca atıkların doğru şekilde bertaraf edilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemlerini teşvik ederek sürdürülebilir bir çevreye katkıda bulunur.

Atık yönetimi, birkaç aşamadan oluşur:

- **Atıkların Toplanması:** Atıkların, kaynaklarından (evler, iş yerleri, fabrikalar vb.) toplanması işlemidir. Bu adımda, atık türlerine bağlı olarak farklı yöntemler

kullanılır: örneğin, evsel atıklar için düzenli çöp toplama hizmeti sağlanırken, geri dönüşüm için ayrı konteynerler kullanılır (URL7).

- **Taşıma:** Toplanan atıklar, uygun araçlarla işleme ve bertaraf tesislerine taşınır. Bu süreçte, atıkların taşınması sırasında çevreye zarar verilmemesi için gerekli tüm önlemler alınmalıdır.
- **Sınıflandırma ve Ayrıştırma:** Atıkların, geri dönüşümü mümkün olan, yeniden kullanılabilir ve tehlikeli olanlar gibi gruplara ayrılması işlemidir. Bu işlem, genellikle geri dönüşüm tesislerinde yapılır ve her atık türüne uygun işleme yöntemleri uygulanır (URL7).
- **İşleme ve Geri Dönüşüm:** Geri dönüştürülebilir atıklar, yeniden kullanılabilir hale getirilir. Plastik, cam, kâğıt, metal gibi malzemeler, üretim süreçlerinde yeniden kullanabilmek için işlenir (URL7).
- **Bertaraf:** Yeniden kullanım veya geri dönüşüm imkânı bulunmayan atıkların, çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılması veya güvenli koşullar altında depolanması işlemidir. Bu işlem, genellikle çöp depolama alanlarına veya yakma tesislerine yönlendirilir (URL7).
- **Eğitim ve Farkındalık:** Toplumda atıkların doğru şekilde yönetilmesi, geri dönüşüm ve atık azaltma konusunda farkındalık yaratmak büyük önem taşır. Bu, atık yönetiminin etkili bir parçası olarak görülmelidir.

Atık yönetimi, çevre kirliliğini azaltma, enerji tasarrufu sağlama, doğal kaynakları koruma ve ekonomik fayda elde etme açısından çok önemli bir işlev üstlenir. Ayrıca, düzenli ve doğru atık yönetimi, sağlık problemlerini en aza indirir ve sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir adım atılmasını sağlar.

Atık yönetimi hiyerarşisi, çevreye verilen zararları azaltmak amacıyla izlenmesi gereken en etkin stratejileri sıralayan bir yaklaşımdır (Şekil 1.6.).



Şekil 1.6. Atık Hiyerarşisi (URL8)

1.2.12.1. Atık Oluşumunun Engellenmesi

Atıkların oluşumunun engellenmesi gereken ilk adımdır. Bu aşama, ürünlerin daha az atık üretmesi veya daha uzun süre kullanılabilir olacak şekilde tasarlanması gibi stratejilerle gerçekleştirilir. Örneğin:

- Ürün tasarımlarının daha az ambalaj malzemesi kullanacak şekilde yapılması.
- Uzun ömürlü ve dayanıklı ürünlerin üretilmesi.
- Üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi.

1.2.12.2. Yeniden Kullanım

Atıkların başka bir amaçla veya aynı şekilde yeniden kullanılmasını ifade eder. Bu süreç, atıkları minimum düzeyde işleyerek yeniden kullanıma sunmayı amaçlar. Örneğin:

- Kullanılmış cam şişelerin yeni ürünlerde tekrar kullanılması.
- Eski mobilyaların tamir edilip yeniden kullanılması.

1.2.12.3. Geri Dönüşüm

Atıkların işlenip, yeni ürünlere dönüştürülmesi işlemi geri dönüşüm olarak bilinir. Bu süreç, ham madde talebini düşürür ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur. Örneğin:

- Plastik şişelerin, yeni plastik ürünlere dönüştürülmesi.
- Kağıtların, yeni kağıt ürünlerine dönüştürülmesi.

1.2.12.4. Enerjiye Dönüştürme

Atıkların enerji üretmek amacıyla yakılması veya başka bir biçimde enerjiye dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem, atıklardan enerji elde etmenin bir yoludur.

Örneğin:

- Organik atıkların biyogaz üretiminde kullanılması.
- Atıkların, çöp yakma tesislerinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi.

1.2.12.5. Atıkların Bertarafı

Atıkların çevreye zarar vermeden son bir adım olarak bertaraf edilmesidir. Bu aşama, atıkların düzenli ve kontrollü şekilde depolanması veya yok edilmesidir. Örneğin:

- Atıkların güvenli bir şekilde gömülmesi.
- Toksik ve tehlikeli atıkların özel yöntemlerle bertaraf edilmesi.

1.2.12.6. Atık Yönetimi Hiyerarşisinin Önemi:

Atık yönetimi hiyerarşisi, çevreye duyarlı bir toplum oluşturulmasında kritik bir öneme sahiptir. Özellikle atıkların önlenmesi ve yeniden kullanılması, çevre üzerinde en büyük olumlu etkileri sağlayan yöntemler olarak öne çıkar. Atık hiyerarşisine uyum sağlamak için gerekli bilgilendirme (eğitim) ve alt yapı oluşturulması oldukça önem arz etmektedir. Atık yönetiminin önemine bakıldığında temel olarak üç alt başlıkta tanımlayabiliriz.

Çevresel Sürdürülebilirlik: Atıkların önlenmesi ve yeniden kullanılması, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olarak çevresel etkileri azaltır.

Kaynak Verimliliği: Geri dönüşüm ve enerjiye dönüştürme, kaynakların daha verimli kullanılmasına katkı sağlar.

Ekonomik Fayda: Atık miktarının azalması, kaynak tüketiminin düşmesi ve enerji üretimi maliyetlerini azaltabilir.

1.2.13. Çimento Üretiminde Katı Atıkların Kullanımı

Bir çimento üreticisinin ana hedefi, kaliteli çimento üretmek ve bunu maksimum düzeyde satmaktır. Bu hedefe ulaşabilmek için atık malzemelerin yakıt olarak kullanılması, çimento sektörüne birçok avantaj sağlar. Atıkların enerji kaynağı olarak kullanılması, bu atıkların bertaraf edilmesine veya geri kazanılmasına yardımcı olurken, aynı zamanda çevrenin korunmasına da katkıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, bu uygulama sektördeki rekabet gücünü artırırken, toplumsal atık yönetimi sorunlarına da çözüm sunabilir.

Çimento üretiminde genellikle fosil yakıtlar kullanılmakta olup, en yaygın tercih edilen yakıt türü kömürdür. Çimento üretiminde, bir ton çimento üretmek için ortalama olarak 120 kg kömür veya benzer fosil yakıt türleri tüketilmektedir. Dünya genelinde çimento üretimi için yıllık kömür bazlı fosil yakıt tüketimi yarım milyar ton civarındadır. Çimento sektöründe fosil yakıtların kullanım oranı ise %90 seviyelerindedir. Bu sektörde, yakıt ve enerji maliyetlerini etkin bir şekilde yönetme zorunluluğunun yanı sıra, karbondioksit (CO₂) ve azot oksitler (NO_x) gibi zararlı emisyonların salınımı azaltmaya yönelik artan baskılar da mevcuttur. Bu nedenle, fosil yakıtlara dayalı yenilenemeyen kaynaklar yerine atıkları döner fırınlarda alternatif yakıt olarak kullanarak, hem emisyonları düşürmeyi, hem atık hiyerarşisine katkıda bulunmayı, hem de enerji maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedirler (URL9);(Chinmaya, 2011).

2023 yılında çimento sektöründe yaygın olarak kullanılan alternatif yakıtları belirtecek olursak,

- ÖTL (Ömrünü Tamamlamış Lastikler)
- Atıkların mekanik işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar (karışık malzemeler dahil)
- Kentsel atık suyun arıtılmasından kaynaklı çamurlar
- 19 12 11 dışında atıkların mekanik işlenmesinden kaynaklanan diğer atıklar (karışık malzemeler dahil) (URL2).

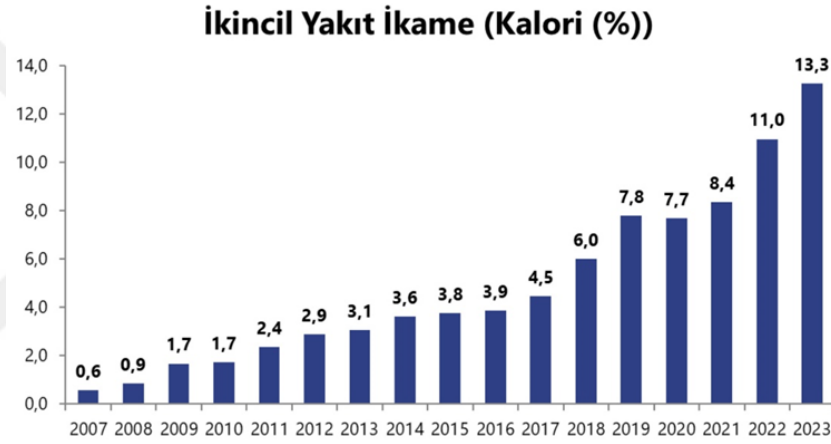
Atıkların çimento endüstrisinde alternatif yakıt olarak kullanılması, teknik açıdan verimli bir yöntemdir. Çünkü yanma işlemi sırasında atıkların organik bileşenleri yok edilirken, inorganik bileşenler (ağır metaller dahil) ürünün yapısına dahil edilerek burada sabitlenir. Çimento fırınları, alternatif yakıtların güvenli bir şekilde işlenebileceği ve yakılabileceği en uygun tesislerdir. Bu güvenli işlemin sağlanmasında önemli olan faktörler şunlardır:

- Yüksek sıcaklık
- Uzun süreli kalış süresi
- Oksidatif ortam
- Alkali ortam
- Klinkerin kül tutma kapasitesi
- Sürekli yakıt beslemesi
- Organik bileşenlerin yok olması

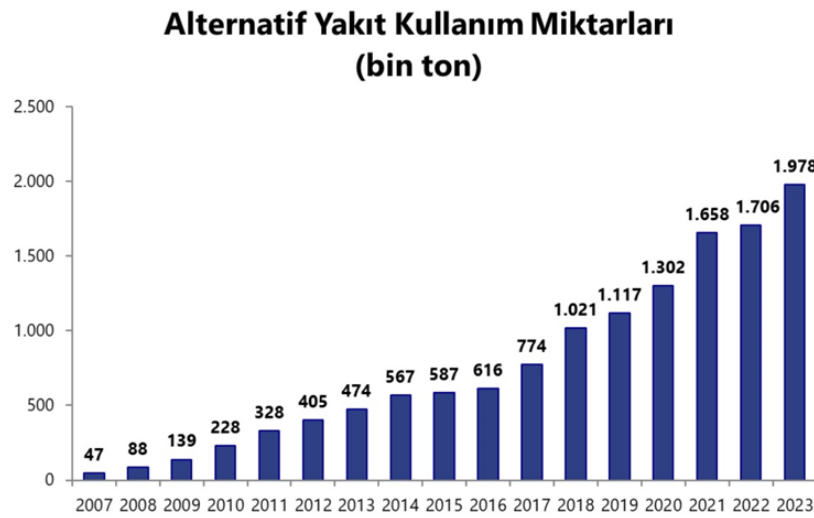
- Katı veya sıvı atıkların hiç oluşmamasıdır

Ülkeler bazında atıkların yakıt kaynağı olarak kullanımına bakıldığında atıkların, alternatif yakıt olarak kullanımında gelişmiş ülkelerde çimento endüstrisinde alternatif yakıt kullanım oranı % 40 ile % 60 arasında değişirken, gelişmekte olan ülkelerde bu oran % 25 ile % 35 seviyelerindedir (Aruntaş, 2017).

Türkiye'de de alternatif yakıtların kullanımı hızla artmaktadır. 2016 yılında çimento sektörü, 90 bin ton kullanılmış lastiği alternatif yakıt olarak değerlendirirken, 2020'de bu miktar 283 bin tona ulaşmıştır. Bu dönemde toplamda 901 bin ton lastik, yakıt olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra şekil 1.7.'de 2007-2023 yılları arasında yıllık toplam İkincil Yakıt İkameleri (%), Şekil 1.8.'te de toplam Alternatif Yakıt Kullanım miktarı (ton) olarak gösterilmiştir (URL2).



Şekil 1.7. İkincil Yakıt İkame değerleri (%) (URL2)



Şekil 1.8. Alternatif yakıt kullanım miktarları (ton) (URL2)

1.2.14. Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)

Atıktan türetilmiş yakıt (ATY), çeşitli atık malzemelerin işlenerek enerji üretiminde kullanılacak şekilde uygun hale getirilmesiyle elde edilen bir enerji kaynağıdır. Son yıllarda çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir alternatif olarak dikkat çeken bu yakıt türü, özellikle sanayi süreçlerinde, enerji üretim tesislerinde ve büyük ısınma sistemlerinde kullanılır. ATY, organik atıkların (örneğin gıda atıkları, biyokütle, odun) yanı sıra inorganik atıkların (plastik, lastik, kâğıt, metal) birleştirilmesiyle üretilir. Bu çeşitlilik, farklı atık türlerinin enerji üretiminde kullanılabilmesini sağlar. Plastik, lastik, tekstil, biyokütle ve kâğıt gibi atıklar, ATY üretiminde en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir ve bu atıkların işlenmesi, hem geri dönüşüm hem de enerji üretimi açısından önemli bir fırsat sunar (Çelik, 2018).

ATY üretimi, atıkların doğrudan çevreye zarar vermeden enerjiye dönüştürülmesini sağlayarak çevresel fayda sağlar. Bu süreç, aynı zamanda geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltırken, atıkların bertarafını sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirir. Fosil yakıtlar yerine kullanılabilen bu tür yakıtlar, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur ve çevresel kirliliği önlemeye yönelik önemli bir adım atılmasını sağlar. ATY'nin kullanımı, doğrudan çevreye atılabilecek atıkların enerjiye dönüştürülmesi ile atık yükünü azaltır ve geleceğe daha temiz bir çevre bırakılmasına olanak tanır.

Ayrıca, atıktan türetilmiş yakıt üretimi, doğal kaynakları daha verimli kullanmayı teşvik eder. Plastik, lastik, tekstil ve kâğıt gibi atıkların işlenmesi, doğal kaynakların tükenmesini engellemeye katkıda bulunur ve depolama alanlarının aşırı dolmasını önler. Atık depolama alanları, çevre için büyük riskler oluşturabilir: ancak ATY üretimi bu sorunun önüne geçebilir. Çevreye zarar veren atıkların enerjiye dönüştürülmesi, doğal kaynakları koruyarak çevresel kirliliği engelleyen önemli bir çözüm sunar.

Sonuç olarak, atıktan türetilmiş yakıt, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yerini alabilecek önemli bir alternatif sağlar. Bu yakıt türü, enerji üretiminin yanı sıra atıkların yönetilmesine de katkı sunar. ATY kullanımı, çevresel etkileri minimuma indirirken ekonomik fayda sağlamakta ve gelecekteki enerji politikalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, atıktan türetilmiş yakıtın yaygınlaşması, çevre dostu ve verimli enerji üretimi için kritik bir çözüm yolu oluşturur.

Kullanılacak ATY'nin, hazırlanacak ürünün de belirli kriterlere uygun olması gerekmektedir. Bu uyulması gereken parametreler ve sınır değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.3. ATY hazırlama tesislerinde hazırlanacak yakıtın özellikleri

Parametre	Sınır Değer
Kalorifik değer, kcal/kg	>2500
Tane boyutu, mm	<50 (1)
Nem oranı, %	<35
Klor içeriği, %	<1 (2)
Hg, µg/MJ	<330
Ağır metal toplamı, mg/MJ	<2500
PCB, ppm	<5
Solvent içeriği, %	<15

⁽¹⁾Tane boyutu parametresi ATY kullanacak tesislerde kullanılan teknolojilerin Bakanlıkça uygun bulunması halinde artırılabilir.

⁽²⁾ Klor By-Pass hattı bulunan tesisler için parametre üç katına kadar Bakanlıkça uygun bulunması halinde artırılabilir (Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği, 2014).

1.2.14.1. Alternatif Yakıt (ATY) Olarak Kullanılabilecek Atıklar

1.2.14.1.1. Atık Lastikler

Yüksek kalorifik değere sahip olmaları nedeniyle, atık lastikler enerji üretim süreçlerinde önemli bir alternatif yakıt kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle çimento fabrikalarında, hem enerji verimliliği sağlamak hem de atık yönetimini desteklemek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 1.9.'da tüm lastik hali şekil 1.10.'da da kırıcıdan geçirilmiş fırına beslenmeye hazır parça boyutu küçültülen kıyılmış lastik örneklerini görebiliriz.



Şekil 1.9. Atık Lastik



Şekil 1.10. Kıyılmış Lastik (Fırın beslemesine uygun hali)

1.2.14.2. Atık Yağlar

Orijinal kullanım amacına uygun olmayan kullanılmış motor yağı, şanzıman yağı, yağlama yağları, türbin yağı ya da hidrolik yağlar gibi sentetik yağlayıcılar, sanayi yağları ya da madeni yağları, uygun arıtma ve rafinasyon işlemlerinden geçirilerek alternatif yakıt haline getirilebilmektedir. Bu tür atıklar, özellikle enerji geri kazanım sistemlerinde çevresel etkileri azaltılmış bir biçimde enerji üretimine katkı sağlar (Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği, 2014).

1.2.14.3. Arıtma Çamurları

Evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden elde edilen, kurutulmuş biyolojik çamurlar: içerdiği organik maddeler sayesinde, belirli bir kalorifik değerin üzerinde olduklarında alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu yöntem, hem atık hacmini azaltmakta hem de sürdürülebilir enerji üretimine destek olmaktadır.

1.2.14.4. Sanayi Atıkları

Tekstil, plastik işleme ve deri sanayi gibi sektörlerden ortaya çıkan üretim atıkları ile yarı mamul artıkları, yüksek yanabilirlik özellikleri sayesinde alternatif yakıt potansiyeline sahiptir. Özellikle organik madde oranı yüksek olan bu atıklar, uygun ön işlemlerle yakıt haline getirilerek enerji dönüşüm süreçlerine entegre edilebilmektedir.

1.2.14.5. Yanabilir Kentsel Katı Atıklar (RDF – Refuse Derived Fuel)

Evsel atıkların geri dönüşümü mümkün olmayan ancak yüksek yanma kapasitesine sahip bileşenleri (plastik, tekstil, kâğıt vb.), mekanik ve biyolojik işlem basamaklarından geçirilerek RDF (Refuse Derived Fuel) adı verilen ikincil yakıtı dönüştürülmektedir.

Bu yöntem, atık miktarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda fosil yakıt kullanımının da önüne geçilmesine katkı sunar.

1.2.14.6. Tarım ve Orman Atıkları

Tarım ve orman faaliyetleri sonucunda oluşan zeytin çekirdeği, odun parçaları, fındık kabuğu gibi biyokütle nitelikli atıklar, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakta ve hem biyokütle enerji santrallerinde hem de çimento sektörü gibi yüksek enerji gereksinimi olan alanlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilmektedir.

1.2.14.7. Hayvansal ve Gıda Atıkları

Organik içerik açısından zengin olan bu tür atıklar, anaerobik fermantasyon süreciyle biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Elde edilen biyogaz, elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılmak üzere doğrudan enerji sistemlerine aktarılabilir, böylece hem atık bertarafı sağlanır hem de çevreye duyarlı enerji üretimi gerçekleştirilmiş olur.

1.2.14.8. Ambalaj Atıkları (Yanabilir Nitelikte Olanlar)

Geri dönüşüm sürecine uygun olmayan ancak yanma potansiyeli taşıyan plastik temelli ambalaj atıkları, uygun şartlarda enerji geri kazanımı amacıyla yakılarak enerji üretiminde kullanılabilir.

1.2.15. ATY Üretiminde Kullanılan Atık Kodları

İkincil yakıt olarak kullanılacak atıkların, atık kodları ve tanımlamaları EK-1'de belirtilmiştir.

1.2.16. ATY Üretimi Ve Aşamaları

1.2.16.1. Atık Kabul ve Ön İşleme Süreçleri

1.2.16.1.1. Atık Türleri ve Kaynakları

Genellikle ATY üretim tesislerine gelen atık türleri evsel atıklar, sanayi atıkları, tarım ve gıda atıkları, ticari nitelikli atıklar ve inşaat yıkıntı atıklar gelmektedir. Bu atık türleri içerisinde enerji (kalorifik değer) yüksek ve düşük malzemeler mevcuttur.

- **Evsel Atıklar:** Belediye katı atıkları (örn. kağıt, plastik, tekstil gibi malzemeler) ATY üretiminde en sık kullanılan kaynaklardır.
- **Sanayi Atıkları:** Tekstil, lastik, kauçuk, ambalaj malzemeleri ve üretim esnasında ortaya çıkan yan ürünler bu kategoriye dahildir.
- **Tarım ve Gıda Atıkları:** Düşük enerji kapasitesine sahip organik maddeler genellikle biyokütleyle dönüştürülmek üzere ayrılır. ATY üretim tesislerinde çok tercih edilmez.
- **Ticari Nitelikteki Atıklar:** Alışveriş merkezlerinden veya ofislerden çıkan karton, kağıt ve plastik içerikli atıklar.
- **İnşaat ve Yıkıntı Atıkları:** Ahşap gibi enerji değerine sahip malzemeler bu gruba girer.

1.2.16.1.2. Atık Kabul Süreçleri

- **Ön İnceleme:** Tesise alınacak atıkların kaynağı, içeriği, türü ve potansiyel tehlike unsurları detaylı bir şekilde değerlendirilir.
- **Yetkili Taşıma Prosedürleri:** Atıkların tesislere ulaştırılması sırasında, ulusal düzenlemelere uyulması ve izlenebilirliğin sağlanması zorunludur. Tehlikeli atık kodu ile gelen atıklar motat sisteminde girişinin olup, olmadığı kontrolü sağlanır.

- **Analiz ve Numune Alma:** Tesise ulaşan her atık partisinden numune alınarak, enerji içeriği, nem oranı, kül, klor ve ağır metal seviyeleri belirlenir. Analiz sonuçlarına göre enerji potansiyeli yüksek atıklar tesise kabul edilir (Osmaniye İlnde ATY Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu , 2016).

1.2.16.1.3. Nem Kontrolü ve İlk Aşamalı Ayrıştırma

- **Nem Seviyesi:** Atıkların nem oranı % 10 ile % 30 arasında olmalıdır. Nem seviyesinin yüksek olmasından kaynaklı atığın enerji potansiyelinde düşüş gözlemlenecektir. Bundan dolayı istenilen oran aralığında olmasına dikkat edilir. Eğer ATY üretim tesisinde mevcut ise istenilen oran aralığından daha yüksek nem içeren malzemeler kurutma ünitelerine yönlendirilir (Osmaniye İlnde ATY Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu , 2016).
- **İlk Ayrıştırma İşlemi:** Büyük ölçekli maddeler (örneğin mobilya ya da büyük plastik parçalar) ön kırıcı makinalar ile parçalanarak işleme uygun hale getirilir (Osmaniye İlnde ATY Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu , 2016).

1.2.16.2. Mekanik ve El İle Yapılan Ayrıştırma İşlemleri (Atık Ayrıştırma)

1.2.16.2.1. Elle Ayrıştırma (Elleçleme)

Operatör veya saha görevlileri, tesisin güvenliğini ve yanma sürecinin verimliliğini artırmak amacıyla pil, boya kutuları ve tıbbi atıklar gibi tehlikeli maddeleri elle ayırır (Şekil 1.11.).



Şekil 1.11. Elle ayırma (Elleçleme) (URL25)

1.2.16.2.2. Mekanik Ayırma Sistemleri

1.2.16.2.2.1. Manyetik Ayırıcılar:

Çelik ve demir gibi manyetik özellik taşıyan metallerin ayrıştırılmasını sağlar ve geri dönüşüme gönderir(Şekil 1.12.).



Şekil 1.12. Manyetik Separatörler ile Ayırma (URL13)

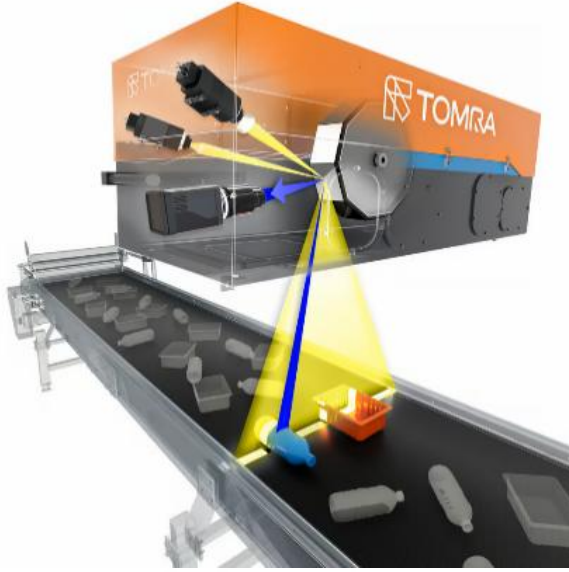
1.2.16.2.2.2. Eddy Current Separator (Foucault Akımı Ayırıcıları):

Alüminyum gibi manyetik olmayan metaller bu sistemler vasıtasıyla ayrılır (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Eddy Current Separator ile Ayırma (URL10)

Optik Sensör Teknolojisi: Plastik türlerini (ör. PET, HDPE) ve renklerini ayırt ederek sınıflandırır (Şekil 1.14.).



Şekil 1.14. Optik Sensör Teknolojisi ile Ayırma (URL11)

1.2.16.2.2.3. Trommel Elek Sistemleri:

Atıklar, boyutlarına göre ayrılır: örneğin organik içerikler küçük eleklerden geçer (Şekil 1.15.).



Şekil 1.15. Trommel Elek Sistemleri ile Ayırma (URL12)

1.2.16.2.2.4. Hava Akımlı Ayırıcılar:

Hafif (plastik, kâğıt) ve ağır (cam, taş) maddeler hava yardımıyla birbirinden ayrıştırılır (Şekil 1.16.).



Şekil 1.16. Hava Akımlı Ayırıcı Sistemler ile Ayırma (URL14)

1.2.17. Organik Ve İnorganik Atıklar

1.2.17.1. Organik Atıklar:

Kompostlama veya biyogaz üretimi için işlenir: genelde ATY tesislerinde kullanılmaz.

1.2.17.2. İnorganik Atıklar:

Enerji yoğunluğu yüksek olan plastik, kâğıt ve tekstil gibi malzemelerden yakıt üretimi sağlanır.

1.2.18. PARÇALAMA VE BOYUTLANDIRMA SÜRECİ

1.2.18.1. Parçalama Aşamaları

- **Birincil Parçalama:** Atıklar ön kırıcı makinalarla 100-150 mm boyutlarına ayrılır.
- **İkincil Parçalama:** Atıklar, daha küçük boyutlara (örn. 20-30 mm) getirilir ve özellikle çimento fabrikalarında fırına besleme (kullanım) için uygun hale getirilir.

1.2.19. Boyut Küçültmede Kullanılan Makine (Kırıcı) Ekipmanlar

1.2.19.1. Kırıcılar:

Kauçuk ve sert plastik gibi malzemeleri işlemek için yüksek torklu makinalar kullanılır. Atıktan türetilmiş yakıt (ATY) üretiminde kullanılan kırıcı makineler, atıkları uygun boyutlara indirerek yakıt olarak kullanılabilir hale getiren sistemlerdir. Bu makineler, atık malzemeleri parçalarken, işlenebilir ve homojen bir yapı oluşturarak

enerji geri kazanım sürecinin verimliliğini artırır. ATY üretiminde yaygın olarak kullanılan kırıcılara örnek vererek açıklayacak olursak:

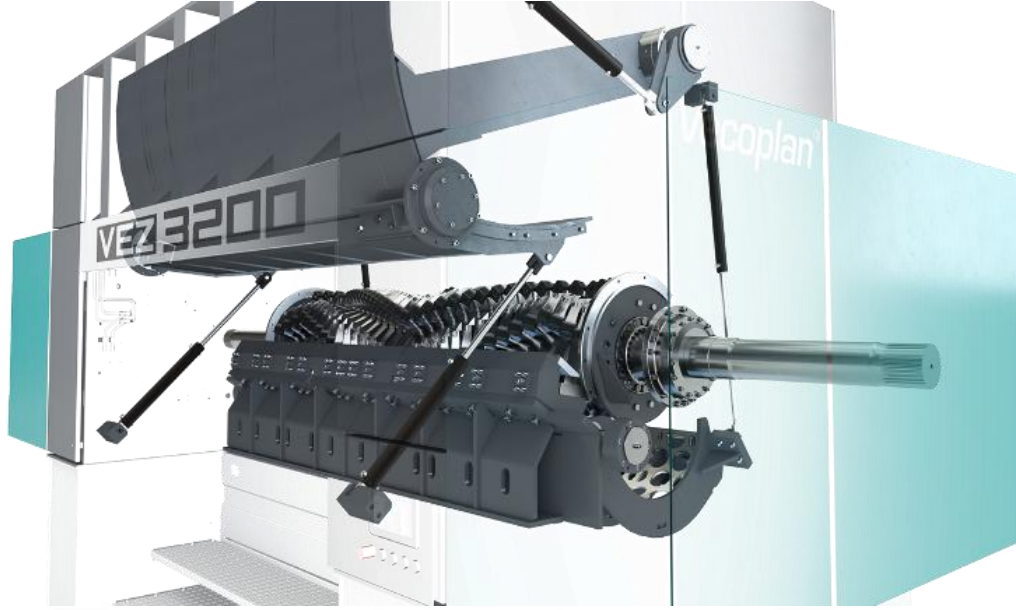
Vecoplan VEZ Serisi (Tek Şaftlı Kırıcı)

Vecoplan VEZ serisi, endüstriyel atıkların geri dönüşümünde yaygın olarak tercih edilen güçlü bir kırıcıdır. Tek şaftlı yapısı sayesinde, atıkları homojen ve daha küçük parçalara ayırır. Bu makineler, genellikle geri dönüşüm tesislerinde, plastik ve kâğıt gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Ön kırıcı modelleri de olmasına rağmen daha çok ikinci (final) kırıcı olarak tercih edilmektedir. Şekil 1.17.-1.19.'da kırıcı ve rotor yapısını görebiliriz.

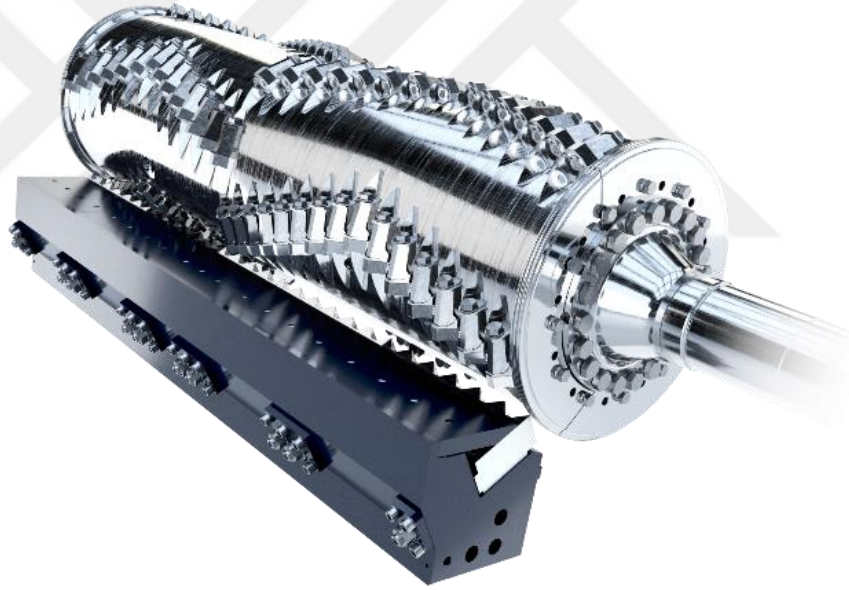
Kullanım Alanı: Plastik, kâğıt, endüstriyel atık, ahşap, metal, organik atıklar



Şekil 1.17. Vecoplan VEZ 3200 Kırıcı (URL15)



Şekil 1.18. Vecoplan VEZ 3200 RDF Parçalayıcı (URL15)



Şekil 1.19. Vecoplan VEZ 3200 RDF Parçalayıcı Rotoru (URL15)

UNTHA XR3200 (Tek Şaftlı Kırıcı)

UNTHA XR3000, zorlu atıkları etkili bir şekilde işlemek amacıyla geliştirilmiş güçlü bir tek şaftlı kırıcıdır. Bu makineler, lastikler, ahşap ve plastik gibi büyük hacimli atıkları küçültür ve geri dönüşüm için uygun hale getirir. Hem kaba kırıcı hem de ince kırıcı olarak tercih edilmektedir. Avusturya yapımı olan kırıcı ülkemizde de hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır (Şekil 1.20.-1.22.).

Kullanım Alanı: Endüstriyel atıklar, lastikler, ahşap, plastik, organik atıklar



Şekil 1.20. Untha kırıcı XR3000 Kırıcı (URL16)



Şekil 1.21. Untha Kırıcı XR3200 RDF Kırıcı (URL16)



Şekil 1.22. Untha kırıcı Rotoru (URL16)

Jupiter 3200 Lindner (Tek Şaftlı Kırıcı)

Jupiter, genellikle yabancı maddeler içeren ve henüz işlenmemiş malzemelerin kaba parçalanmasında kullanılan, tek şaftlı ve yavaş dönen kırıcıdır. Kullanım kolaylığı ve atıklar için etkin bir çözüm olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır(Şekil 1.23.-1.25.).

Kullanım Alanı: Evsel atık, endüstriyel atık, tahta atığı, hacimli atık, karışık inşaat ve yıkıntı atıkların kırımında



Şekil 1.23. Jupiter 3200 Lindner Kırıcı (URL17)



Şekil 1.24. Jupiter 3200 Lindner Kırıcı Rotor ve Elek (URL17)



Şekil 1.25. Jupiter 3200 Lindner Kırıcı Rotor (URL17)

Komptech Terminator (Tek Şaftlı Kırıcı)

Komptech Terminator, tek şaftlı ve güçlü motorlarıyla zor kırılabilen atıkları işlemekte etkili bir kırıcıdır. Lastikler, ahşap malzemeler ve inşaat atıkları gibi sert atıklar bu kırıcıyla kolayca parçalanabilir (Şekil 1.26.-1.28.).

Kullanım Alanı: Lastikler, katı atıklar, inşaat atıkları, ahşap, plastik



Şekil 1.26. Terminatör 5000 S Kırıcı (URL18)



Şekil 1.27. Terminatör 5000 S Kırıcı Rotor Yapısı (URL18)



Şekil 1.28. Terminatör 5000 S Kırıcı (URL18)

SSI Shredding Systems SR900

SSI Shredding Systems'in SR900 modeli, büyük boyutlu endüstriyel atıkların kesilmesi ve geri dönüşümü amacıyla geliştirilmiş, güçlü bir kırıcıdır. Bu cihaz, sağlam yapısı ve yüksek verimlilikteki işleme kapasitesiyle tanınmaktadır (Şekil 1.29.-1.30.).

Kullanım Alanı: Kağıt-karton, inşaat atıkları, plastik, elektronik atıklar



Şekil 1.29. SSI Shredding Systems SR900 Kırıcı (URL19)



Şekil 1.30. SSI Shredding Systems SR900 Kırıcı Rotor Yapısı (URL19)

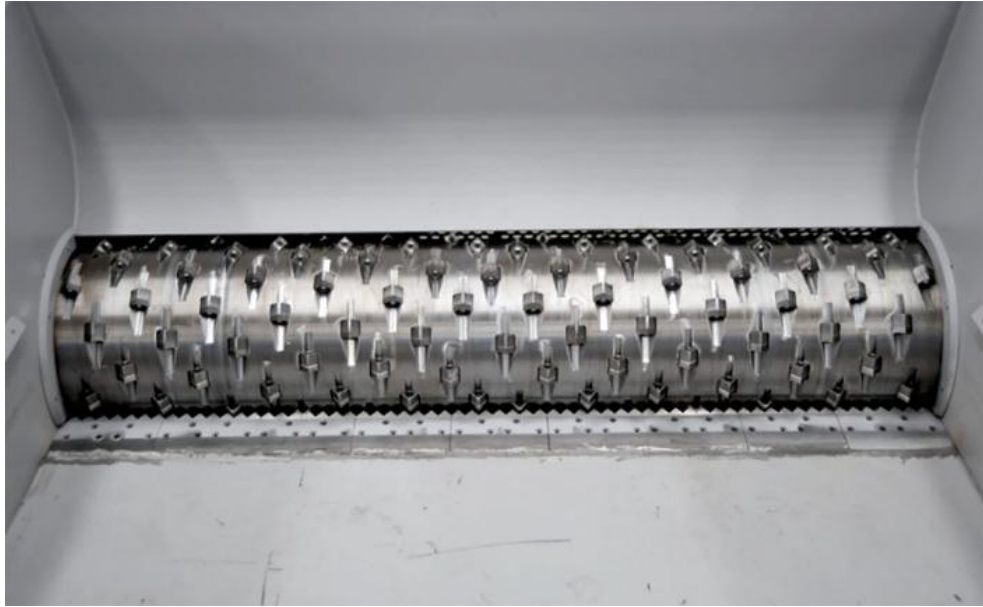
ZERMA ZHS Series (Tek Şaftlı)

Zerma ZHS Serisi kırıcıları, endüstriyel atıkları işlemek ve geri dönüştürmek amacıyla geliştirilmiş, verimli ve sağlam makineler olarak tanınır. Bu seri, özellikle plastik, lastik, metal ve ahşap gibi malzemelerin geri dönüşümünde kullanılır ve çeşitli endüstrilerde tercih edilmektedir (Şekil 1.31.-1.33.).

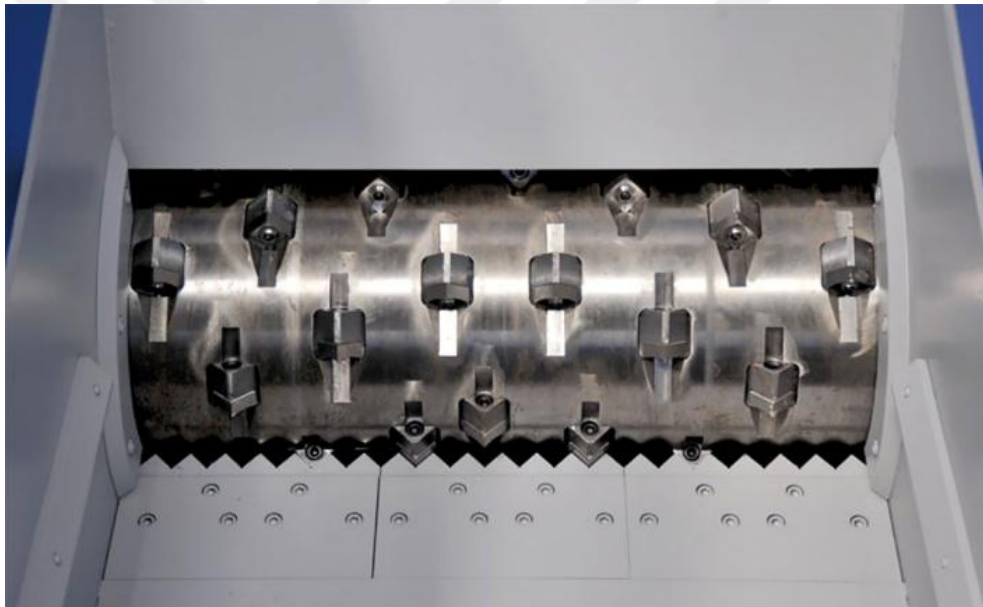
Kullanım Alanı: Plastik, kâğıt, lastik, ahşaplar, elektronik atıklar



Şekil 1.31. ZERMA ZHS Series Kırıcı (URL20)



Şekil 1.32. ZERMA ZHS Series Kırıcı Rotor Yapısı (URL20)



Şekil 1.33. ZERMA ZHS Series Kırıcı Rotor Yapısı (URL20)

Tana Shark Series (Tana Shark 440DT, Tek Şaftlı)

TANA Shark 440DT, mobil yapıdaki bir atık öğütücüdür ve özellikle sanayi atıkları, inşaat enkazları, kullanılmış lastikler, yataklar, ağaç gövdeleri, kökler ve organik atıkların işlenmesine elverişlidir. Bu model, yüksek tork kapasitesi ve güçlü kesme performansı ile öne çıkar. Cihaz, 44 adet aşınmaya karşı dayanıklı diş ve 23 karşı bıçak içeren yavaş dönen bir rotorla donatılmıştır. Bu yapı, hedeflenen parça büyüklüğüne ulaşmak için yalnızca elek sepetinin değiştirilmesini yeterli kılar. Ayrıca, sistemde yer alan akıllı kontrol ünitesi sayesinde, işlenecek atık türüne göre uygun programlar

seçilerek otomatik ayarlamalar gerçekleştirilir. Böylece kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan işlem süreci verimli bir şekilde optimize edilir (Şekil 1.34.-1.36.).

Kullanım Alanı: Plastik, kağıt, lastikler, ahşaplar, elektronik atıklar



Şekil 1.34. TANA Shark 440 DT (URL21)



Şekil 1.35. TANA Shark 440 DT Rotor Yapısı (URL21)



Şekil 1.36. TANA Shark 440 DT (URL21)

1.2.20. Homojenleştirme Ve Enerji Değerlerini Optimize Etme

1.2.20.1. Malzeme Karışımı ve Ayarlama

Farklı malzemelerden oluşan karışımlar, üretim hedefleri doğrultusunda belirli oranlarda düzenlenmektedir. Yüksek kalorifik değerlere sahip olmaları nedeniyle plastik atıklar, alternatif yakıt olarak daha sık tercih edilmektedir. Kâğıt ve tekstil içerikli atıklar ise orta düzeyde enerji sağlar. Lastikler ise hem yüksek enerji içerikleri hem de uzun yanma süreleri ile dikkat çekmektedir.

Daha önce de ifade edildiği üzere, besleme sürecinde kullanılacak malzemelerin belirli parametre aralıklarında olması gerekmektedir. Bu gereklilik doğrultusunda, yüksek kalorifik değere sahip malzemeler ile düşük kalorifik değerlere sahip olanlar uygun oranlarda karıştırılarak, hedeflenen enerji ve kalite parametreleri sağlanmaktadır. Böylece karışımın hem beslemeye uygunluğu hem de enerji değeri açısından istenilen sınırların içinde kalması temin edilir.

Beslemeye hazırlanan malzemelerin (atıklar) homojen bir karışım olması için karıştırıcılar ve bunkerler kullanılmaktadır.

1.2.20.2. Enerji Değerlerinin Belirlenmesi

ATY'nin enerji kapasitesi genelde kcal/kg birimiyle hesaplanır. Örnek belirtecek olursak:

Plastik: 6.000-7.000 kcal/kg

Kağıt: 3.500-4.000 kcal/kg

Lastik: 7.000-8.000 kcal/kg (Osmaniye İlinde ATY Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu , 2016)

1.2.20.3. Nem ve Kül Analizleri

- **Nem Kontrolü:** Yanma sürecinde verimliliği artırmak için nem oranı optimize edilir.
- **Kül Analizi:** Yanma sonrası ortaya çıkan kül, çimento klinkerine dönüştürülerek değerlendirilir.

1.2.21. Depolama Ve Taşıma Süreçleri

1.2.21.1. Depolama Koşulları

ATY, işlem sonrası sıkıştırılarak balya haline getirilebilir veya bunkerlerde stoklanır. Depolama alanları genellikle kapalı ve yangın güvenliği açısından korunaklıdır.

1.2.21.2. Yangın Güvenliği

ATY tesislerinde besleme için hazırlanacak malzemelerin reaksiyona girerek, ısının açığa çıkıp yangın çıkması muhtemel olduğundan depolama alanları yangına karşı algılama ve söndürme sistemleri ile donatılmıştır.

1.2.21.3. Taşıma Süreçleri

ATY, genellikle çimento fabrikalarına veya enerji üretim tesislerine taşınır. Bu esnada sızdırmaz konteynerler kullanılır.

1.2.22. Kullanım Alanları Ve Yanma Teknolojileri

1.2.22.1. Çimento Fırınları

ATY çimento üretim fırınlarında fosil yakıtların yerine kullanılabilen alternatif bir yakıt türüdür. Fosil yakıtların yanı sıra yüksek sıcaklık sayesinde zararlı emisyonlar tamamen ortadan kaldırılır ve yanma sonrası oluşan kül klinkere dönüştürülür. Atık tamamen değerlendirilmiş olur.

1.2.23 Çimento Üretiminde Fosil Yakıtlar Yerine Alternatif Yakıt Kullanımının Avantaj/Dezavantajları

Her bir prosesin kullanımı, hem sistemsel açıdan hem ürün kalitesi hem de çevresel açıdan çeşitli avantaj ve dezavantajlar barındırmaktadır. Çimento üretiminde fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların tercih edilmesi de benzer şekilde çeşitli olumlu ve olumsuz etkiler doğurmaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında, bu avantaj ve dezavantajlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1.2.23.1. Avantajlar:

- **Çevresel Etkilerin Azaltılması:** Fosil yakıtlar, sera gazı emisyonlarına yol açarken, alternatif yakıtlar genellikle daha düşük karbon emisyonları ile çevreye daha az zarar verir. Bu sayede, karbon ayak izi ve sıcaklık artışı gibi çevresel etkiler azalır. Ayrıca, atıkların geri dönüştürülmesiyle çevresel kirliliğin önüne geçilir. Atıktan türetilmiş yakıtlar (ATY), organik atıklar, endüstriyel atıklar veya tarım atıkları gibi materyallerin değerlendirilmesini sağlar (Özkan, 2011).
- **Fosil Yakıtlara Bağımlılığın Azaltılması:** Fosil yakıtların tükenebilir doğası göz önüne alındığında, alternatif yakıtlar kullanmak, yakıt teminindeki riskleri azaltır ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlar. Ayrıca, alternatif yakıtlar yerel kaynaklardan temin edilebileceği için enerji arz güvenliğini artırır ve dışa bağımlılığı azaltır (URL2).
- **Atık Yönetimi ve Ekonomik Faydalar:** Çimento endüstrisinde atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması, atık bertaraf maliyetlerini düşürür. Aynı zamanda, atık yönetimine yönelik daha verimli bir yaklaşım sağlar. Çimento sanayisinin enerji ihtiyacı daha uygun maliyetlerle karşılanabilir. Özellikle atıklar, taze fosil yakıtlara göre daha düşük maliyetlerle temin edilebilir.
- **Daha Yüksek Enerji Verimliliği:** Bazı alternatif yakıtlar, özellikle yüksek kalorifik değere sahip atıklar, çimento fırınlarında yakıt olarak kullanıldığında daha yüksek verimlilik sağlayabilir.
- **İyi Bir Çevresel İmaj:** Alternatif yakıt kullanımı, çevre dostu uygulamalara duyarlı tüketiciler, yatırımcılar ve devlet politikaları için olumlu bir imaj oluşturur. Bu da şirketin rekabet avantajını artırabilir.

1.2.23.2. Dezavantajlar:

- **Alternatif Yakıtların Uygunluğu ve Kalite Farklılıkları:** Alternatif yakıtların kalitesi ve bileşimi oldukça değişken olabilir, bu da yanma verimliliği ve fırın performansını etkileyebilir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, bazı alternatif yakıtlar daha düşük kalorifik değer sunabilir. Ayrıca, hangi tür atıkların uygun olduğu konusunda belirli sınırlamalar ve zorluklar mevcuttur. Her tür atık, çimento üretim sürecine uygun olmayabilir.
- **Teknik ve Altyapı Yatırımları:** Alternatif yakıtların kullanımı için mevcut çimento fırınlarının yeniden yapılandırılması veya modifikasyonu gerekebilir. Bu

da başlangıçta yüksek maliyetler ve ekstra yatırımlar anlamına gelir. Çeşitli atıkların işlenmesi ve depolanması için ek altyapı gereksinimleri ortaya çıkabilir.

- **Yakıtın Tedarik Zinciri Sorunları:** Bazı alternatif yakıtların tedarik sürekliliği sağlanamayabilir. Özellikle yerel kaynaklardan elde edilen atıkların düzenli olarak temin edilmesi zor olabilir. Alternatif yakıtların temininde karşılaşılan lojistik ve tedarik problemleri, operasyonel aksamalara yol açabilir.
- **Karmaşık Yönetim ve Denetim Gereksinimi:** Alternatif yakıtların kullanımı, özellikle çeşitli atık türlerinin işlenmesi gerektiğinde, ekstra yönetim ve denetim süreçleri gerektirebilir. Ayrıca, çevresel yasaların ve düzenlemelerin tam olarak yerine getirilmesi için ek denetimler ve sertifikasyonlar gerekebilir (Ekinciöglü, Gürgün, Engin, Tarhan, & Kumbaracıbaşı, 2013).
- **Sağlık ve Güvenlik Riskleri:** Bazı atıkların yakılması sırasında zararlı emisyonlar (örneğin, ağır metaller, dioxinler) ortaya çıkabilir. Bu, çalışan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Yanma proseslerinde oluşabilecek toksik gazlar ve diğer zararlı yan ürünler, düzgün bir arıtma ve filtreleme sistemi gerektirir (Ekinciöglü, Gürgün, Engin, Tarhan, & Kumbaracıbaşı, 2013).

Netice itibarıyla, her sistemin ve malzemenin kullanımında olduğu gibi, fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların tercih edilmesi de kendi içinde bazı yararları ve sakıncaları barındırmaktadır. Alternatif yakıt kullanımı, çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi ve ekonomik açıdan katkı sağlaması bakımından çeşitli avantajlar sunarken: uygulama sürecinde karşılaşılabilecek teknik zorluklar ve belirli riskler gibi olumsuz yönler de mevcuttur. Bu nedenle, çimento fabrikalarının alternatif yakıt kullanımına geçmeden önce, potansiyel faydaları ve olası dezavantajları dikkatli bir şekilde analiz etmeleri ve bu doğrultuda stratejik bir yaklaşım benimsemeleri önem arz etmektedir.

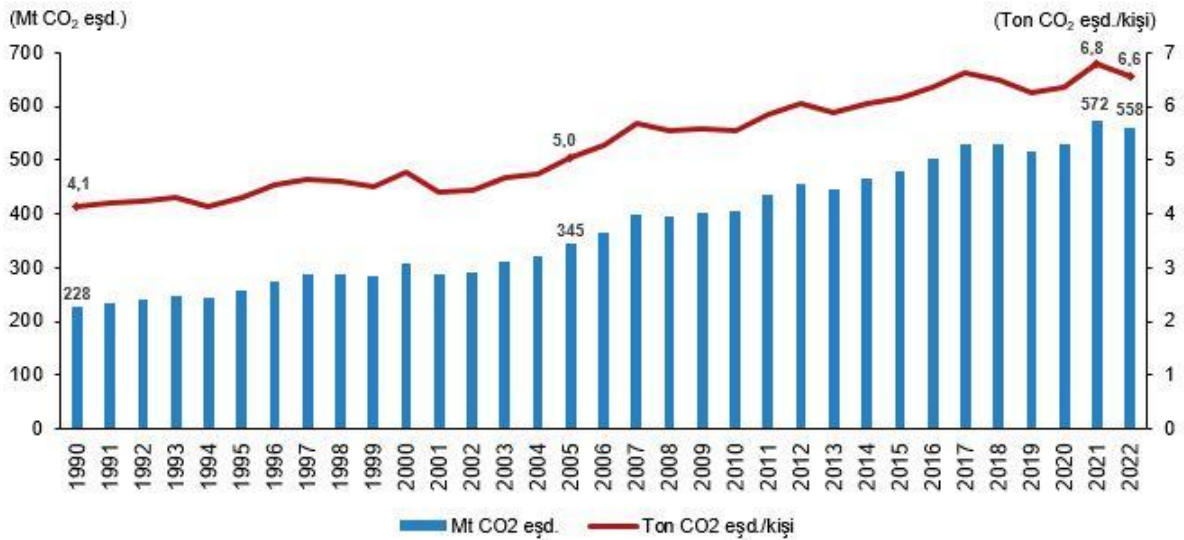
1.2.24. Sera Gazı Nedir?

Yeryüzünden yayılan belirli dalga boylarındaki kızılötesi radyasyonun bir kısmını emerek ve tekrar salarak sera etkisini oluşturan gaz halindeki bileşikler, sera gazları olarak adlandırılır. Bu gazlar, atmosferde oldukça düşük bir oranda (%1) bulunmalarına rağmen, Güneş'ten gelen ışınların uzaya geri yansımaları engelleyerek, sıcaklığın yeryüzünde belirli bir dengeyle yayılmasına yardımcı olur. Böylece, Dünya üzerindeki canlılar için yaşam koşullarına uygun bir sıcaklık sağlanmış olur. Eğer sera gazları mevcut olmasaydı, Güneş'ten gelen ısı atmosferde tutulamaz ve tamamen uzaya geri

yansıyarak kaybolurdu. Bu durumda, aşırı soğuk nedeniyle tüm canlıların yok olması söz konusu olabilirdi.

Bugün, iklim değişikliğinin başlıca nedeni, atmosferde doğal olarak bulunan sera gazları değil, insan faaliyetleri sonucunda artan sanayileşme, fosil yakıt tüketimi, endüstriyel üretim ve fabrikalar gibi faktörlerle yükselen insan kaynaklı sera gazı emisyonlarıdır (Eken, 2024).

1990-2022 yılları arasında mevcut sera gazı envanteri sonuçlarına göre CO₂ eşdeğerliğine baktığımızda, her geçen gün üretim/kullanımın artışıyla birlikte artışıyla CO₂ eşdeğerliğinde de artış gözlenmiştir. 2022 yılında toplam sera gazı emisyonu, bir önceki yıla kıyasla %2,4 oranında düşüş göstererek 558,3 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak belirlendi. Kişi başına düşen toplam sera gazı emisyonu ise 1990 yılında 4,1 ton CO₂ eşdeğer, 2021 yılında 6,8 ton CO₂ eşdeğer ve 2022 yılında 6,6 ton CO₂ eşdeğer olarak hesaplandığı şekil 1.37’de gösterilmiştir.



Şekil 1.37. Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2022 (URL22)

Atmosferde bulunan başlıca sera gazları ise şunlardır:

Karbon dioksit (CO₂) – Fosil yakıt kullanımı, sanayi ve ormansızlaşma nedeniyle artmaktadır.

Metan (CH₄) – Tarım, hayvancılık ve çöplerin çürümesiyle atmosfere salınır.

Azot oksitler (N₂O) – Tarımda kullanılan gübrelere ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklanır.

Su buharı (H₂O) – Doğal bir sera gazıdır, ancak insan faaliyetlerinden doğrudan etkilenmez.

Florlu gazlar (HFC, PFC, SF₆) – Soğutucular, klimalar ve sanayi süreçlerinde kullanılır.

1.2.25. Emisyon Hesaplama Yöntemleri

1.2.25.1. IPCC Hesaplama Yöntemi

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında sera gazı emisyonları beş ana sektörde değerlendirilmektedir. Bu sektörler şunlardır:

- Enerji,
- Endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı,
- Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı,
- Atık yönetimi,
- Diğer sektörler.

Sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve raporlanması için farklı standartlar mevcuttur. Bunlar arasında en yaygın kullanılanlardan biri, Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi tarafından geliştirilen Sera Gazı Protokolüdür. Bu protokol, emisyon hesaplamalarında sınırların ve kapsamaların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde, karbon ayak izi hesaplamaları, %100'e yakın bir doğruluk oranıyla yapılabilmektedir. Dünya çapında karbon emisyonlarının hesaplanmasına yönelik birçok yöntem geliştirilmiş olup, bu yöntemlerin çoğu, IPCC dokümanlarına dayanan yazılımlar aracılığıyla uygulanmaktadır (Ateş, 2021).

Her sektör için sera gazı emisyon hesaplamaları, kullanılan emisyon faktörleri ve formüllere göre yapılmaktadır. IPCC, sera gazı emisyonlarının hesaplanması için Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olmak üzere üç farklı yöntem geliştirmiştir:

- **Tier 1 yöntemi:** Bu yöntem, ülkelerin yakıt tüketimi verileri ve standart emisyon faktörleri kullanılarak yapılan bir hesaplama tekniğidir. Hesaplama sırasında, kullanılan fosil yakıt türüne odaklanılırken, hangi teknoloji veya ekipman markasının kullanıldığı dikkate alınmaz.
- **Tier 2 yöntemi:** Bu yöntem, ülkelerin yakıt kullanım verilerinin, her bir ülkenin belirlediği yakıt türlerine özgü emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmasını sağlar. Tier 1'e göre daha fazla parametre (yakıtın yaşı, türü, kontrol teknolojisi vb.) dikkate alındığı için doğruluk oranı daha yüksek olmaktadır.

- **Tier 3 yöntemi:** Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre daha karmaşık ve ayrıntılı hesaplamalar gerektiren bir yöntemdir. Bu yöntemde, araçların kat ettiği mesafe ve taşıdığı yük miktarı gibi ek faktörler hesaplamalara dâhil edilir (Hünerli, 2023).

Başlangıçta, Tier 1-2-3 yöntemleri sektörel bazda sınıflandırılmışken, daha sonra tesislerin faaliyetleri sırasında ortaya çıkan yan girdiler (hammadde, depolama, üretim, nakliye vb.) de göz önünde bulundurularak karbon emisyonları daha detaylı bir şekilde hesaplanmaya başlanmıştır. Yazılım süreçleri geliştirilirken, bir ürünün üretim sürecinde kullanılan hammaddeden başlayarak tesisin tüm süreçleri boyunca oluşan karbon emisyonu hesaplanmakta ve nihai ürün aşamasına kadar her bir aşama dikkate alınmaktadır (Ateş, 2021).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Tosun (2006) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, çimento fabrikalarında çimento üretiminde kullanılan yakıt türleri, katı atık kullanan çimento fabrikalarına ait örnekler, üretim süreci ve bu süreçte oluşan emisyonlar ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, atık yakma yöntemini benimsemek isteyen çimento üreticilerinin, atık kullanımına bağlı olarak artacak baca gazı emisyonlarını düşürme çabaları ve kullandıkları arıtım teknolojilerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, yakıtların farklı oranlarda kullanıldığı senaryolar oluşturulmuş ve her bir senaryo için ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak, atık kullanım oranı arttıkça, uyulması gereken baca gazı emisyon sınır değerlerinin, artış oranına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Tosun, 2006).

İsli (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çevresel tehditler barındıran ve yüksek ısı değerlere sahip malzemeler olarak kabul edilen ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL), endüstriyel plastik atıkları (RDF), arıtma çamuru ve atık yağların, çimento fabrikalarındaki döner fırınlarda fosil yakıtlar (petrokok, linyit) yerine nasıl değerlendirilebileceği araştırılmıştır. Çalışmada, başlangıçta tamamen fosil yakıt kullanımı ile işletilen döner fırınlarda, alternatif yakıt kullanımıyla yakıt dağılımı %75 petrokok, %14 ÖTL ve %11 RDF şeklinde değiştirilmiştir. Araştırmada ayrıca, alternatif yakıt kullanımı sonrası üretilen klinkerin mikroyapısı incelenmiş ve döner fırın prosesi kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, alternatif yakıtların kullanımı, döner fırın spesifik enerji tüketiminde 1–1,5 kWh/tonluk bir artışa neden olmuştur. Ayrıca, proses sırasında siklon tepesi sıcaklıklarında yükselme gözlemlenmiştir. Döner fırın prosesinde normal şartlarda 300–350 °C civarında seyreden siklon tepesi sıcaklıkları, alternatif yakıt kullanımı ile zaman zaman 400 °C'nin üzerine çıkmıştır. Buna ek olarak, alternatif yakıt kullanımı sonucunda üretilen klinker örneklerinde yaklaşık 1 MPa seviyesinde bir dayanım kaybı meydana geldiği belirlenmiştir (İsli, 2024).

Kaddatz ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, karbon kaplama, kullanılmış endüstriyel yağlayıcılar ve atık lastikler gibi üç farklı alternatif yakıtın simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada, bu üç yakıt kaynağı arasında en verimli seçeneği belirlemek amacıyla karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Elde edilen

bulgulara göre, endüstriyel yağlayıcıların karbon dioksit (CO₂) emisyonları açısından en uygun alternatif yakıt seçeneği olduğu sonucuna varılmıştır (Kaddatz, Rasul, & Rahman, 2013).

Öztürk (2016) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında, alternatif hammadde kullanımı kapsamında arıtma çamuru, baca tozu ve döküm kumu atıklarının çimento üretiminde üretim istikrarını sağlamak amacıyla kullanılmadığı belirtilmiştir. Ancak, belirli bir kalorifik değer (2500–3000 kcal/kg) ve %90–95 oranında kuruluk sağlandığında kuru arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak değerlendirildiği ve tesiste kullanıldığı ifade edilmiştir. Çalışmada, tesis bünyesinde otomatik besleme sistemi bulunmadığı için diğer potansiyel alternatif yakıtların kullanımının sınırlı kaldığı da vurgulanmıştır. Araştırma bulgularına göre, alternatif yakıt kullanımı hem karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının azaltılmasına hem de yakıt tasarrufu sağlanmasına katkıda bulunarak çevresel ve ekonomik faydalar sunmaktadır. Ayrıca, alternatif hammadde ve yakıt kullanımının çevre kirliliğini önlemeye yardımcı olduğu, doğal kaynak kullanımını azalttığı ve tesisin maliyet etkinliğini artırdığı belirlenmiştir. Çalışma, bu tür uygulamaların Türkiye'de giderek yaygınlaştığını ve çevre dostu üretim süreçlerinin gelişmesine önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır (Öztürk E. , 2016).

Ordu ve Öztürk (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çimento fabrikalarında alternatif hammadde ve yakıt kullanımının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, demir cürufu, uçucu kül, döküm kumu ve fosfojips gibi alternatif hammaddelerin çimento üretiminde kullanılmasıyla kalite parametrelerine uygun geri kazanımın sağlandığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, alternatif hammadde kullanımı sayesinde çimento fabrikasına toplamda 7.031.998 TL ekonomik kazanç sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, alternatif yakıt olarak arıtma çamurunun kullanılması durumunda tesisin maliyet avantajı 200.514.450 TL olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, alternatif hammadde ve yakıt kullanımının çimento fabrikalarında hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir (Ordu & Öztürk, 2017).

Öztürk (2021) tarafından gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında, çimento üretiminde alternatif yakıt kullanımının baca gazı emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, döner fırınlarda alternatif atıkların kullanımı sonucunda partikül madde (toz), kükürt oksitler (SO_x), toplam organik karbon (TOK), hidrojen florür

(HF) ve hidroklorik asit (HCl) emisyonlarında anlamlı bir değişiklik gözlemlenmediği belirtilmiştir. Buna karşılık, azot oksitler (NO_x) emisyonlarının, ısıl yer değiştirme oranından bağımsız olarak azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca, farklı atık türlerinin ve çeşitli yakıt besleme noktalarının kullanılmasıyla NO_x emisyonlarının %50 oranına kadar azaltılabileceği ortaya konmuştur. Bunun yanında, daha düşük emisyon faktörüne sahip atıkların alternatif yakıt olarak tercih edilmesinin, karbon dioksit (CO_2) emisyonlarında azalma sağladığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, alternatif yakıt kullanımı ile %3,47 oranında CO_2 emisyon azalışı gerçekleşmiştir (Öztürk B. , 2021).

Şanlı ve Ünlü (2020) tarafından yapılan bir makalede, çimento üretiminde kullanılan ikincil yakıtların çimentonun mukavemeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, %10 oranında atık lastik ve %5 oranında atık yağın ikincil yakıt olarak kullanılması, çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli bir değişikliğe yol açmamış ve çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmamıştır. Elde edilen bulgular, atık yakıtların çimento üretiminde kullanılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydaların elde edilebileceğini ortaya koymaktadır. Araştırma, ikincil yakıt kullanımının çimento sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir çözüm sunduğunu vurgulamaktadır (Şanlı & Ünlü, 2020).

Akdağ (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Türkiye'deki iki farklı evsel katı atık geri kazanım tesisinden alınan atıktan türetilmiş yakıt (ATY) örneklerinin termal özellikleri ve yanma verimlilikleri incelenmiştir. Çalışmada, ATY örneklerinin yaklaşık ve elemental analizleri yapılmış, yanma davranışları ise termogravimetrik analiz (TGA) yöntemleri kullanılarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, ATY külünün kimyasal bileşimi X-Işını Floresans (XRF) analizi ile belirlenmiştir. Araştırmada, ATY örnekleri kömür ve petrokok ile belirli oranlarda karıştırılarak, karışımların laboratuvar ölçeğinde yanma verimlilikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ATY'nin kalorifik değerinin kömürle karşılaştırılabilir seviyede olduğu, ancak petrokoka kıyasla bir miktar daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ATY karışım oranı %10'un üzerine çıktığında, baca gazındaki karbon monoksit (CO) miktarında artış gözlemlenmiş ve bu durum yanma verimliliğinde düşüşe yol açmıştır. Çalışmada ayrıca, ATY ilavesiyle birlikte baca gazı içerisindeki kükürt dioksit (SO_2) emisyonlarının azaldığı, buna karşın azot oksit (NO_x) profilinde anlamlı bir değişim meydana gelmediği belirlenmiştir. Öte

yandan, ATY'nin tek başına yakılması durumunda, elde edilen külün curuf ve depozit oluşum indekslerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Akdağ, 2014).

Carrasco ve ark. (2002) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, alternatif yakıt olarak ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) kullanımının gaz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, sekiz farklı döner fırın bacasından numuneler alınarak değerlendirme yapılmış; ayrıca toz ve ağır metal emisyonlarının yanı sıra klinker soğutma bacalarından da örnekler toplanarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Araştırma yalnızca kömür ve kömür+ÖTL karışımı yakıt kullanım senaryoları ile sınırlandırılmıştır. Gaz kirleticilerine ilişkin veriler, baca çıkışlarından üç ayrı gün boyunca alınan örnekler ile elde edilmiştir. Çalışmada incelenen parametreler arasında toz, karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), bazı ağır metaller, hidrojen klorür (HCl) ve poliklorlu dibenzo-p-dioksinler/furanlar (PCDD/F) yer almaktadır. Toplanan veriler, USEPA ISC2-ST (Industrial Source Complex, Version 2 Short Term) yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve yer seviyesindeki konsantrasyonlar mg/kg klinker cinsinden 1 saatlik ile 1 yıllık periyotlar için hesaplanmıştır. İlk aşamada Gaussian dağılım eşitliği kullanılarak alıcı noktalar için 1 saatlik konsantrasyonlar belirlenmiş; ardından 24 saatlik ortalama konsantrasyonlar üzerinden 8760 saatlik (bir yıllık) emisyon değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, yalnızca kömür kullanıldığında ana baca toz emisyonu 166,4 mg/kg klinker olarak ölçülmüşken, kömür+ÖTL karışımı kullanımında bu değer 177,4 mg/kg klinker olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, ÖTL ilavesinin toz emisyonlarında yaklaşık %7 oranında bir artışa yol açtığını göstermektedir. Soğutma ünitelerinde ise bu artış %30 seviyesinde olmuş, toplam toz emisyonlarındaki genel artış %15 olarak raporlanmıştır. NO_x emisyonlarında %11 oranında bir azalma kaydedilmiş ve değerler 2,94 mg/kg klinkerden 2,63 mg/kg klinkere düşmüştür. Buna karşın, SO₂ emisyonları %23 artış göstererek 1,17 mg/kg klinkerden 1,45 mg/kg klinkere yükselmiştir. CO emisyonlarında ise %37 oranında bir artış meydana gelmiş; değerler 262 mg/kg klinkerden 365 mg/kg klinkere çıkmıştır. Ağır metal emisyonlarında en belirgin artış çinko (Zn) için gözlemlenmiş: ÖTL kullanımında çinko emisyonları kömür kullanımına göre 7,2 kat artmıştır. Çinkoyu sırasıyla krom (Cr) 5,2 kat, mangan (Mn) 2,7 kat ve kurşun (Pb) 2,4 kat artışla takip etmiştir. Toplam ağır metal artışı fırın sisteminde %133 olarak hesaplanırken, soğutma ünitelerinde bu artış daha sınırlı kalmış ve %22 seviyesinde gerçekleşmiştir. Cu ve Hg dışındaki tüm metallerde %15 ila %45 arasında değişen artış oranları kaydedilmiştir. Fırın ve soğutma

ünitelerindeki toplam ağır metal emisyon artışı %82 olarak belirlenmiştir. PAH (poliaromatik hidrokarbon) emisyonlarında %14 ve dioksin-furan (PCDD/F) emisyonlarında ise %45 oranında azalma tespit edilmiştir. Genel değerlendirmede, ÖTL kullanımının bazı kirleticilerde artışa yol açmasına rağmen, hiçbir emisyon parametresinin yasal sınır değerleri aşmadığı sonucuna varılmıştır (Carrasco, Bredin, & Heitz, 2002).

Prisciandaro ve ark. (2003) tarafından yapılan bir makalede, alternatif yakıt kullanımıyla ilgili gerçek tesis verilerini analiz etmişlerdir. Çalışma, iki farklı çimento fabrikasının verileri üzerinden yapılmıştır. Her iki fabrika da yarı kuru prosesle çalışan tesislerdir. Araştırma süresi boyunca, klinker üretimi, farin tüketimi ve NO_x, SO₂, CO gibi kirletici parametreler günlük olarak izlenmiştir. Çalışma, her bir fabrikanın iki farklı durumu için yapılmış olup, birinci fabrikada geleneksel durum 1'de sadece petrokok kullanımı, alternatif durum 1'de ise petrokok ile birlikte ÖTL kullanımı incelenmiştir. İkinci fabrikada ise geleneksel durum 2'de petrokok 2 kullanımı, alternatif durum 2'de ise petrokok 2 ile organik atık yağ karışımı olan ve ECOFLUID olarak adlandırılan atık yağın kullanıldığı durum ele alınmıştır. Parametreler, 20-30 günlük bir süre boyunca analiz edilmiştir. Toplanan veriler, istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, alternatif yakıt kullanımının klinker özelliklerinde herhangi bir değişikliğe yol açmadığı, ancak ÖTL kullanımıyla baca gazı emisyonlarında hafif bir artış gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu artışa rağmen, emisyon seviyeleri yasal sınırlar içinde kalmıştır. SO₂ emisyonlarındaki artışın, ÖTL'nin petrokoka göre daha düşük kükürt içeriğiyle ters orantılı olduğu ifade edilmiştir. Bunun, tam yanma gerçekleşmemiş olabileceği ihtimaliyle açıklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, çinko emisyonlarının birinci fabrikada, ÖTL kullanımının olduğu alternatif durum 1'de arttığı kaydedilmiştir. İkinci fabrikada ise, ECOFLUID kullanılan alternatif durum 2'de atık yağ ile besleme sonucu SO₂, NO_x ve CO emisyonlarında azalma görülmüştür (Prisciandaro, Mazziotti, & Veglio, 2003).

Parlikar ve ark. (2016) tarafından yapılan bu çalışmada, Hindistan'daki çimento fabrikalarında atıkların alternatif yakıt ve hammadde olarak kullanımının üretim süreçleri, emisyonlar ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri çeşitli çalışmalarla incelenmiştir. Bu kapsamda, Hindistan Çevre Koruma ve Kontrol Yönetimi tarafından, atıkların sürdürülebilir ve uygulanabilir bir yöntem olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirlemek amacıyla 22 farklı fabrikada kapsamlı testler

gerçekleştirilmiştir. Söz konusu testlerde, hangi atıkların birlikte işlenebileceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Parlikar ve çalışma arkadaşları (2008–2013) arasında gerçekleştirilen bu testlerin verilerini derleyerek, atıkların kimyasal özelliklerine göre klinker içerisindeki oranlarını analiz etmişlerdir. Çalışmalarda ağırlıklı olarak boya çamuru, arıtma çamuru ve fosfat çamurları kullanılmış, ayrıca kontamine atıklar, atık katalizörler ve yakma tesisi külleri de değerlendirilmiştir. Her fabrikada, deneme koşullarına bağlı olarak atıkların ağır metal içerikleri, kül oranları ve nem miktarları tespit edilmiş ve bu veriler doğrultusunda atık giriş miktarları ile klinker içeriğindeki oranlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, kimyasal özellikleri farklı olan bu atıkların işlenmesinin veya kalsinatör beslemesi olarak kullanılmasının ürün kalitesi ve emisyonlar üzerinde olumsuz bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuştur (Parlikar, Bundela, Baidya, Ghosh, & Ghosh, 2016).

Chen ve ark. (2010)'nın çimentonun yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerine yapılan bir araştırmada, alternatif yakıt ve çimento türlerine bağlı olarak karşılaştırmalı bir yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın bulguları, benzer konularda yapılan önceki araştırmalarla tutarlı olarak, çimento üretim sürecinde klinker üretiminin çevresel etkiler açısından en olumsuz aşama olduğunu ortaya koymuştur. Katı yakıtlı (kömür) sistemin, sıvı yakıt ve gaz yakıt alternatifleriyle karşılaştırıldığında, mevcut kömür sisteminin çevre üzerinde en düşük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çalışma sırasında, başka bir alternatif olarak çimento içindeki klinker oranının düşürülmesi seçilmiş ve bu değişikliğin beklenen etkisi olarak, düşük klinker oranının çevresel etkileri azalttığı belirlenmiştir (Chen, Habert, Buzidi, & Julien, 2010).

Kukreja ve ark. (2023)'nin yapmış olduğu araştırmada, Hindistan'daki çimento endüstrisinde atıkların alternatif hammadde olarak kullanılmasının, düzenli depolama, atık bertarafı, küresel ısınma, fosil yakıt kaynaklarının belirsizliği, tehlikeli atıkların güvenli bir şekilde imha edilmesi gibi çeşitli sorunlara olan katkıları incelenmiştir. Ayrıca, fosil yakıt tüketiminin azaltılmasıyla birlikte yakıt bağımlılığının düşürülmesi ve bunun yakıt maliyetleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Kukreja, Soni, Mohapatra, & Panda, 2023).

Strazza ve ark. (2011)'nin yapmış olduğu makale çalışmasında, İtalya'da gerçekleştirilen bir araştırmada, pilot bir çimento tesisinde kaynak verimliliğini artırmayı hedefleyerek, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ilkeleri doğrultusunda belirli

miktarda geri dönüştürülmüş plastik kullanımıyla alternatif yakıt kaynaklarının çevresel performansı analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, alternatif yakıtların çimento üretim sürecinde kullanımlarının çevresel açıdan olumlu etkiler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (Strazza, Borghi, Gallo, & Borghi, 2011).

Hashem ve ark. (2019)'nın yapmış olduğu makale çalışması kapsamında, çimento endüstrisinde alternatif yakıt olarak kauçuk ve plastik atıklarının kullanımının klinker üzerindeki etkileri incelenmiştir. Plastik atıkların kullanımı, kükürt ve klorür değerlerinde bir artışa yol açmıştır. Kauçuk içeren atıkların kullanılması durumunda ise, bu atıkların 8600 kalori/g ısı değeri ve %21,2 kül içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Kauçuklu atıkların kullanımı, priz sürelerinde kısalmaya, basınç dayanımında iyileşmeye ve hidrasyon reaksiyonlarının hızlanmasına sebep olmuştur (Hashem, Razek, & Mashout, 2019).

Rahman ve ark. (2015)'nin yapmış olduğu bu çalışmada, çimento üretim sürecinde alternatif yakıtların kullanımına dair gelişmeler incelenmiştir. Alternatif yakıtlar ve hammaddeler kullanarak enerji ile çevre maliyetlerini düşürmek, fosil yakıtlardan elde edilen termal enerji ihtiyacını karşılamak ve kirlenici emisyonları azaltma etkinliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli incelemeler yapılmıştır (Rahman, Rasul, Khan, & Sharma, 2015).

Yorulmaz (2022)'nin yapmış olduğu araştırmada, atıktan türetilmiş yakıtların (ATY) nem oranı, kül miktarı, kalorifik değer, elementel bileşim, ısı değeri testleri ve klor analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmak amacıyla, elementel analizler, ısı değeri ölçümleri ve klor analizleri için validasyon çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda, yapılan validasyon çalışmalarında tespit limiti (LOD), tayin limiti (LOQ), doğruluk, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik, geri kazanım oranı ve doğruluk gibi temel performans kriterleri dikkate alınmıştır. Yüksek lisans tezi kapsamında, ATY'lerin çimento üretim tesislerinde kullanımı sırasında karşılaşılabilecek teknik sorunların çözülmesi ve bu doğrultuda çevresel ve ekonomik açıdan kayda değer faydalar sağlayabilecek sürdürülebilir bir sistemin oluşturulması hedeflenmiştir (Yorulmaz, 2022).

Özel (2011)'in yapmış olduğu tez çalışmasında, ATY'nin farklı ülkelerdeki tanımlarını incelemiş olup, ATY üretim yöntemlerini değerlendirmek, tesis kurulum

maliyetlerini ve Türkiye'deki atık potansiyelini araştırmak ve en büyük kullanıcı sektörü olan imento endüstrisinde bu tür yakıtların kullanımının evre ile beton üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ayrıca, imento sektöründe ATY kullanımının ürün kalitesi ve özellikleri üzerindeki başlıca etkileri tartışılmış ve çevresel açıdan hava, toprak ve yer altı suyu kirliliği üzerine olan etkileri ele alınmıştır. ATY'nin farklı kullanım Őekilleri için risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, petrokok yerine ATY kullanımı ile özellikle civa, talyum ve kadmiyum gibi ağır metallerin emisyonlarının artabileceği, bunun ise imento üretim sürecindeki teknolojik altyapının önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır (zel, 2011).

Kaya (2024)'nın yapmış olduğu tez çalışmasında, Bolu ilinde faaliyet gösteren ve tehlikeli ile tehlikesiz atıklardan atıktan türetilmiş yakıt (ATY) retimi gerçekleştiren lisanslı bir tesis incelenmiştir. Yapılan literatür araştırmaları ve saha incelemeleri neticesinde, ATY retiminin Türkiye açısından ekonomik kazanç sağlama, çevresel etkileri azaltma ve istihdam yaratma gibi çeşitli açılardan önemli faydalar sunduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, atık toplama süreçlerinin daha pratik ve maliyet etkin hâle getirilmesinin, ayrıca işleme süreçlerinde maksimum verimliliğin sağlanabilmesi için teknik çalışmaların yoğunlaştırılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, ülke genelinde ATY üretiminin teşvik edilmesi, süreçlerin desteklenmesi ve modern teknolojiler kullanılarak daha titiz üretim yaklaşımlarının benimsenmesi önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır (Kaya, 2024).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan bir çimento fabrikasına bertaraf amacıyla getirilen katı atıkların (tehlikeli ve tehlikesiz) çimento üretim sürecinde, döner fırınlarda Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Değerlendirme sürecinde, "Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği" kapsamında belirtilen kalorifik değer, klor içeriği ve nem oranı gibi teknik parametreler esas alınmıştır. Bu bağlamda, söz konusu atıkların, geleneksel fosil yakıtların yerine alternatif yakıt olarak kullanıma uygunluğu analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, çimento üretim sürecinde kullanılan fosil yakıtların (taş kömürü, petrokok, linyit ve doğal gaz) tüketim oranları ile ATY'nin yakıt özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında GHG Protokolü standartları, TSE EN ISO 14064 Sera Gazlarının Hesaplanmasına Dair Kılavuzlar kullanılacaktır. Bu kılavuzlar çerçevesinde, taş kömürü, petrokok, linyit ve doğalgaz tüketimi kaynaklı sera gazı emisyonları IPCC Tier-1 metodu ile hesaplanmıştır.

Ayrıca alternatif yakıtların fosil yakıtlar yerinde kullanılmasındaki çevresel etkiler literatürde yapılan diğer çalışmalar kapsamında yorumlanmış ve kıyaslanması yapılmıştır.

3.1. Çimento Üretimde Kullanılan Yakıt Türleri

Çalışma kapsamında göz önünde bulundurulacak yakıt türleri şu şekildedir:

- Kömür,
- Petrokok ve türevleri
- Alternatif Yakıtlar (katı ve sıvı atıklar)

3.2. ANALİZ SÜRESİNCE KULLANILAN CİHAZLAR

Çimento üretiminde fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların kullanılabilmesi için, söz konusu atıkların belirli teknik ve çevresel parametreleri karşılaması gerekmektedir. Bu kapsamda, alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi planlanan atıkların özelliklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Analiz sürecinde kullanılan başlıca cihazlar, atıkların kimyasal, fiziksel ve enerji içeriklerinin belirlenmesine yönelik gelişmiş laboratuvar ekipmanlarından oluşmaktadır. Analizde kullanılan cihazlar şu şekildedir:

1. Kalorimetre Cihazı (İKA WERKE C 7000)
2. Spectro Cihazı (AMETEI)
3. Etüv Kurutma Cihazı (MEMMERT)
4. Kırıcı/Öğütücü Cihazı (RETSCH SM 200)
5. Terazı (TENVER TP-214)

3.2.1. Kalorimetre Cihazı (İKA WERKEN C 7000)

İKA Werke C 7000 modeli, özellikle bomb kalorimetresi olarak bilinen sistemle çalışan bir cihazdır. Bu tür kalorimetreler, genellikle katı veya sıvı örneklerin yanması sonucu ortaya çıkan enerji miktarını ölçmek amacıyla kullanılır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Kalorimetre Cihazı (İKA WERKEN C 7000)

3.2.1.1. Numune Hazırlığı ve Yerleştirme

- Ölçülecek madde, özel olarak tasarlanmış bir kapsül içine yerleştirilir. Bu kapsül, "kalorimetre bombası" olarak adlandırılır.
- Kapsül, tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yaklaşık 30 bar basınçla saf oksijenle doldurulur.

3.2.1.2. Su Banyosu Sistemi

- Hazırlanan bomba, belirli miktarda su içeren kalorimetre kabının içerisine yerleştirilir.
- Su, yanma esnasında ortaya çıkan ısıyı soğurur ve ısı değişimini ölçmekte kullanılır.
- Cihaz, iç ve dış banyolar aracılığıyla sabit sıcaklık dengelemesi sağlar.

3.2.1.3. Yakma İşlemi

- Numune, cihaz tarafından elektriksel bir kıvılcım yoluyla tutuşturulur.
- Yanan maddenin açığa çıkardığı ısı, çevredeki suya aktarılır.
- Bu sırada suyun sıcaklık değişimi son derece hassas sensörlerle izlenir.

3.2.1.4. Enerji Hesaplaması

- Su sıcaklığındaki artış verileri alınır ve cihazın önceden tanımlanmış kalibrasyon bilgileriyle birlikte değerlendirilir.
- Bu hesaplamalar sonucunda, örneğin bir gramının yanmasıyla açığa çıkan enerji miktarı (kJ/g veya kcal/g) tespit edilir.

3.2.2. Spectro Cihazı (AMETEI)

Spectro cihazı, özellikle elementlerin analizini gerçekleştirmek amacıyla tercih edilen optik emisyon spektrometreleri (OES) arasında yer almaktadır. Bu sistem, metal ve alaşım içeren numunelerdeki elementleri yüksek hassasiyet ve hızla tespit etmek için tasarlanmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Spectro Cihazı (AMETEI) ve Spectro Cihazı (AMETEI) Ölçüm Hazneleri

3.2.2.1. Numunenin Yerleştirilmesi

- Analiz edilecek atık, düzgün bir yüzeye sahip olacak şekilde hazırlanır ve cihazın elektrot sistemine yerleştirilir.

3.2.2.2. Kıvılcım Üretimi

- Elektrotlar aracılığıyla numunenin yüzeyine yüksek enerjili bir kıvılcım deşarjı uygulanır.
- Bu enerji, numunedeki atomları uyararak daha yüksek enerji seviyelerine çıkarır.

3.2.2.3. Işınım ve Spektrum Yayılımı

- Uyarılan atomlar kararlı hâllerine dönerken, kendilerine özgü spektral ışımalar yayar.
- Bu ışımalar, her elementin kendine özgü dalga boylarında gerçekleşir.

3.2.2.4. Optik Sistemle Analiz

- Oluşan ışık, cihazın dedektör sistemleri tarafından toplanarak analiz edilir.
- Elde edilen spektrum verileri, cihaz tarafından çözülerek, numunede bulunan elementlerin türleri ve oranları belirlenir.

3.2.3. Etüv Kurutma Cihazı (MEMMERT)

Laboratuvarlarda etüv cihazı, analizi yapılacak numunede sabit sıcaklık altında gerçekleştirilen kurutma, sterilizasyon ve ısı uygulamaları için kullanılan temel ekipmanlardan biridir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Etüv Kurutma Cihazı (MEMMERT)

3.2.3.1. Numune Kurutma

Nemli veya ıslak numunelerin belirli bir sıcaklıkta kurutularak sabit ağırlığa ulaşması için kullanılır. Bu işlem genellikle nem tayini ya da kütle kaybı analizi gibi işlemler öncesinde yapılır.

3.2.3.2. Isıtma ve Isının Dağıtımı

MEMMERT markalı etüv cihazları, içerdiği rezistanslı ısıtma sistemleri sayesinde iç hacmi ısıtarak çalışır. Bu ısı, cihazın içine eşit biçimde yayılır. Modellere göre doğal hava dolaşımı (konveksiyon) ya da fan destekli sirkülasyon sistemi ile çalışabilir:

- **Doğal hava akışı:** Isı, ortamda kendiliğinden yayılır, herhangi bir fan kullanılmaz.
- **Zorlanmış konveksiyon:** İçeride bulunan fanlar yardımıyla sıcak hava tüm hacme eşit biçimde ulaştırılır.

3.2.3.3. Havanın Sirkülasyonu

Fanla donatılmış modellerde, iç hacimdeki hava devamlı döngüye sokularak sıcaklık dengesi sağlanır. Bu özellik sayesinde, aynı anda yerleştirilen birden fazla örnek eşit koşullarda ısıtılır ya da kurutulur.

3.2.3.4. Isı Ayarı ve Takibi

Etüv içerisinde bulunan sıcaklık sensörleri (örneğin PT100 tipi) ile ortam sürekli olarak izlenir.

3.2.3.5. Kurutma İşlemi ve Nem Uzaklaştırma

Numunelerde bulunan su ya da nem, etüv içindeki yüksek sıcaklık yardımıyla buharlaştırılır. Bu buhar, cihazın hava çıkış kanallarından dış ortama atılır. Böylece numune kurur ya da nem oranı azalır.

3.2.4. Kırıcı/Öğütücü Cihazı (RETSCH SM 200)

RETSCH SM 200 Kırıcı/Öğütücü Cihazı genellikle numunelerin kırılması, öğütülmesi ve homojenleştirilmesi amacıyla kullanılan bir laboratuvar cihazıdır. RETSCH, bu tür cihazlarla yüksek hassasiyetli işlem yapabilmeyi sağlar. SM 200 modeli ise özellikle titreşimli öğütme prensibiyle çalışır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Kırıcı/Öğütücü Cihazı (RETSCH SM 200)

3.2.4.1. Titreşimli Öğütme Sistemi

- SM 200, öğütme işlemi için titreşimli bir sistem kullanır. Cihaz, numuneleri hızla titreştirerek öğütme yapar. Bu titreşimler, numuneyi sıkıştırarak parçalara ayırır.
- Titreşimli taban, numunenin yerleştirildiği özel kaplar ile birlikte hareket eder, böylece numune öğütülür.

3.2.4.2. Öğütme Mekanizması

- SM 200, öğütme işlemini sıkıştırma, sürtünme ve darbe kombinasyonu ile gerçekleştirir.

- Titreşimli hareket, numuneleri bilyalar veya öğütme elemanları tarafından sıkıştırılmasını sağlar, böylece daha küçük parçacıklar elde edilir.

3.2.4.3. Numune Boyutu ve Öğütme Hızı

- Cihazın çalışma hızları ve titreşim frekansı, numune türüne ve gereken öğütme seviyesine göre ayarlanabilir.
- Öğütme işlemi sırasında, numune parçacıklarının boyutu, istenilen inceleme derecesine göre titreşim yoğunluğu ve zaman ayarlarıyla kontrol edilebilir.

3.2.4.4. Hava Akışı ve Soğutma

- Öğütme işlemi sırasında numunelerin ısınması, bazı numunelerde istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, SM 200’de hava akışını sağlayan bir soğutma sistemi bulunur.
- Bu mekanizma, cihazda ısı birikmesini engeller ve böylece numunenin ısınarak bozulmasını önler.

3.2.5. Terazı (TENVER TP-214)

Denver TP-214 Terazı, özellikle hassas tartım ihtiyaçları için tasarlanmış, yüksek doğruluk sağlayan bir elektronik terazı modelidir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Terazı (TENVER TP-214)

3.3. KULLANILAN FOSİL YAKITLARIN KARBON AYAK İZİ HESAPLAMALARI

3.3.1. Hesaplama Kulllanılacak Faktörler

Örnek çimento fabrikasında sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında aşağıdaki faktörler kullanılmıştır.

- Tüketim verileri
- Emisyon faktörü
- Kalorifik değerler
- Küresel ısınma potansiyeli (KİP)
- Yoğunluk
- Oksitlenen karbon yüzdesi

3.3.1.1. Tüketim Verileri

Bu çalışma kapsamında tüketim verisi olarak taşkömür, petrokok, doğalgaz ve alternatif yakıtlar (atıklar) kullanılmıştır.

3.3.1.2. Emisyon faktörü

Yakıtların tüketilmesiyle atmosfere salınan emisyonlar, yakıtın cinsine göre belirlenen karakteristik değeriyle emisyon faktörü olarak adlandırılır.

3.3.1.3. Net Kalorifik Değer (NKD)

Net kalorifik değer, belirli bir miktar yakıttan elde edilebilecek enerji miktarını gösteren bir ölçüttür. Bu değer birimi TJ/Gg şeklinde ifade edilmektedir.

3.3.1.4. Küresel Isınma Potansiyeli (KİP)

Küresel ısınma potansiyeli, karbondioksitin etkisinin bir referans birim olarak alındığı durumda, her bir gazın atmosferdeki göreceli etkisini belirli bir zaman dilimi içinde gösteren bir parametredir.

3.3.1.5. Yoğunluk Değeri

Yoğunluk, maddenin birim hacminin kütlesidir.

3.3.1.6. Oksitlenen Karbon Yüzdesi

Oksitlenmiş karbon yüzdesi, bir yakıtın yanma süreci sonucu oluşan oksitlenmiş karbonun, toplam karbon içeriğine oranını belirten bir değerdir.

Fabrikadan elde edilen verilerin yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonların karbon ayak izi hesaplamasında standart yöntem kullanılmıştır. Standart yöntem yakıt girdisi sonucu oluşan atıklardan veya ürünlerden açığa çıkan emisyonun hesap edilmesidir. Matematiksel özetlemesi eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$E = FV \times EF \times YF \quad (1)$$

Burada,

E: Emisyonlar (tCO₂)

FV: Faaliyet verisi

YF: Yükseltgenme faktörü birimsizdir ve yakıtlar için 1 olarak kabul edilecektir.

$$FV = \text{Yakıt Miktarı} \times \text{NKD} \quad (2)$$

Burada,

NKD: Net kalorifik değer (TJ/Gg)

EF: Emisyon faktörüdür (kg/TJ)

Aksi bir durum yok ise sıvı ve gaz yakıtlar için faaliyet verisi eşitlik 2'teki formül ile kütleye çevrilmelidir.

Emisyon faktörleri belirlenirken IPCC Tier-1 yöntemi kullanılmıştır. Hesaplama eşitlik 3 kullanılarak yapılmıştır (hesaplamalar ton CO₂ eşdeğeri(tCO_{2e}) birimi cinsinden hesaplanmıştır).

$$\text{SGE} = \text{Faaliyet verisi} \times \text{emisyon faktörü} \quad (3)$$

Hesaplama kullanılan ana denklem Eşitlik 4'te gösterilmektedir.

$$\text{Faaliyet Verisi} = \text{Toplam Tüketim} \times \text{Yoğunluk} \times \text{Net Kalorifik Değer} \times \text{Emisyon Faktörü} \\ \times \text{Oksitlenen Karbon Yüzdesi} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli} \quad (4)$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ağır sanayi kapsamında yer alan çimento fabrikalarında, geçmişten günümüze çimento üretimi sürecinde büyük ölçekte fosil yakıtlar (toz kömür, petrokok ve türevleri) kullanılmaktadır. Artan nüfus ve yapılaşmaya bağlı olarak çimento talebi her geçen gün yükselmekte, bu durum fosil yakıt tüketimini artırmakta ve çevresel etkileri ağırlaştırmaktadır. Ancak son yıllarda, çevresel kaygılar ve ekonomik faktörler doğrultusunda fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların kullanımı yaygınlaşmaya başlamış ve tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir. Bununla birlikte, alternatif yakıt olarak kullanılacak atıkların belirli kriterleri, özellikle enerji verimliliği gibi teknik parametreleri karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle, alternatif yakıt olarak değerlendirilebilecek atık türlerinin dikkatli bir şekilde seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

06/10/2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik ile atıkların yakma tesislerinde bertaraf edilmesi ve beraber yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılmasına ilişkin esaslar belirlenmiştir. Bu kapsamda, atık işleme tesislerine gelen ham atıklar belirli prosedürlerden geçirilmekte, alternatif yakıt olarak kullanılabilme potansiyeline sahip atıklar çeşitli teknik parametreler açısından değerlendirilmektedir. Bu parametreler arasında başta kalorifik değer (kcal/kg), nem oranı (%), klor içeriği (%), tane boyutu (mm) ve benzeri fiziksel ve kimyasal özellikler yer almaktadır. Kısaca bahsedecek olursak:

Alternatif yakıtların çimento üretiminde etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bazı teknik özelliklere sahip olmaları gerekir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- **Kalorifik Değer (Enerji İçeriği):** Yakıtın enerji verimliliğini belirleyen en kritik parametredir. Yüksek kalorifik değer, daha fazla enerji elde edilmesini sağlar ve yanma verimliliğini artırır.
- **Nem Oranı:** Atıklarda yüksek nem oranı, yanma sürecini olumsuz etkileyebilir ve enerji kayıplarına yol açabilir. Bu nedenle, alternatif yakıtların nem oranı düşük olmalıdır.
- **Kimyasal Bileşim ve Klor İçeriği:** Klor, yüksek sıcaklıklarda zararlı gazların salınımına yol açabilir. Bu yüzden, düşük klor içeriğine sahip atıklar tercih edilmelidir. Analizi yapılan atıkların kimyasal bileşim ve klor içeriği analiz sonuçları Ek-5’ten elde edilmiştir.

- **Tane Boyutu:** Atıkların yakma veriminin artırılması için doğru tane boyutunda olması gerekir. Bu nedenle, atıklar uygun boyutlara indirgenmeli, genellikle kırıcılar ile işlenerek en verimli şekilde yakılmak üzere hazırlanır.

Gelen ham atıklar, belirlenen bu kriterler doğrultusunda sınıflandırıldıktan sonra, kullanılacak üretim prosesi ve besleme noktalarına göre uygun tane boyutuna indirilmek amacıyla atık kırıcılar kullanılarak işlenir. Bu işlem, yanma verimini artırmak ve stabil bir yanma süreci sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Böylelikle, uygun niteliklere sahip atıklar alternatif yakıt olarak çimento fabrikalarında kullanılmak üzere hazırlanmış olur.

Çalışmada kullanılan fosil yakıt türleri:

- Toz kömür
- Petrokok
- Doğalgaz

Çalışmada kullanılan atık türleri:

- Atık lastikler
- Atık yağlar
- Plastik atıklar
- Organik atıklar
- Tekstil atıkları
- Arıtma çamurları
- Ambalaj atıklar
- Kimyasal solventler ve enerji verimliliği olan atıklar

Hesaplama kullanılan formüller:

A=Kalorimetre cihazında okunan değer

B=0,23885 katsayısı

C=Üst kalori

D=Nem

E=Hidrojen değeri

F=Kabın boş ağırlığı

H=105 °C etüv sonrası tartım

G=İlk tartımlı numune

Üst kalori hesabında,

Üst kalori = A x B

Alt kalori hesabında,

$$\text{Alt kalori} = C - (H \times 54) - (D \times 6)$$

Nem hesabında,

$$\text{Nem} = ((G - H) / (G - F)) \times 100$$

Tane boyutu hesabında,

Boyut analiz elekleri

4.1. Toz Kömür

Toz kömür, öğütülerek çok ince partikül boyutlarına getirilmiş kömürdür (Şekil 4.1.). Bu form, kömürün yakılmasını kolaylaştırır ve hızlı bir şekilde yüksek sıcaklık elde edilmesini sağlar. Çimento üretiminin enerjinin yoğun olduğu aşaması olan klinker üretimi sırasında döner fırınlarda yüksek sıcaklıklara (1450°C) ihtiyaç duyulur. Bu sıcaklığın sağlanabilmesi için yüksek kalorifik değere sahip yakıtlar gerekir. Toz kömür, hem yüksek ısıl değeri hem de yanma hızının kontrol edilebilir olması sayesinde bu aşamada en yaygın kullanılan yakıtlardan biridir. Fakat atıktan türetilmiş yakıtlar (ATY) ve biyokütle gibi daha düşük karbon ayak izine sahip yakıtlar ile toz kömürü birlikte kullanılabilir (Tablo 4.1.).



Şekil 4.1. Toz kömür

Tablo 4.1. Toz kömür analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	5970
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	5651
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	1
Klor İçeriği, %	0,0002

4.2. Petrokok

Çimento üretiminde enerji ihtiyacının karşılanmasında yaygın olarak kullanılan ana yakıtlardan biri petrokoktur. Petrokok, petrol rafinasyon sürecinde oluşan ve yüksek karbon içeriğine (% 85–90) sahip, katı bir fosil yakıttır (Şekil 4.2.). Bu yakıt türü, yüksek kalorifik değerleri (yaklaşık 7500–8500 kcal/kg) sayesinde döner fırınlarda gerekli olan 1450°C üzerindeki sıcaklıkların sağlanmasına olanak tanımaktadır. Çalışmada incelenen çimento tesisinde de, petrokokun düşük nem (% 2) ve yüksek kalorifik değer gibi özellikleri nedeniyle yakıt verimliliğinin artırıldığı ve fırın operasyonlarında stabil bir yanma ortamı sağlandığı gözlemlenmiştir (Tablo 4.2.).



Şekil 4.2. Petrokok

Tablo 4.2. Petrokok analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	8313
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	7988
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	2
Klor İçeriği, %	0,0002

4.3. Doğalgaz

Çimento üretiminde tercih edilen enerji kaynakları arasında doğal gaz, yüksek yanma verimi ve düşük emisyon değerleri ile önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. İncelenen çimento fabrikalarında, özellikle çevre mevzuatlarının daha katı olduğu bölgelerde doğal gaz kullanımının öncelikli tercih olduğu gözlemlenmiştir. Metan (CH₄) içeriği yüksek olan doğal gaz, yanma sırasında yaklaşık % 99 oranında tam yanma sağlayarak atmosfere yayılan kirletici gaz emisyonlarını minimum düzeye indirmektedir.

Yapılan ölçüm sonuçları, doğal gazın kullanımında partikül madde (PM), azot oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) emisyonlarının, petrokok ve kömür gibi diğer fosil yakıtlarla kıyaslandığında anlamlı şekilde daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca doğalgaz çimento fabrikalarında yüksek tüketim maliyetlerinden dolayı genellikle fırın tavlamasında tercih edilir.

4.4. Atık Lastikler

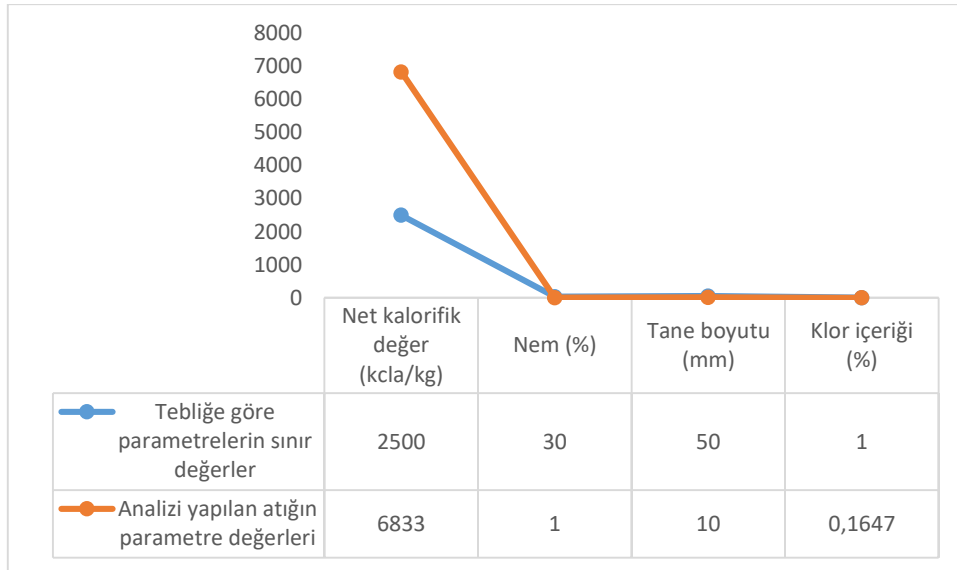
Atık lastikler (şekil 4.4.), enerji verimliliği açısından yüksek enerji içeriğine sahip bir malzemedir ve geleneksel fosil yakıtlarla (örneğin, kömür) kıyaslandığında önemli bir potansiyel sunar. Bu nedenle, atık lastikler, çimento fırınlarında fosil yakıtlar yerine kullanılabilir alternatif yakıtlar arasında öne çıkmaktadır. Aşağıdaki Tablo 4.3'te yer alan analiz sonuçları da bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.3. Kuşbaşı lastik ve toz lastik

Tablo 4.3. ÖTL analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	6833
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	6514
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	1
Klor İçeriği, %	0,3038



Şekil 4.4. Atık lastik ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.4'te analizi yapılan atığın yakıt özellikleri değerlendirildiğinde, çimento üretiminde sıklıkla kullanılan petrokok ve ithal toz kömür ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmektedir. Özellikle net kalorifik değerinin 6833 kcal/kg olması, bu atığın önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu değer, ithal toz kömürün 5000–6000 kcal/kg aralığındaki ısı değeriyle uyumlu olup, bazı düşük kaliteli petrokok türlerine de yakındır. Bu yönüyle, atığın döner fırında yüksek verimle yakılabileceği ve klinker üretim sürecine yeterli ısı sağlayabileceği açıktır. Nem oranı, alternatif yakıt seçiminde yanma verimini doğrudan etkileyen temel parametrelerden biridir. Nem oranının sadece % 1 olması, hem petrokokun (% 2) hem de ithal kömürün (% 1) benzer değerlerde olup, yanma sırasında enerji kaybını en aza indirir. Düşük nemli yakıtlar, kurutma ihtiyacını azaltarak ön ısıtıcı ve kalsiner sistemlerinin enerji yükünü hafifletir. Bu, özellikle termal verimliliği artırarak çimento üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlar. Tane boyutu açısından değerlendirildiğinde, atığın 10 mm çapındaki parçacıklara sahip olduğu görülmektedir. Bu değer, petrokokla kıyaslandığında üst sınıra yakın, ithal toz kömürle kıyaslandığında ise oldukça büyüktür. Her ne kadar bu boyut doğrudan kullanılabilir olsa da, bazı fırın sistemlerinde (özellikle pnömatik besleme sistemlerinde) ek kırma veya parçalama işlemleri gerekebilir. Ancak genel olarak, bu boyut çimento fırınlarında kullanılabilirlik açısından uygundur. Klor içeriği, çimento üretiminde dikkatle kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Yüksek klor içeriği, çimento klinkerinde istenmeyen kimyasal reaksiyonlara ve fırın ekipmanlarında birikimlere yol açabilir. Ancak analiz edilen atığın % 0,1647 klor içeriği, hem Tebliğ sınırı olan % 1 değerinin hem de fosil yakıtlardaki seviyenin altındadır. Petrokok ve ithal

kömür ile kıyaslandığında nispeten yüksek görünse de, çimento üretim süreçlerinde bu düzeyin teknik açıdan yönetilebilir olduğu kabul edilmektedir.

4.5. Atık Yağlar

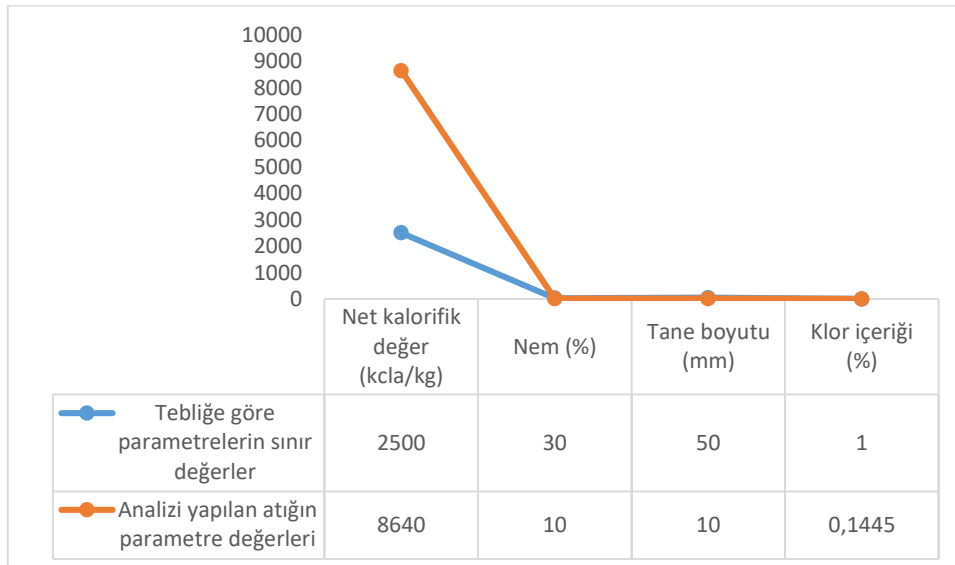
Atık yağlar, yüksek enerji kapasitesine sahip bir kaynak olarak öne çıkar ve fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında verimli bir alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu özellik, özellikle çimento üretimi gibi yoğun enerji gerektiren sektörlerde atık yağları değerli bir alternatif yakıt haline getirir (Şekil 4.5.). Çimento fırınlarında kullanıldığında, atık yağların yüksek kalorifik değeri, üretim sürecinde enerji sağlamada önemli bir işlev görür. Aşağıdaki Tablo 4.4.'te yer alan analiz sonuçları da bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.5. Atık yağ

Tablo 4.4. Atık yağ analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	8640
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	8110
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	10
Klor İçeriği, %	0,1445

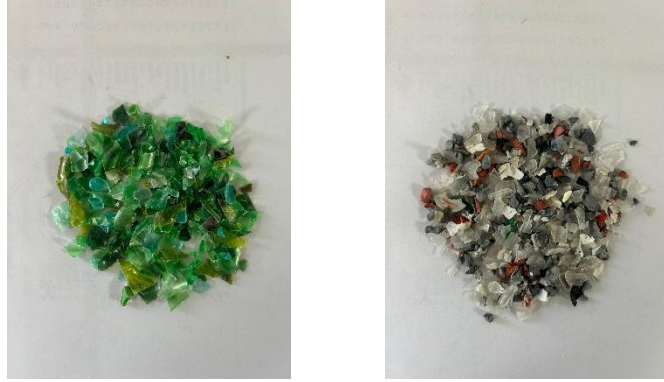


Şekil 4.6. Atık yağ ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.6.'da analiz edilen atığın parametreleri, çimento üretiminde yaygın olarak kullanılan petrokok ve ithal toz kömürle karşılaştırıldığında oldukça rekabetçi ve bazı yönlerden üstün özellikler göstermektedir. Öncelikle, net kalorifik değeri 8640 kcal/kg olan bu atık, hem ithal toz kömürün (5000-6000 kcal/kg) hem de petrokokun (8000-8500 kcal/kg) üzerinde bir enerji potansiyeline sahiptir. Bu da çimento fırınlarında daha az yakıtla daha fazla ısı enerjisi sağlanabileceği anlamına gelir. Nem oranı %10 olup, ithal kömürle benzer düzeydedir ve tebliğ sınırı olan % 30'un oldukça altındadır: bu düşük nem, yanma verimliliğini artırarak ısıtma maliyetlerini azaltır. Tane boyutu 10 mm ile petrokok aralığında yer almakta olup fırın besleme sistemlerine doğrudan uyum sağlayabilir. Böylelikle ek ön işlem gerektirmeden kullanılabilme avantajı sunar. Klor içeriği ise % 0,1445 ile hem Tebliğ'deki %1'lik sınırın altında hem de çevresel açıdan yönetilebilir düzeydedir. Ancak petrokok ve ithal kömür ile karşılaştırıldığında klor oranı bir miktar daha yüksektir, bu da klinker kalitesi ve fırın ekipmanlarında birikme riskine karşı dikkatli dozajlamayı gerektirebilir. Tüm bu parametreler birlikte değerlendirildiğinde, analiz edilen bu atığın, çimento sektöründe fosil yakıtların ikamesinde hem teknik hem de çevresel açıdan yüksek potansiyele sahip olduğu, sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlayabileceği açıkça görülmektedir.

4.6. Plastik Atıklar

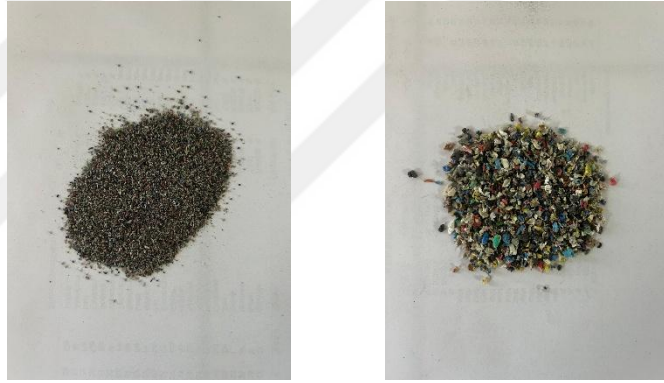
Plastik atıklar, yüksek enerji potansiyelleri ve çevresel yararlarıyla çimento üretiminde alternatif yakıt olarak önemli bir seçenek sunar. Bu atıkların doğru bir biçimde yönetilmesi ve enerjiye dönüştürülmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlarken, enerji üretiminde sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine olanak tanır. Aşağıdaki Tablo 4.9. da yer alan analiz sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Ancak, bu sürecin başarılı olabilmesi için plastik atıkların türü, uygun yanma koşulları ve emisyonların kontrolü gibi önemli faktörlere dikkat edilmesi gerekir. Plastik atıkların türlerine göre yapılan incelemelerle, her bir tür için uygun yanma koşullarını sağlamak amacıyla belirli parametrelerin sağlanması gerekmektedir. Eğer atıklar, tablo 4.6.'da görüleceği üzere belirlenen sınır parametre değerlerini aşarsa (klor içeriği sınır değer üstünde), ön işlem yapılması gerekmektedir. Bu tür atıkların, sınır değerleri sağlayan diğer atıklarla Tablo 4.5.'te de görüleceği üzere, bu değerlere sahip atıklar ile harmanlanarak yanma koşullarına uygun hale getirilmesi sağlanmalıdır. Klor içeriği, cl-bypass hattı olan fabrikalarda sınır değerinin 3 katına kadar tolere edilebilmektedir. Bu sayede yanma verimliliği artırılabilir ve çevresel etkiler minimize edilebilir (Şekil 4.7.-4.8.).



Şekil 4.7. Pet kırığı

Tablo 4.5. Plastik (pet) atık analiz sonucu

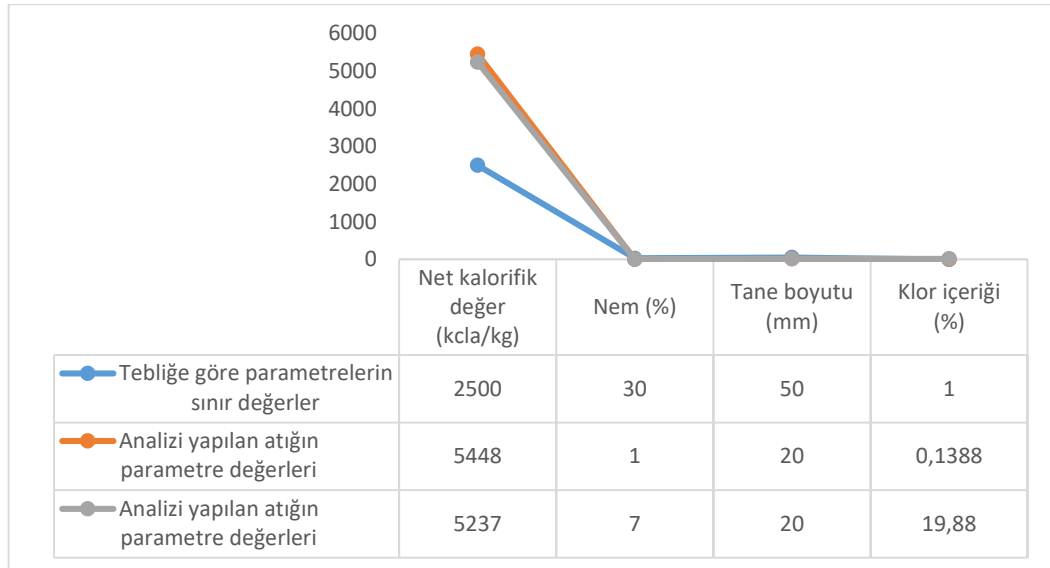
Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	5448
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	5129
Tane boyutu, mm	<20
Nem oranı, %	1
Klor İçeriği, %	0,1388



Şekil 4.8. Kablo kırığı

Tablo 4.6. Plastik (kablo) atık analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	5237
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	4918
Tane boyutu, mm	<20
Nem oranı, %	7
Klor İçeriği, %	19,88



Şekil 4.9. Plastik atıklar ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.9.'da gösterilen iki farklı atığın özellikleri, çimento üretiminde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar olan petrokok ve ithal toz kömürle karşılaştırıldığında, enerji verimliliği ve çevresel uygunluk açısından dikkat çekici farklar göstermektedir. Net kalorifik değerleri sırasıyla 5448 kcal/kg ve 5237 kcal/kg olan bu atıklar, Tebliğ'in 2500 kcal/kg sınırının oldukça üzerindedir ve ithal kömürle benzer enerji potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca düşük nem oranları (%1 ve %7), yanma verimini artırmakta ve kurutma ihtiyacını azaltmaktadır. Her iki atığın 20 mm'lik tane boyutu da çimento fırınlarına doğrudan beslenebilir niteliktedir. Ancak asıl fark klor içeriğinde ortaya çıkmaktadır: İlk atık % 0,1388'lik değeriyle kabul edilebilir düzeydeyken, ikinci atık % 19,88 gibi aşırı yüksek bir orana sahiptir. Bu durum, klinker kalitesini düşürebilir, ekipmanlarda korozyona ve proses dengesizliklerine yol açabilir. Bu nedenle, enerji değeri uygun olsa da ikinci atığın kullanımında ciddi teknik ve çevresel riskler söz konusudur. Buna karşılık, tablo 4.5.'te belirtilen atık tüm parametreleriyle güvenli bir alternatif yakıt adaydır.

4.7. Organik Atıklar

Organik atıklar, çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olan ve enerji üretimi için değerli bir kaynak oluşturabilen malzemelerdir. Bu atıkların çimento üretiminde kullanılması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Ancak, organik atıkların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için uygun yanma koşullarının sağlanması ve emisyon seviyelerinin dikkatlice izlenip yönetilmesi gerekmektedir. Fakat bazı durumlarda örnek olarak tablo 4.7.'ye bakacak olursak, buğday

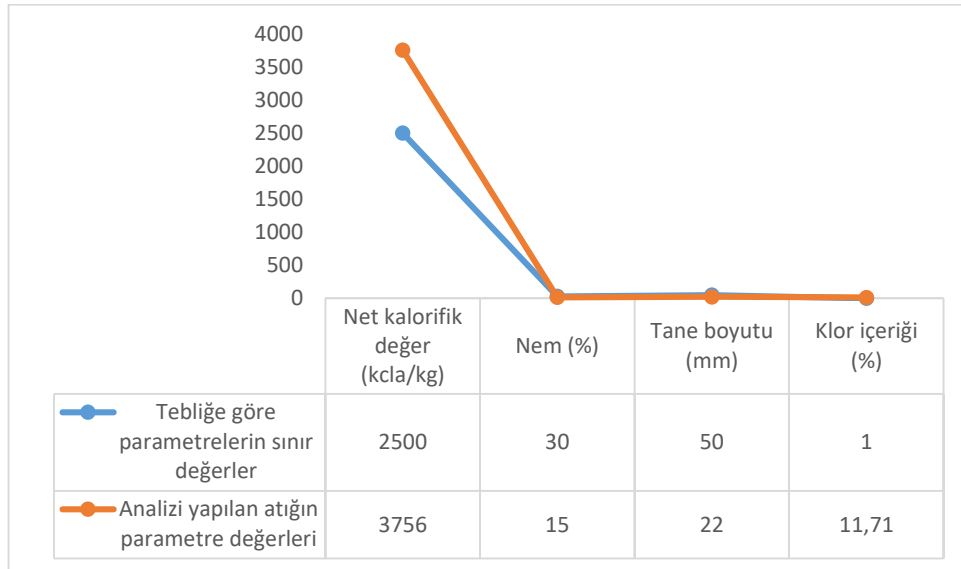
ve mısır sapları gibi organik atıklarda, sulama sularındaki (özellikle kuyu sularındaki) tuz ve mineraller, atığın klor içeriğini etkileyebilir. Ayrıca, kullanılan gübreler ve kurak (yağışsız) dönemlerde bitkilerin suya ulaşmakta zorluk çekmesi, topraktaki tuzların daha yoğun hale gelmesine yol açar. Bu durum, bitkilerin klor alım kapasitesini artırarak, atığın kimyasal bileşenlerini etkileyebilir. Böyle durumda bu tür atıklar tek başına beslenmemelidir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Buğday sapı

Tablo 4.7. Saman (mısır, buğday sapı) atık analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	3756
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	3353
Tane boyutu, mm	<22
Nem oranı, %	15
Klor İçeriği, %	11,71



Şekil 4.11. Organik atıklar ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.11.'de değerlendirilen numune, 3756 kcal/kg'lık net ısıl değeriyle Tebliğ'de belirtilen minimum enerji gereksinimini karşılamakta ancak petrokok ve ithal kömürle kıyaslandığında daha düşük bir enerji verimi sunmaktadır. Nem oranı % 15

seviyesinde olup kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer alsa da, fosil yakıtlara göre daha yüksek olduğundan yanma sürecinde verim kaybına yol açabilir. 22 mm boyutundaki partikül yapısı, çimento fırınına doğrudan besleme açısından uygun görülmektedir. Bununla birlikte, %11,71 gibi oldukça yüksek bir klor oranı, hem Tebliğ'in %1'lik sınırının hem de petrokok ve ithal kömür gibi referans yakıtların değerlerinin oldukça üzerindedir. Bu durum, ekipmanlarda korozyona, proses dengesizliklerine ve klinker kalitesinin bozulmasına neden olabilecek ciddi riskler barındırmaktadır. Dolayısıyla, bu atığın teknik olarak kullanımını sınırlı bir düzeyde değerlendirilebilir.

4.8. Tekstil Atıkları

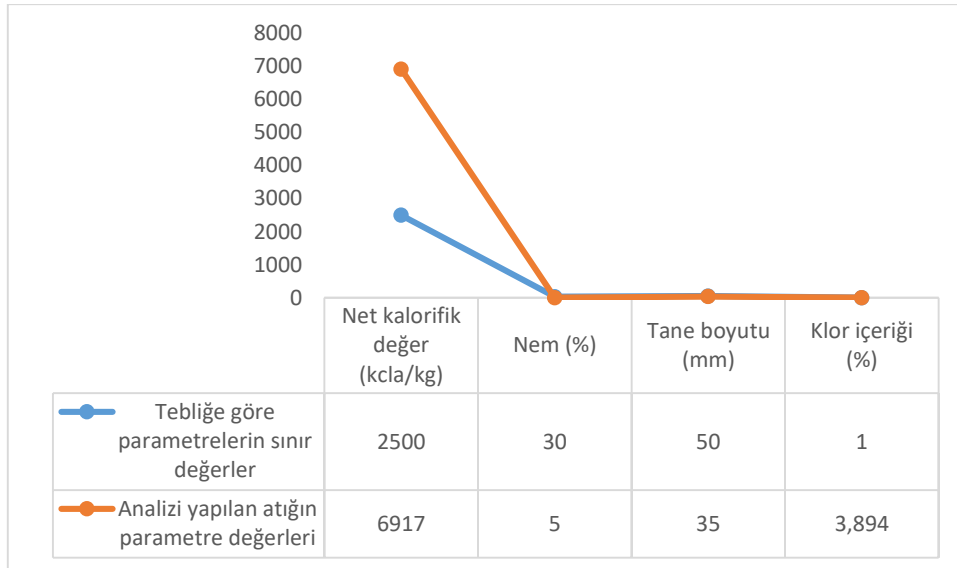
Tekstil atıkları, yüksek enerji değerleri sayesinde enerji üretimi için kullanılabilir. Özellikle sentetik kumaşlar ve iplikler, bu tür enerji üretimi için uygun bir seçenek oluşturur. Çimento fırınlarında bu atıkların yakılması, üretim sürecinde gerekli yüksek sıcaklıkların sağlanmasına yardımcı olurken çevresel etkilerin de azaltılmasına katkı sağlar. Tablo 4.8.'de yer alan analiz sonuçları da bu durumu desteklemektedir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Tekstil (iplik) atığı

Tablo 4.8. Tekstil atığı analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	6917
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	6598
Tane boyutu, mm	<35
Nem oranı, %	5
Klor İçeriği, %	3,894



Şekil 4.13. Tekstil atıkları ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.13.'de değerlendirilen atığın 6917 kcal/kg seviyesindeki net ısı değeri, enerji bakımından hem Tebliğ'de belirtilen alt sınırı hem de ithal toz kömürün ortalama seviyesini aşmakta olup, petrokokla kıyaslanabilecek düzeyde bir performans sunmaktadır. % 5 oranındaki nem içeriği de oldukça düşüktür ve bu yönüyle petrokokla benzerlik göstererek yanma verimini artıran bir avantaj sağlamaktadır. Tane boyutunun 35 mm olması, çimento fırınlarında besleme için uygun kabul edilen aralık içerisinde yer almakta ve mekanik taşıma sistemleriyle uyumlu bir özellik göstermektedir. Bununla birlikte, en dikkat çeken olumsuzluk, % 3,894 oranındaki yüksek klor içeriğidir. Bu değer, Tebliğ'de izin verilen % 1'lik üst sınırını büyük ölçüde aşmaktadır. Klorun bu denli yüksek oluşu, klinker kalitesinde düşüşe, döner fırınlarda korozyon ve birikinti oluşumuna ve hatta emisyon değerlerinde artışa yol açabilir. Bu nedenle, enerji değeri ve düşük nem oranı gibi olumlu niteliklerine rağmen, söz konusu atığın çimento üretiminde alternatif yakıt olarak değerlendirilebilmesi, ancak klor içeriğinin ön işlem, seyreltme ya da uygun karışım (harmanlama) stratejileri ile azaltılması durumunda mümkün olacaktır.

4.9. Arıtma Çamurları

Arıtma çamurları, özellikle organik bileşiklerin zenginliği nedeniyle enerji üretiminde kullanılacak değerli bir kaynaktır. Bu çamurlar, biyolojik arıtma işlemleri sırasında su arıtma tesislerinden çıkan atıklardır ve yüksek oranda organik madde içerir. Çamurlardaki organik bileşikler, karbon bazlı maddeler başta olmak üzere, yüksek ısı enerjisi sağlayarak enerji üretiminde kullanılabilir. Bu atıkların çimento fırınlarında yakılması, hem gereken yüksek sıcaklıkların sağlanmasını destekler hem de üretim

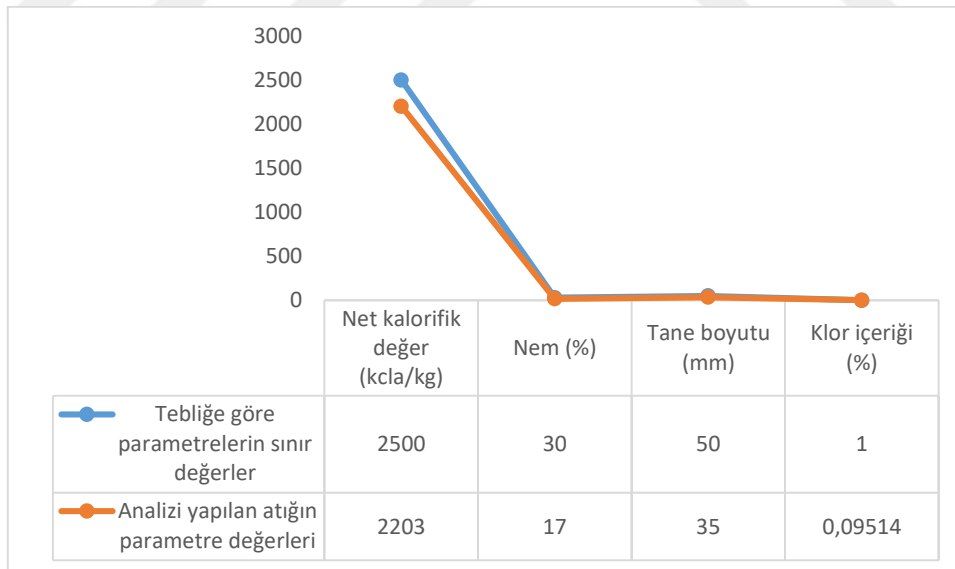
sürecindeki enerji verimliliğini artırır. Tablo 4.9.'da arıtma çamuru analiz sonucu gösterilmiştir. Arıtma çamurlarında, biyolojik havuzlardan elde edilen çamurlar genellikle yeterince kurutulamaz. Bu durum, çamurun enerji verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bir sorun oluşturur (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Arıtma çamuru

Tablo 4.9. Arıtma çamuru analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	2203
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	1788
Tane boyutu, mm	<35
Nem oranı, %	17
Klor İçeriği, %	0,09514



Şekil 4.15. Arıtma çamurları ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.15.'te atığın 2203 kcal/kg seviyesindeki net ısıl değeri, enerji açısından yetersiz olup Tebliğ'de belirtilen alt sınırın altında kalmaktadır. % 17 oranındaki nem içeriği kabul edilebilir düzeyde değerlendirilse de, enerji verimliliği açısından sınırlayıcı olacaktır. Öte yandan, 35 mm'lik tane boyutu çimento fırını besleme sistemleriyle

uyumlu bir özellik göstermektedir. % 0,09514 düzeyindeki düşük klor oranı önemli bir avantaj sağlamakla birlikte, atığın düşük kalorifik değeri nedeniyle doğrudan alternatif yakıt olarak kullanımını kısıtlı olacaktır. Bu nedenle, daha yüksek ısıl değerlere sahip yakıtlarla harmanlanarak kullanılması gerekmektedir.

4.10. Ambalaj Atıkları

Ambalaj atıkları, enerji üretimi ve çevre yönetimi açısından oldukça değerli bir kaynaktır. Çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak kullanıldığında, fosil yakıtların yerine geçebilir ve bu sayede çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlar. Fosil yakıtlar, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılsa da, özellikle karbondioksit salınımı ve hava kirliliği gibi çevresel olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların kullanılması, hem çevresel sürdürülebilirliği artırmak hem de fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için önemli bir adımdır. Tablo 4.10. ve tablo 4.11.'de verilen analiz sonuçları da ambalaj atıklarının fosil yakıtlar yerine yakıt olarak kullanılabilirliğinin göstergesidir (Şekil 4.16.).



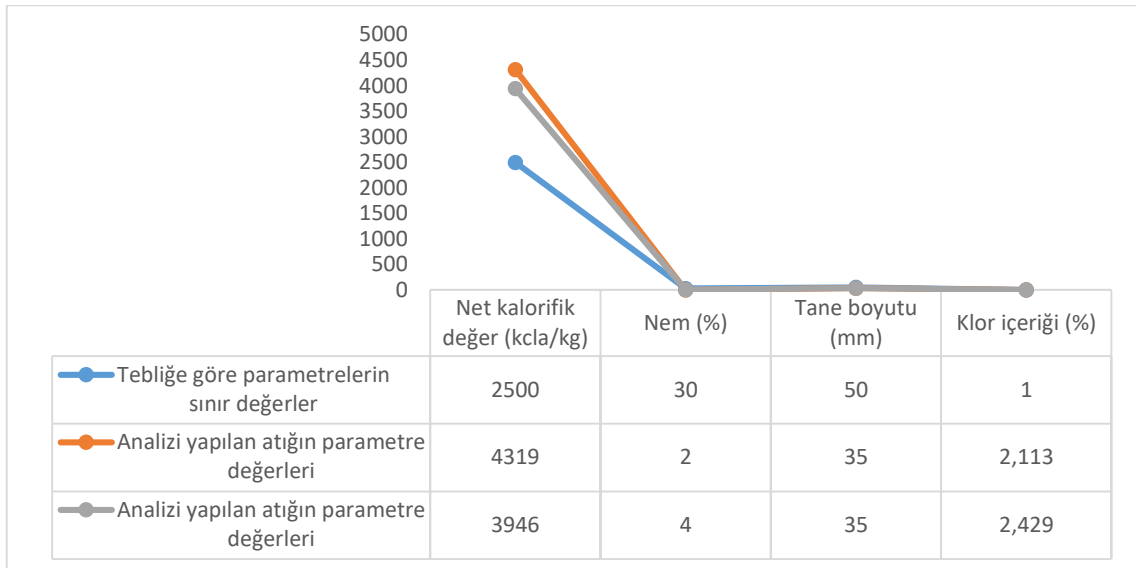
Şekil 4.16. Ambalaj atığı

Tablo 4.10. Ambalaj atıkları analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	4319
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	3994
Tane boyutu, mm	<35
Nem oranı, %	2
Klor İçeriği, %	2,113

Tablo 4.11. Ambalaj atıkları analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	3946
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	3609
Tane boyutu, mm	<35
Nem oranı, %	4
Klor İçeriği, %	2,429



Şekil 4.17. Ambalaj atıkları ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.17.'de analiz sonucu gösterilen iki atığın net ısıl değerleri sırasıyla 4319 kcal/kg ve 3946 kcal/kg olup, her ikisi de Tebliğ'de belirtilen alt sınırın üzerindedir ve ithal kömürle kıyaslandığında yeterli enerji potansiyeli sunmaktadır. Nem oranlarının % 2 ve % 4 seviyelerinde olması, özellikle petrokokla benzerlik göstermekte ve yanma verimliliğini destekleyen olumlu bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Her iki atığın 35 mm'lik tane boyutu da çimento fırınlarında mekanik besleme sistemlerine uygunluk göstermektedir. Ancak dikkat çeken temel sorun, klor içeriklerinin % 2,113 ve % 2,429 gibi yüksek seviyelerde olmasıdır. Bu oranlar, Tebliğ'de öngörülen % 1'lik sınırın üzerindedir. Cl-bypass hattı olan fabrikalarda pek sorun teşkil etmeyecektir. Lakin oluşabilecek aksaklıklardan dolayı seyreltme veya daha düşük klor değerine sahip atıklarla harmanlama yapılarak beslenmesi faydalı olacaktır.

4.11. Kimyasal Solventler

Çimento fabrikalarında yakıt olarak değerlendirilen kimyasal solventler, genellikle tehlikeli atık kategorisinde yer alan ve endüstriyel süreçlerde artık kullanılmayan solvent bazlı sıvı atıklardır (Şekil 4.18.). Yüksek ısıl değerleri sayesinde bu solventler, alternatif yakıt olarak kullanılarak hem bertaraf edilmekte hem de enerji üretiminde değerlendirilerek fosil yakıtların yerine geçmektedir. Kimyasal solvent içerikli atıklar, herhangi bir ön kurutma işlemine ihtiyaç duyulmadan doğrudan döner fırına veya kalsiner bölümüne püskürtülerek kullanılabilir. Bunun yanı sıra atık tesislerinde bulunan ATY havuzlarında beslenmeye uygun olmayan (kalisiz atık)

atıklar ile harmanlama yapılarak kalorifik değeri düşük atıkların yakıt olarak kullanılmasına izin verilip, fırına besleme işlemi yapılabilmektedir. Tablo 4.12. ve 4.13.'de bu durum analiz edilerek gösterilmiştir.



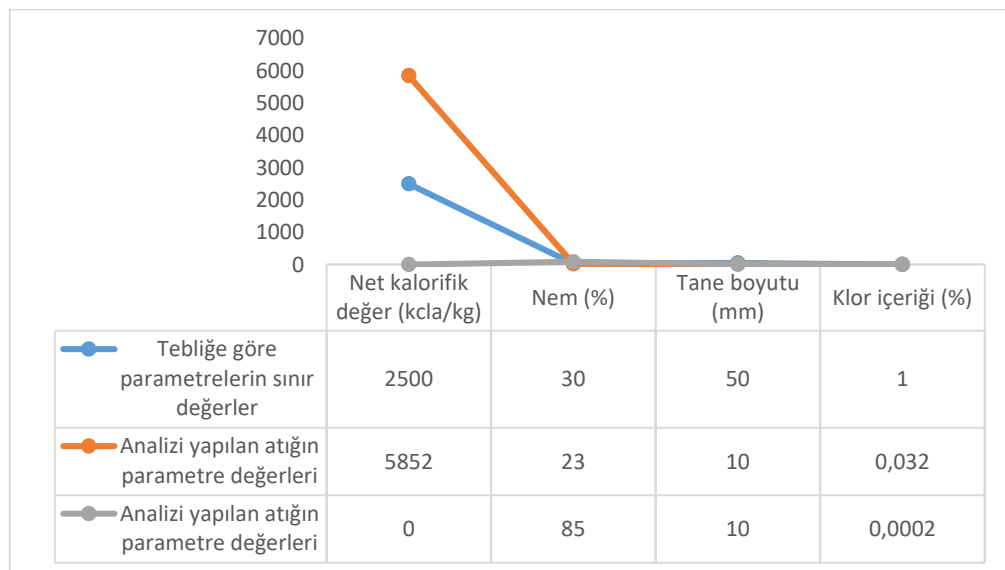
Şekil 4.18. Kimyasal solvent atığı

Tablo 4.12. Kimyasal solvent atığı analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	5852
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	5244
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	23
Klor İçeriği, %	0,032

Tablo 4.13. Boya atığı analiz sonucu

Parametre	Değer
Üst Kalorifik değer, kcal/kg	0
Alt Kalorifik değer, kcal/kg	0
Tane boyutu, mm	<10
Nem oranı, %	85
Klor İçeriği, %	0,0002



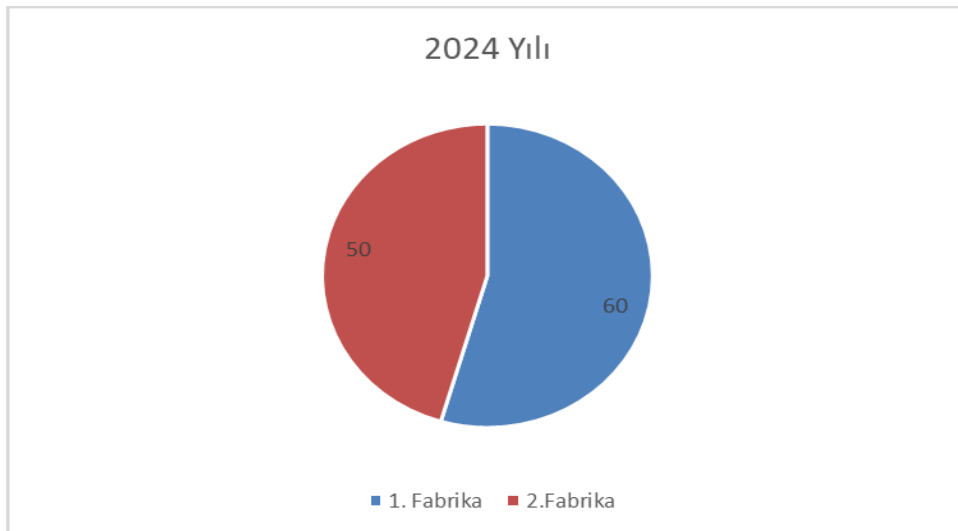
Şekil 4.19. Kimyasal solvent ve tebliğ değerlerine göre parametre karşılaştırması

Şekil 4.19.'da değerlendirilen ilk atık, 5852 kcal/kg düzeyindeki net ısı değeriyle Tebliğ'de belirtilen minimum sınırın üzerinde yer almakta ve ithal kömürle benzer enerji potansiyeli sunarak alternatif yakıt olarak değerlendirilebilecek niteliktedir. % 23 seviyesindeki nem oranı teknik açıdan kabul edilebilir olmakla birlikte, fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında yüksek kalmakta ve kurutma sürecini gerektirebilmektedir. 10 mm'lik tane boyutu çimento fırını besleme sistemleriyle uyumlu olup, % 0,032'lik düşük klor içeriği ise hem Tebliğ'de belirtilen sınırın altında kalmaktadır. Öte yandan, ikinci atık % 85 oranındaki yüksek nem içeriği ve sifıra yakın kalorifik değeriyle enerji üretimi açısından işlevsel değildir. Çok yüksek tonajlarda olmadığı takdirde seyreltme işlemi uygulanarak bertarafı sağlanabilir.

Gelişmiş ülkelerde çimento üretiminde atıklardan yakıt elde etme oranı ortalama olarak % 65–70 seviyelerindedir. Buna karşın, gelişmekte olan ülkelerde bu oran genellikle % 10–15 düzeyindedir. Türkiye'de ise, atıktan türetilmiş yakıt (ATY) kullanımının her geçen gün artış göstermesiyle birlikte, çimento üretim süreçlerinde fosil yakıtların yerine geçen atık besleme ikame oranlarında da belirgin bir yükselme gözlemlenmektedir. Bu durumu destekler nitelikte olarak, Tablo 4.14.'de gösterilen iki farklı çimento fabrikasından elde edilen veriler, atık yakıt ikame oranlarının arttığını ve bu artışın uygulamada da karşılık bulunduğunu ortaya koymaktadır (şekil 4.20.).

Tablo 4.14. İki fabrikanın atık yakma ikame oranı

Fabrika	Yıl	İkame Oranı
1.	2024	% 60
2.	2024	% 50



Şekil 4.20. İkame oranları (URL2)

4.15. Genel Değerlendirme

Yakıt Türü	Kalorifik Değer (kcal/kg)	Nem Oranı (%)	Klor İçeriği (%)	Genel Yorum
Atık Lastikler	6833	1	0,1647	İyi, doğrudan kullanım uygun.
Atık Yağlar	8640	10	0,1445	Yüksek verim: püskürtme sistemi gerekebilir.
Plastik (PET)	5448	1	0,1388	Uygun, düşük klor oranı.
Plastik (Kablo)	5237	7	19,88	Çok yüksek klor: düşük klorlu atıklar ile harmanlama yapılması gerekmektedir.
Organik Atıklar	3756	15	11,71	Düşük enerji, yüksek klor: tek başına uygun beslenmeye uygun değildir.
Tekstil Atıkları	6917	5	3,894	Klor kontrolü gereklidir.
Aritma Çamurları	2203	17	0,09514	Düşük enerji: kurutma ön işlemi yapılması gerekmektedir.
Ambalaj Atıkları	4319-3946	2-4	2,113-2,429	Orta düzey enerji: depolama ihtiyacı var.
Kimyasal Solvent	0-5852	85-23	0,0002-0,032	Düşük miktarlarda kalorili atıklar ile karıştırılmalıdır.

4.12. Fosil Yakıtların Oluşturduğu CO₂ Emisyonlarının Hesaplanması

Tablo 4.16.'da verildiği gibi taş kömür, petrokok ve doğalgaz tüketimi ile oluşan emisyonlar ve tüketim verileri hesaplamaya dahil edilmiştir.

Tablo 4.16. Tüketim verileri

Emisyonlar	Tüketim verileri (ton)
Taşkömür	24.189
Petrokok	46.134
Doğalgaz	92.942
Atıklar	162.444

Bu çalışmada, Ek 2'deki IPCC verileri kullanılarak yakıt türlerine göre emisyon faktörleri seçilmiştir.

Emisyon faktörleri belirlenirken IPCC Tier-1 yöntemi kullanılmıştır. Tüketilen yakıt türlerine göre belirlenen emisyon faktörleri tablo 4.17.'de belirtilmiştir.

Tablo 4.17. Emisyon faktörleri

	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Taşkömür	98,300	1	1,5
Petrokok	97,500	3	0,6
Doğalgaz	56,100	1	0,1

NKD değerleri, Ek 3'teki tablo kullanılarak belirlenmiştir. Yakıt türüne göre belirlenen NKD değerleri ise Tablo 4.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18. Net kalorifik değer

Taşkömür	26,7
Petrokok	32,5
Doğalgaz	48,0

Tablo 4.19.'da ise sera gazlarının türüne göre elde edilen KİP değerleri sunulmuştur.

Tablo 4.19. Küresel ısınma potansiyeli

CO₂	1
CH₄	29,8
N₂O	273

EK 4'ten elde edilen değerler doğrultusunda yoğunluk değerleri (kg/lt) tablo 4.20.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. Yoğunluk değerleri (kg/lt)

Taşkömür	1
Petrokok	1
Doğalgaz	0,670

Oksitlenen karbon yüzdesi değerleri tablo 4.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Oksitlenen karbon yüzdesi

Taşkömür	1
Petrokok	1
Doğalgaz	1

Hesaplama kullanılan ana denklem aşağıda gösterilmektedir

$$\text{Faaliyet Verisi} = \text{Toplam Tüketim} \times \text{Yoğunluk} \times \text{Net Kalorifik Değer} \times \text{Emisyon Faktörü} \times \text{Oksitlenen Karbon Yüzdesi} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesabı (petrokok, doğalgaz ve taşkömürü) sırasıyla şekil 4.21.-4.23.'de sunulmuştur.

FOSİL YAKITLARIN OLUŞTURDUĞU CO ₂ EMİSYONLARININ HESABI												
		ENERJİ TÜRÜ	TÜKETİM	YOĞUNLUK	TÜKETİM	NKD	ENERJİ TÜKETİMİ	EMİSYON FAKTÖRÜ	EMİSYON	OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ	KİP	CO ₂ EMİSYONU
				(kg/l)	(ton)	(TJ/Gg)	(TJ)	(kg/TJ)	(ton)			
KAPSAM 1												
	CO ₂	Petrokok (t)	46.134,00	1	46,134	32,5	1,499355	97.500,00	146,1871125	1	1	146,1871125
	CH ₄	Petrokok (t)	46.134,00	1	46,134	32,5	1,499355	3	0,004498065	1	29,8	0,134042337
	N ₂ O	Petrokok (t)	46.134,00	1	46,134	32,5	1,499355	0,6	0,000899613	1	273	0,245594349
										Toplam Emisyon		146,5667492
ÖNEMLİ NOTLAR												
NOT 1: Veriler, yılın Ocak - Aralık dahil olmak üzere 12 ayın toplam tüketim miktarını içermelidir.												
NOT 2: Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O) aynı tüketim değerinde oluşturduğu farklı emisyonlar karbon eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır.												
NOT 3: Çalışmada, kg ve ton çevrimleri excel hesaplamalarına eklenerek yapılmıştır.												
NOT 4: Bu çalışma TSE EN ISO 14061-1: 2019 ve GHG Protokolü çerçevesinde oluşturulmuş olup fosil yakıtların tükemi baz alınarak hesaplama yapılmıştır.												
HESAP FORMÜLLERİ												
KARBON AYAK İZİ = FAALİYET VERİSİ X YOĞUNLUK X NKD X EF X OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ X KİP												
Faaliyet Verisi: Tüketim miktarıdır.												
Emisyon Faktörü: Kullanılan yakıt tüketim miktarına bağlı olarak yakıt türünün oluşturduğu emisyonu göre değişen değerlerdir. Birimi doğalgaz için kg/Tj, elektrik için ise kg/ kWh'dir.												
NKD: Net Kalorifik Değer. Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden değerdir. Birimi TJ/Gg'dır.												
KİP: Küresel Isınma Potansiyeli. CO ₂ etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örn. 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki göreceli etkisini gösteren bir değerdir.												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığını gösteren değerdir.												
Çalışmada kullanılan yakıt türüne göre değişen Yoğunluk, NKD, KİP, Oksitlenen Karbon Yüzdesi ve Emisyon Faktörleri gibi değişkenler son yayınlanan kılavuzlardan seçilmiştir.												
IPCC Raporları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Kılavuzları takip edilerek güncel değerler kullanılmaktadır.												

Şekil 4.21. Fosil yakıtların (petrokok) oluşturduğu CO₂ emisyonlarının hesabı

CO ₂ EMİSYON HESAPLAMALARI												
FOSİL YAKITLARIN OLUŞTURDUĞU CO ₂ EMİSYONLARININ HESABI												
	ENERJİ TÜRÜ	TÜKETİM	YOĞUNLUK	TÜKETİM	NKD	ENERJİ TÜKETİMİ	EMİSYON FAKTÖRÜ	EMİSYON	OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ	KİP	CO ₂ EMİSYONU	
			(kg/l)	(ton)	(TJ/Gg)	(TJ)	(kg/TJ)	(ton)				
KAPSAM 1	CO ₂	Doğalgaz (m ³)	92.942	0,67	62,271341	48	2,989024368	56100	167,684267	1	1	167,684267
	CH ₄	Doğalgaz (m ³)	92.942	0,67	62,271341	48	2,989024368	1	0,002989024	1	29,8	0,089072926
	N ₂ O	Doğalgaz (m ³)	92.942	0,67	62,271341	48	2,989024368	0,1	0,000298902	1	273	0,081600365
										Toplam Emisyon		167,8549403
ÖNEMLİ NOTLAR												
NOT 1: Veriler, yılın Ocak - Aralık dahil olmak üzere 12 ayın toplam tüketim miktarını içermektedir.												
NOT 2: Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O) aynı tüketim değerinde oluşturduğu farklı emisyonlar karbon eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır.												
NOT 3: Çalışmada, kg ve ton çevrimleri excel hesaplamalarına eklenecek yapılmıştır.												
NOT 4: Bu çalışma TSE EN ISO 14061-1: 2019 ve GHG Protokolü çerçevesinde oluşturulmuş olup fosil yakıtların tükümü baz alınarak hesaplama yapılmıştır.												
HESAP FORMÜLLERİ												
KARBON AYAK İZİ = FAALİYET VERİSİ X YOĞUNLUK X NKD X EF X OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ X KİP												
Faaliyet Verisi: Tüketim miktarıdır.												
Emisyon Faktörü: Kullanılan yakıt tüketim miktarına bağlı olarak yakıt türünün oluşturduğu emisyonu göre değişen değerlerdir. Birimi doğalgaz için kg/Tj, elektrik için ise kg/kWh'dir.												
NKD: Net Kalorifik Değer. Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden değerdir. Birimi TJ/Gg'dir.												
KİP: Küresel Isınma Potansiyeli. CO ₂ etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örn. 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki göreceli etkisini gösteren bir değerdir.												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığını gösteren değerdir.												
Çalışmada kullanılan yakıt türüne göre değişen Yoğunluk, NKD, KİP, Oksitlenen Karbon Yüzdesi ve Emisyon Faktörleri gibi değişkenler son yayınlanan kılavuzlardan seçilmiştir.												
IPCC Raporları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Kılavuzları takip edilerek güncel değerler kullanılmıştır.												

Şekil 4.22. Fosil yakıtların (doğalgaz) oluşturduğu CO₂ emisyonlarının hesabı

4.13. Tüketilen Atıklardan Hesaplanan CO₂ Emisyon Hesapları

İç Anadolu bölgesinde bulunan bir çimento fabrikasından alınan tüketim verilerine göre alternatif yakıtların (atık) meydana getirdiği CO₂ emisyon hesaplaması yapılmıştır. Emisyon hesaplanmasında aşağıdaki formüller esas alınmıştır.

$$NKD (Tj/t) = \frac{NKD \left(\frac{kcal}{kg}\right)_{4,18}}{10^6}$$

Eşlenik Petrokok (t) = ((Atık miktarı (t) NKD (kcal/kg)) / NKD petrokok (kcal/kg))

(Öztürk B. , 2021).

Tablo 4.22. Tüketim verileri

Emisyonlar	Tüketim verileri (ton)
Atık yağ	13463
RDF	81240
ÖTL	49198
SRF	18553

Tüketilen alternatif yakıtların CO₂ emisyon miktarları şekil 4.24.'de gösterilmiştir. Bunun yanı sıra tüketilen alternatif yakıtlar yerine eşleniği petrokok tüketimi gerçekleşmesi durumunda CO₂ emisyon değerleri hesaplanması şekil 4.25.'de gösterilmiştir.

CO ₂ EMİSYON HESAPLAMALARI												
ALTERNATİF YAKITLARIN OLUŞTURDUĞU CO ₂ EMİSYONLARININ HESABI												
		ENERJİ TÜRÜ	TÜKETİM	YOĞUNLUK (kg/l)	TÜKETİM (ton)	NKD (TJ/Gg)	ENERJİ TÜKETİMİ (TJ)	EMİSYON FAKTÖRÜ (kg/TJ)	EMİSYON (ton)	OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ	KİP	CO ₂ EMİSYONU
	CO ₂	Atık Yağ (t)	13.463	1	13,463	36	0,484668	77.400	37,5133032	1	1	37,5133032
	CO ₂	RDF (t)	81.240	1	81,24	18	1,46232	90.000	131,6088	1	1	131,6088
	CO ₂	ÖTL (t)	49.198	1	49,198	28	1,377544	83.000	114,336152	1	1	114,336152
	CO ₂	SRF (t)	18.553	1	18,553	23	0,426719	80.000	34,13752	1	1	34,13752
Toplam Emisyon											317,5957752	
ÖNEMLİ NOTLAR												
NOT 1: Veriler, yılın Ocak - Aralık dahil olmak üzere 12 ayın toplam tüketim miktarını içermelidir.												
NOT 2: Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O) aynı tüketim değerinde oluşturduğu farklı emisyonlar karbon eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır.												
NOT 3: Çalışmada, kg ve ton çevrimleri excel hesaplamalarına eklenerek yapılmıştır.												
NOT 4: Bu çalışma TSE EN ISO 14061-1: 2019 ve GHG Protokolü çerçevesinde oluşturulmuş olup fosil yakıtların tüketimi baz alınarak hesaplama yapılmıştır.												
HESAP FORMÜLLERİ												
KARBON AYAK İZİ = FAALİYET VERİŞİ X YOĞUNLUK X NKD X EF X OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ X KİP												
Faaliyet Verisi: Tüketim miktarıdır.												
Emisyon Faktörü: Kullanılan yakıt tüketim miktarına bağlı olarak yakıt türünün oluşturduğu emisyonu göre değişen değerlerdir. Birimi doğalgaz için kg/Tj, elektrik için ise kg/ kWh'dir.												
NKD: Net Kalorifik Değer. Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden değerdir. Birimi TJ/Gg'dır.												
KİP: Küresel Isınma Potansiyeli. CO ₂ etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örn. 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki göreceli etkisini gösteren bir değerdir.												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyonu uğradığını gösteren değerdir.												
Çalışmada kullanılan yakıt türüne göre değişen Yoğunluk, NKD, KİP, Oksitlenen Karbon Yüzdesi ve Emisyon Faktörleri gibi değişkenler son yayınlanan kılavuzlardan seçilmiştir.												
IPCC Raporları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Kılavuzları takip edilerek güncel değerler kullanılmıştır.												

Şekil 4.24. Alternatif yakıtlar CO₂ emisyon hesaplaması

FOSİL YAKITLARIN OLUŞTURDUĞU CO ₂ EMİSYONLARININ HESABI												
	ENERJİ TÜRÜ	TÜKETİM	YOĞUNLUK	TÜKETİM	NKD	ENERJİ TÜKETİMİ	EMİSYON FAKTÖRÜ	EMİSYON	OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ	KİP	CO ₂ EMİSYONU	
			(kg/l)	(ton)	(TJ/Gg)	(TJ)	(kg/TJ)	(ton)				
KAPSAM 1												
	CO ₂	Petrokok (t)	129.892,00	1	129,892	32,5	4,22149	97.500,00	411,595275	1	1	411,595275
	CH ₄	Petrokok (t)	129.892,00	1	129,892	32,5	4,22149	3	0,01266447	1	29,8	0,377401206
	N ₂ O	Petrokok (t)	129.892,00	1	129,892	32,5	4,22149	0,6	0,002532894	1	273	0,691480062
										Toplam Emisyon		412,6641563
ÖNEMLİ NOTLAR												
NOT 1: Veriler, yılın Ocak - Aralık dahil olmak üzere 12 ayın toplam tüketim miktarını içermelidir.												
NOT 2: Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O) aynı tüketim değerinde oluşturduğu farklı emisyonlar karbon eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır.												
NOT 3: Çalışmada, kg ve ton çevrimleri excel hesaplamalarına eklenerek yapılmıştır.												
NOT 4: Bu çalışma TSE EN ISO 14061-1: 2019 ve GHG Protokolü çerçevesinde oluşturulmuş olup fosil yakıtların tükemi baz alınarak hesaplama yapılmıştır.												
HESAP FORMÜLLERİ												
KARBON AYAK İZİ = FAALİYET VERİSİ X YOĞUNLUK X NKD X EF X OKSİTLENEN KARBON YÜZDESİ X KİP												
Faaliyet Verisi: Tüketim miktarıdır.												
Emisyon Faktörü: Kullanılan yakıt tüketim miktarına bağlı olarak yakıt türünün oluşturduğu emisyonla göre değişen değerlerdir. Birimi doğalgaz için kg/Tj, elektrik için ise kg/kWh'dir.												
NKD: Net Kalorifik Değer. Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden değerdir. Birimi TJ/Gg'dir.												
KİP: Küresel Isınma Potansiyeli. CO ₂ etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örn. 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki görece etkisini gösteren bir değerdir.												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığını gösteren değerdir.												
Çalışmada kullanılan yakıt türüne göre değişen Yoğunluk, NKD, KİP, Oksitlenen Karbon Yüzdesi ve Emisyon Faktörleri gibi değişkenler son yayınlanan kılavuzlardan seçilmiştir.												
IPCC Raporları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Kılavuzları takip edilerek güncel değerler kullanılmaktadır.												

Şekil 4.25. Alternatif yakıt yerine fosil yakıt (petrokok) kullanılması sonucu emisyon hesaplanması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, çimento üretim süreçlerinde kullanılan fosil yakıtların yerine geçebilecek alternatif yakıtların teknik açıdan uygunlukları, enerji verimlilikleri ve çevresel etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Hem Türkiye’de hem de küresel ölçekte artan çimento ihtiyacı, beraberinde yüksek enerji tüketimini ve buna bağlı olarak çevresel baskıların yoğunlaşmasını getirmektedir. Bu durum, çimento sektörünü daha çevreci ve sürdürülebilir üretim modellerine yöneltmektedir. Çalışma kapsamında: fosil yakıtlar (toz kömür, petrokok ve doğalgaz) ile çeşitli alternatif yakıt türleri karşılaştırmalı olarak ele alınmış, her bir atığın çimento fırınlarında kullanılabilirliği ilgili yönetmelik ve Tebliğ kapsamında belirlenmiş sınır değerler ışığında analiz edilmiştir.

Fosil yakıtların değerlendirilmesi sonucunda, petrokok, 8313 kcal/kg düzeyindeki yüksek kalorifik değeri, % 2 oranındaki düşük nem içeriği ve son derece düşük klor seviyesi (%0,0002) ile çimento fırınlarında enerji verimliliği açısından öne çıkan bir yakıt olmuştur. Toz kömür, yüksek sıcaklık üretme kapasitesiyle avantaj sunmasına rağmen, ithalata bağımlılığı ve çevresel emisyon yükü nedeniyle sürdürülebilirlik açısından dezavantajlı bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Doğalgaz ise düşük emisyon profili ve yüksek yanma verimi ile dikkat çekmekte, ancak yüksek maliyetleri nedeniyle genellikle fırınların ilk ateşlemelerinde ya da tavlama işlemlerinde sınırlı düzeyde kullanılmaktadır.

Alternatif yakıt grupları üzerine yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

Atık yağlar, 8640 kcal/kg gibi yüksek bir net ısıl değere ve % 0,1445 oranında düşük bir klor içeriğine sahiptir. % 10 düzeyindeki nem oranı kabul edilebilir sınırlardadır ve partikül boyutu itibarıyla doğrudan fırın beslemesine uygunluk göstermektedir.

Atık lastikler, 6833 kcal/kg kalorifik değerleri, % 1 oranındaki düşük nem içerikleri ve % 0,3038 seviyesindeki kontrol edilebilir klor oranları ile teknik ve ekonomik açıdan kullanılabilirliği yüksek alternatifler arasında yer almaktadır. Stabil yanma karakteristikleri ve düşük kül oluşumu ile klinker üretimi açısından da avantaj sunmaktadır.

Plastik atıklar (PET ve kablo bazlı türler), düşük nem oranları (% 1–7) ve 5000 kcal/kg üzerindeki kalorifik değerleri ile verimlilik sağlamaktadır. Ancak bazı plastik

türlerinde gözlenen % 19,88 düzeyindeki aşırı klor içeriği, bu atıkların kullanılabilirliğini sınırlamakta ve ön işlem ya da harmanlama ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Tekstil atıkları, özellikle sentetik kökenli olanlar, 6917 kcal/kg kalorifik değer ve % 5 nem oranı ile dikkat çekmektedir. Fakat % 3,894 düzeyindeki yüksek klor oranı, fırın ve ekipmanlar üzerinde korozyon ve birikinti riski doğurmakta, bu nedenle bu atıkların seyreltme ve dozaj kontrolü eşliğinde kullanılması gerekmektedir.

Organik atıklar ve arıtma çamurları, genel olarak düşük enerji içeriği (3353-1788 kcal/kg), yüksek nem oranı (% 15-17) ve zaman zaman yüksek klor içeriği nedeniyle doğrudan kullanım için uygun değildir. Ancak uygun harmanlama teknikleriyle değerlendirilebilir hale getirilmeleri mümkündür. Her geçen gün sera gazı emisyon salınımlarının düşmesi için gerekli önlem/tedbirler'in artmasıyla mısır sapı, buğday sapı gibi biyokütle olarak sınıflandırılan atıklara talep artmakta olup, enerji üretimi için tercih edilecek atıkların başında gelecektir.

Kimyasal solvent atıkları, özellikle sıvı formdaki endüstriyel atıklar arasında yüksek enerji içerikli (örneğin mürekkep atığı 5852 kcal/kg) olanlar, düşük klor oranları ve püskürtme yöntemiyle beslenebilme ve atık tesislerinde bulunan RDF havuzu içerisinde düşük ve yüksek değere sahip atıklar karıştırılarak farklı nitelikteki atıkların homojen hâle getirilerek çimento fırınlarında teknik açıdan daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ancak, çok yüksek nem içeriğine (% 85) ve sifıra yakın kalorifik değere sahip solvent türlerinin yalnızca seyreltme yoluyla bertaraf edilebileceği anlaşılmaktadır.

Ambalaj atıkları, 3946-4319 kcal/kg düzeyindeki ısı değerleri ve % 2-4 oranındaki düşük nem içerikleriyle enerji açısından elverişli olsalar da, % 2,1-2,4 seviyesindeki klor içeriği nedeniyle yalnızca Cl-bypass sistemine sahip tesislerde veya düşük klorlu atıklarla karıştırılarak kullanılmaları uygun görülmektedir.

Yukarı da elde edilen değerlendirmelere bağlı olarak çimento sektöründe alternatif yakıtların kullanımına ilişkin şu temel çıkarımlara ulaşılmıştır:

Enerji verimliliği açısından, atık yağ, lastik ve bazı plastik türleri gibi alternatif yakıtlar, geleneksel fosil yakıtlarla benzer enerji sağlayarak çimento fırınlarının sıcaklık ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteye sahiptir.

Çevresel etkiler açısından, düşük klor içerikli alternatiflerin tercih edilmesiyle proses dengesi korunabilir ve emisyon değerleri yasal sınırların altında tutulabilir. Yüksek klor içeriğine sahip atıkların kullanımı ise mutlaka ön işlem, seyreltme ya da Cl-bypass sistemleri gibi kontrol önlemleriyle desteklenmelidir.

Ekonomik ve operasyonel uygunluk açısından, alternatif yakıtların tane boyutlarının uygun hale getirilmesi, besleme sistemlerine entegrasyonları ve yanma karakteristiklerinin optimize edilmesi, hem enerji verimliliğini hem de operasyonel sürekliliği doğrudan etkilemektedir.

Mevzuat uyumu, atıkların yakıt olarak kullanılmasında, “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” ve ilgili Tebliğ hükümlerinde belirtilen kalorifik değer, klor içeriği ve nem oranı gibi parametrelerin sağlanması zorunludur. Bu sınırlar, hem proses güvenliği hem de ürün kalitesinin korunmasında belirleyici rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, yapılan bu kapsamlı değerlendirme, çimento üretiminde alternatif yakıtların kullanımının hem enerji verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur. Uygun ön işleme tabi tutulmuş ve teknik kriterleri karşılayan atıkların kullanılmasıyla, fosil yakıt tüketiminin azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve karbon emisyonlarının azaltılması mümkün olacaktır. İlerleyen süreçte atık kaynaklarının çeşitlendirilmesi, ileri düzey harmanlama tekniklerinin uygulanması ve tesis bazlı özel yakıt yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, sektörün daha çevreci bir yörüngeye oturmasına katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, İç Anadolu bölgesinde yer alan bir çimento fabrikasında kullanılan fosil ve alternatif yakıtların sera gazı (özellikle CO₂) emisyonlarına etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. IPCC Tier-1 metodolojisi kullanılarak, taşkömürü, petrokok ve doğalgaz gibi geleneksel fosil yakıtların tüketim miktarları ve bu yakıtların özgül emisyon faktörleri dikkate alınarak toplam CO₂ emisyonları hesaplanmıştır. Aynı şekilde, atık yağ, RDF, ÖTL ve SRF gibi alternatif yakıtların da eşdeğer petrokok karşılıkları hesaplanarak olası sera gazı emisyon salınımları değerlendirilmiştir.

Fosil yakıtların tüketim verilerine göre yapılan hesaplamalar neticesinde, petrokok (46.134 ton), taşkömürü (24.189 ton) ve doğalgaz (92.942 ton) kullanımı sonucunda önemli miktarda CO₂ salımı gerçekleşmiştir. IPCC tarafından önerilen emisyon faktörlerine göre petrokok ve taşkömürü yüksek karbon içerikleri nedeniyle daha fazla CO₂ üretmiş, doğalgaz ise daha düşük bir emisyon profili sergilemiştir. Bu durum, özellikle çimento üretimi gibi enerji yoğun sektörlerde yakıt tercihlerinin çevresel etkilerini doğrudan belirlediğini göstermektedir.

Alternatif yakıtların kullanımıyla ilgili yapılan analizlerde ise RDF (81.240 ton), ÖTL (49.198 ton), atık yağ (13.463 ton) ve SRF (18.553 ton) gibi atık bazlı kaynakların, eşlenik petrokok tüketimine göre önemli ölçüde daha düşük CO₂ emisyonu ürettiği görülmüştür. Özellikle RDF ve SRF gibi ısıl değeri yüksek yakıtlar, fosil kaynaklara

kıyasla daha sürdürülebilir bir çözüm sunarken, ÖTL gibi yakıtların ise hem yüksek kalorifik değeri hem de mevcut karbon içeriği nedeniyle dikkatli yönetilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, alternatif yakıtların çimento sektöründe fosil yakıt ikamesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak her alternatif yakıtın kimyasal içeriği, net kalorifik değeri ve yanma sonrası oluşan emisyon profili dikkate alınarak teknik uygunluk analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Alternatif yakıt kullanımının yaygınlaştırılması, sadece CO₂ emisyonlarının azaltılmasına değil, aynı zamanda atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesine ve enerji maliyetlerinin düşürülmesine de katkı sağlayacaktır.

5.2 Öneriler

- Atıkların kaynağında ayrıştırılması için alt yapı oluşturulması ve gerekli eğitim verilmesi.
- Gerekli teknik alt yapı ve makine/ekipmanların tedarik edilmesi.
- Atıkların yakıt olarak kullanılabilmesi konusunda kişilere gerekli eğitim ve farkındalığı arttıracak uygulamalar yapılması.
- Çevresel sürdürülebilirlik için gerekli yönetmelik ve mevzuatların gözden geçirilip, sürdürülebilirlik açısından teşvik edici hale getirilmelidir.
- Yeşil teknoloji kullanımının artırılması için gerekli fizibilite çalışmalarının yapılması ve uygulanması.
- Alternatif yakıt kullanımının teşvik edilip, artırılması.
- Döner fırın ve kalsiner besleme noktaları optimize edilmelidir.
- Üretim esnasında atmosfere salınan CO₂ gazını azaltmak için Kriyojenik Karbon Yakalama (Cryogenic Carbon Capture, CCC) sistemi, Kimyasal Absorpsiyon, membran teknolojileri, yakıt ve malzeme stratejileri ve bacalarda torba filtre gibi sistemler kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akdağ, A. S. (2014). Atıktan Türetilmiş Yakıt Örneklerinin Yakıt Değerlerinin ve Yanma Karakterlerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aruntaş, H. (2017). Türk Çimento Sektöründe Alternatif Yakıt Kullanımı. *9(3)*, 66-70.
- Atcı, F. (2020). Çevre ve Atık Yönetiminde Sıfır Atık Uygulamaları Kaspamında Atık Toplam Tesislerinden Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ateş, F. (2021). Bingöl Atıksu Arıtma Tesisinin Karbon Ayak İzinin CCaLC2 ve GPS X Yöntemine Göre Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Erzurum: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği. (2014).
- Carrasco, F., Bredin, N., & Heitz, M. (2002). Gaseous Contaminant Emissions as Affected by Burning Scrap Tires in Cement Manufacturing. *Journal of Environmental Quality*, 1484-1490.
- Chen, C., Habert, G., Buzidi, Y., & Julien, A. (2010). Environmental Impact of Cement Production: Detail of the Different Processes and Cement Plant Variability Evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 18(5), 478-485.
- Chinmaya, M. P. (2011). *Alternative Fuels in Cement Manufacturing*. University of Malawi.
- Çelik, S. Ö. (2018). Atıktan Türetilmiş Yakıt Yasal Çerçeve, Avrupadaki ve Türkiye'deki Durum. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 63-71.
- Çimento Mühendisliği El Kitabı Çevre ve İklim Değişikliği. (2021).
- Çimento Mühendisliği El Kitabı. (2021). Türk Çimento.
- Eken, M. H. (2024). Giresun Atıksu Arıtma Tesisinin İnşaat Aşamasındaki Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Giresun: Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ekincioglu, Ö., Gürgün, A. P., Engin, Y., Tarhan, M., & Kumbaracıbaşı, S. (2013). Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim. *Energy and Buildings*, 136-142.
- Gürsel, P. A., & Meral, Ç. (2012). Türkiye'de Çimento Üretiminin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi. *2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, (s. 1-13).
- Hashem, F. S., Razeq, T. A., & Mashout, H. A. (2019). Rubber And Plastic Wastes As Alternative Refused Fuel İn Cement İndustry. *Construction And Building Materials*, 212, 275-282.
- Hünerli, E. (2023). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesinin Karbon Ayak İzinin IPCC Tier 1 Yaklaşımı ve DEFRA Yöntemiyle Hesabı. *Yüksek Lisans Tezi*. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İsli, F. A. (2024). Fosil ve Alternatif Yakıtların Klinker Mikroyapısına Etkisi.
- Kaddatz, K. T., Rasul, M. G., & Rahman, A. (2013). Alternative Fuels For Use İn Cement Kilns: Process İmpact Modelling. *Procedia Engineering*, 56, 413-420.
- Karakaş, F. (2006). Çimento Hammaddelerinin Öğütülmesinde Enerji Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, B. (2024). Atıktan Türetilmiş Yakıtın Üretim Prosesinin ve Bazı Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kukreja, K., Soni, K. M., Mohapatra, B., & Panda, D. K. (2023). Impact assessment of alternative fuels on production Cost, plant operation and Environment- case study of

- Indian cement industry. Sustainable Energy Technologies and Assessments. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57.
- Ordu, Ş., & Öztürk, E. (2017). Çimento Fabrikalarında Alternatif Hammadde Ve Yakıt Kullanımı: Örnek Çalışma. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(2), 87-92.
- Osmaniye İlinde ATY Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu . (2016).
- Özel, A. (2011). Çimento Üretiminde ATY Kullanımı ve Çevresel Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan, Ö. (2011). Alternatif Yakıt Ürünlerinin Klinker Üretiminde Kullanımına Bir Örnek: Akçansa Büyükçekmece Çimento Fabrikası Özet. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 1A 0261.
- Öztürk, B. (2021). Çimento Üretiminde Alternatif Yakıt Kullanımının Baca Gazı Emisyonları Üzerine Etkileri. *Doktora Tezi*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, E. (2016). Çimento Sektöründe Alternatif Hammadde Ve Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Yararlarının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Parlikar, U., Bundela, P. S., Baidya, R., Ghosh, S., & Ghosh, S. K. (2016). Effect of Variation in the Chemical Constituents of Wastes on the Co-Processing Performance of the Cement Kilns. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 506-512.
- Prisciandaro, M., Mazziotti, G., & Veglio, F. (2003). Effect of Burning Supplementary Waste Fuels on the Pollutant Emissions by Cement Plants: A Statistical Analysis of Process Data. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(2), 161-184.
- Rahman, A., Rasul, M. G., Khan, M. K., & Sharma, S. (2015). Recent Development On The Uses Of Alternative Fuels In Cement Manufacturing Process. *Fuel*, 145, 84-99.
- Rende, K., Akalın, N., Ercan, Ö., & Hilmioğlu, B. (2013). Çimento Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması İçin Alternatif Yöntemler. *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.
- Strazza, C., Borghi, D. A., Gallo, B., & Borghi, D. B. (2011). A Resource Productivity Enhancement As Means For Promoting Cleaner Production: Analysis Of Co-İncineration İn Cement Plants Through A Life Cycle Approach. *Journal Of Cleaner Production*, 19(14), 1615-1621.
- Şanlı, G., & Ünlü, H. (2020). İkincil Yakıtların Çimento Üretimine Etkisi Üzerine Bir Araştırma: Klinker Kompozisyonu, Çimentonun Mukavemeti ve Sızdırma Özellikleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(66), 851-589.
- Tosun, F. (2006). Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt Olarak Katı Atıkların Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uğur , O. (2018). Ön Isıtıcı ve Kalsinatörlü Çimento Fabrikasına Ait Döner Fırın Prosesi Üzerinde Enerji ve Ekserji Analizlerinin Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*. Bilecik: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, N. (2015). *Klinker Üretimi Madencilik Ve Yerbilim*, 88-91.
- Yıldız, N. (2021). *Çimento Mühensiliği El Kitabı*. içinde Ankara: Ertem Basım.
- Yorulmaz, Ö. (2022). Çimento Tesislerinde Kullanılacak Olan Atıktan Türetilmiş Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Validasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Zhang, Y., Cao, S.-X., Shao, S., Chen, Y., Liu, S.-L., & Zhang, S.-S. (2011). Aspen Plus-Based Simulation Of A Cement Calciner And Optimization Analysis Of Air Pollutants Emission. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 3(13), 459-468.

- https://ekonomi.isbank.com.tr/ContentManagement/Documents/sr201604_cimentosektoru.pdf (Erişim Tarihi: 21.01.2025)(URL-1)
- <https://www.turkcimento.org.tr/> (Erişim Tarihi: 16.01.2025)(URL-2)
- <https://cimentofabrikasi.com/icerik/dokme-klinker> (Erişim Tarihi: 06.02.2025)(URL-3)
- <https://www.pwc.com.tr/tr/sectorler/i%CC%87nsaat-ve-muhendislik/pdf/dunyada-ve-turkiyede-cimento-sektoru>. (Erişim Tarihi: 02.11.2025)(URL-4)
- <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/birimler/turkiye-cimento-sektoru-icin-dusuk-karbonlu-yol-haritasi>. (Erişim Tarihi: 05.01.2025)(URL-5)
- <https://akdenizcimento.com/icerik/cimento-uretiminde-enerji-verimliliği-saglayan-yöntemler> (Erişim Tarihi: 18.01.2025)(URL-6)
- <http://www.istanbulgeridonusum.com.tr/bilgi-sayfalari/geri-donusumun-basamaklari> (Erişim Tarihi: 11.03.2025)(URL-7)
- <https://evreka.co/tr/blog/lisansli-atik-firmalari-hakkinda-bilmeniz-gereken-her-sey/> (Erişim Tarihi: 20.10.2024)(URL-8)
- <https://www.worldcementassociation.org/> (Erişim Tarihi: 03.02.2025)(URL-9)
- <https://www.makinaturkiye.com/eddy-current-metal-cop-ayiklama-separatoru-p-239018> (Erişim Tarihi: 01.01.2025)(URL-10)
- <https://www.tomra.com/tr-tr/waste-metal-recycling/products/technologies/flying-beam> (Erişim Tarihi: 05.01.2025)(URL-11)
- <https://saypower.com.tr/hizmetler/trommel-elek-uretimi/> (Erişim Tarihi: 02.02.2025)(URL-12)
- <https://www.mtmakina.com.tr/ayristirma-sistemleri/metal-seperator> (Erişim Tarihi: 19.01.2025)(URL-13)
- <https://vecoplan.com/en/products/shredding/pre-shredding/vez-rdf-shredder-pre-shredding/vez-3200-ttv-rdf-shredder> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-15)
- <https://www.untha.com/en/products> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-16)
- <https://www.lindner.com/shredder/stationary-primary-shredding/jupiter> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-17)
- <https://www.komptech.com/en/products/terminator-mobile/#/> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-18)
- <https://www.ssiworld.com/en/products/uni-shear-shredders/uni-shear-sr900> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-19)
- <https://www.zerma.com/pdf-downloads/english/datasheet-zhs-1.pdf> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-20)
- <https://tana.fi/products/tana-440dteco-shredder/> (Erişim Tarihi: 07.01.2025)(URL-21)
- <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-49672> (Erişim Tarihi: 27.08.2024)(URL-22)
- <https://www.akbulutlargo.com.tr/toz-komur/> (Erişim Tarihi: 01.05.2025)(URL-23)
- <https://cinaksgroup.com/maden-grubu/petrokok-petcoke-petrol-koku/> (Erişim Tarihi: 02.05.2025)(URL-24)
- <https://www.enerjiekonomisi.com/atik-ayirma-tesisine-kavustu/1214/> (Erişim Tarihi: 02.05.2025)(URL-25)

EKLER**EK-1**

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
01 05 05*	Yağ içeren sondaj çamurları ve atıkları	A	X	X
01 05 06*	Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları	M	X	X
02 01 02	Hayvan dokusu atıkları		X	X
02 01 03	Bitki dokusu atıkları		X	X
02 01 04	Atık plastikler (ambalajlar hariç)		X	X
02 01 06	Ayrı toplanmış ve saha dışında işlem görecekt hayvan dışkı, idrar ve tezek (ve bunlarla temas etmiş saman dahil), akan sıvılar		X	X
02 01 07	Ormancılık atıkları		X	X
02 02 01	Yıkama ve temizlemeden kaynaklanan çamurlar		X	X
02 02 02	Hayvan dokusu atığı		X	X
02 02 03	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler		X	X
02 02 04	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
02 03 02	Koruyucu katkı maddelerinden kaynaklanan atıklar		X	X
02 03 03	Çözücü ekstraksiyonundan kaynaklanan atıklar		X	X
02 03 04	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler		X	X
02 03 05	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan atıklar		X	X
02 04 03	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
02 05 02	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
02 06 01	Tüketime ve işlenmeye uygun olmayan maddeler		X	X
02 06 02	Koruyucu katkı maddelerinden kaynaklanan atıklar		X	X
02 06 03	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
02 07 01	Hammaddelerin yıkanmasından, temizlenmesinden ve mekanik olarak sıkılmasından kaynaklanan atıklar		X	X
02 07 02	Alkol damıtılmasından kaynaklanan atıklar		X	X
02 07 04	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler		X	

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
02 07 05	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları		X	X
03 01 04*	Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontraplak ve kaplamalar	M	X	X
03 01 05	03 01 04 dışındaki talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontraplak ve kaplamalar		X	X
03 02 01*	Halojenlenmemiş organik ahşap koruyucu maddeler	A	X	X
03 02 02*	Organoklorlu ahşap koruyucu maddeler	A	X	X
03 02 03*	Organometal içeren ahşap koruyucu maddeler	A	X	X
03 02 04*	İnorganik ahşap koruyucu maddeler	A	X	X
03 02 05*	Tehlikeli maddeler içeren diğer ahşap koruyucuları	M	X	X
03 03 01	Ağaç kabuğu ve odun atıkları		X	X
03 03 02	Yeşil sıvı çamuru (pişirme sıvısı geri kazanımından)		X	X
03 03 05	Kâğıt geri kazanım işleminden kaynaklanan mürekkep giderme çamurları		X	X
03 03 07	Atık kâğıt ve kartonun hamur haline getirilmesi sırasında mekanik olarak ayrılan iskartalar		X	X
03 03 08	Geri dönüşüme gitmek üzere sınıflandırılan kâğıt ve kartondan kaynaklanan atıklar		X	X
03 03 10	Mekanik ayırma sonucu oluşan elyaf iskartaları, elyaf, dolgu ve yüzey kaplama maddesi çamuru		X	X
03 03 11	03 03 10 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
04 01 01	Sıyırma ve kireçleme ile deriden et sıyırma işleminden kaynaklanan atıklar		X	X
04 01 06	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan krom içeren çamurlar			X
04 01 07	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan krom içermeyen çamurlar		X	X
04 01 09	Perdah ve boyama atıkları		X	
04 02 09	Kompozit malzeme atıkları (emprenye edilmiş tekstil, elastomer, plastomer)		X	X
04 02 10	Doğal ürünlerden oluşan organik maddeler (örneğin yağ, mum)		X	X
04 02 14*	Organik çözücüler içeren perdah atıkları	M	X	
04 02 15	04 02 14 dışındaki perdah atıkları		X	
04 02 16*	Tehlikeli maddeler içeren boya maddeleri ve pigmentler	M	X	X
04 02 17	04 02 16 dışındaki boya maddeleri ve pigmentler		X	X
04 02 19*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
04 02 20	04 02 19 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
04 02 21	İşlenmemiş tekstil elyafı atıkları		X	X
04 02 22	İşlenmiş tekstil elyafı atıkları		X	X
05 01 02*	Tuz arındırma (tuz giderici) çamurları	A	X	X
05 01 03*	Tank dibi çamurları	A	X	X
05 01 04*	Asit alkil çamurları	A	X	X
05 01 05*	Petrol döküntüleri	A	X	X
05 01 06*	İşletme ya da ekipman bakım çalışmalarından kaynaklanan yağlı çamurlar	A	X	X
05 01 07*	Asit ziftleri	A	X	X
05 01 08*	Diğer ziftler	A	X	X
05 01 09*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli madde içeren çamurlar	M	X	X
05 01 10	05 01 09 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
05 01 11*	Yakıtların bazlar ile temizlenmesi sonucu oluşan atıklar	A	X	X
05 01 12*	Yağ içeren asitler	M		X
05 01 13	Kazan besleme suyu çamurları		X	X
05 01 14	Soğutma kolonlarından kaynaklanan atıklar		X	X
05 01 15*	Kullanılmış filtre killeri	A	X	X
05 01 16	Petrol desülfürizasyonu sonucu oluşan kükürt içeren atıklar		X	
05 01 17	Bitüm		X	X
05 06 01*	Asit ziftleri	A	X	X
05 06 03*	Diğer ziftler	A	X	X
05 06 04	Soğutma kolonlarından kaynaklanan atıklar		X	X
05 07 02	Kükürt içeren atıklar		X	
06 05 02*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
06 05 03	06 05 02 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
06 08 02*	Zararlı klorosilan içeren atıklar	M	X	X
06 13 02*	Kullanılmış aktif karbon (06 07 02 hariç)	A	X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
06 13 03	Karbon siyahı		X	X
07 01 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 01 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 01 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 01 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 01 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 01 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 01 12	07 01 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
07 02 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 02 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 02 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 02 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 02 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 02 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 02 12	07 02 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
07 02 13	Atık plastik		X	X
07 02 14*	Tehlikeli maddeler içeren katkı maddelerinin atıkları	M	X	X
07 02 15	07 02 14 dışındaki katkı maddelerinin atıkları		X	X
07 02 16*	Zararlı silikonlar içeren atıklar	M	X	X
07 02 17	07 02 16 dışında silikon içeren atıklar		X	X
07 03 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 03 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 03 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 03 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 03 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 03 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 03 12	07 03 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
07 04 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 04 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 04 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 04 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 04 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 04 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 04 12	07 04 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
07 04 13*	Tehlikeli madde içeren katı atıklar	M	X	
07 05 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 05 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 05 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 05 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 05 10*	Diğer filtre tabakaları kekleri, kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 05 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 05 12	07 05 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
07 05 13*	Tehlikeli madde içeren katı atıklar	M	X	
07 06 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 06 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 06 08*	Diğer dip tortuları ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 06 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 06 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
07 06 12	07 06 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
07 07 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 07 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	A	X	
07 07 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	A	X	X
07 07 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	A	X	X
07 07 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
07 07 12	07 07 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
08 01 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık boya ve vernikler	M	X	
08 01 12	08 01 11 dışındaki atık boya ve vernikler		X	X
08 01 13*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik çamurları	M	X	
08 01 14	08 01 13 dışındaki boya ve vernik çamurları		X	X
08 01 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernikli sulu çamurlar	M	X	
08 01 16	08 01 15 dışındaki boya ve vernik içeren sulu çamurlar		X	X
08 01 17*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve verniğin sökülmesinden kaynaklanan atıklar	M	X	
08 01 18	08 01 17 dışındaki boya ve vernik sökülmesinden kaynaklanan atıklar		X	X
08 01 19*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik sökülmesinden kaynaklanan sulu süspansiyonlar	M	X	
08 01 20	08 01 19 dışındaki sulu boya ya da vernik içeren sulu süspansiyonlar		X	X
08 01 21*	Boya ya da vernik sökücü atıkları	A	X	X
08 02 01	Atık kaplama tozları		X	
08 03 07	Mürekkep içeren sulu çamurlar		X	
08 03 08	Mürekkep içeren sulu sıvı atıklar		X	
08 03 12*	Tehlikeli maddeler içeren mürekkep atıkları	M	X	X
08 03 13	08 03 12 dışındaki mürekkep atıkları		X	X
08 03 14*	Tehlikeli maddeler içeren mürekkep çamurları	M	X	X
08 03 15	08 05 14 dışındaki mürekkep çamurları		X	X
08 03 16*	Atık aşındırma solüsyonları	A	X	X
08 03 17*	Tehlikeli maddeler içeren atık baskı tonerleri	M	X	X
08 03 18	08 03 17 dışındaki atık baskı tonerleri		X	X
08 03 19*	Dağıtıcı yağ	A	X	X
08 04 09*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık yapışkanlar ve dolgu macunları	M	X	
08 04 10	08 04 09 dışındaki atık yapışkanlar ve dolgu macunları		X	X
08 04 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren yapışkan ve dolgu macunu çamurları	M	X	

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
08 04 12	08 04 11 dışındaki yapışkan ve dolgu macunu çamurları		X	X
08 04 13*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren sulu yapışkan veya dolgu macunu çamurları	M	X	
08 04 14	08 04 13 dışındaki sulu organik yapışkan veya dolgu macunu çamurları		X	X
08 04 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren sulu yapışkan veya dolgu macunlarının sıvı atıkları	M	X	
08 04 16	08 04 15 dışındaki yapışkan veya dolgu macunlarının sulu atıkları		X	X
08 04 17*	Reçine yağı	A	X	X
08 05 01*	Atık izosiyanatlar	A	X	X
09 01 01*	Su bazlı banyo ve aktifleştirici solüsyonları	A	X	
09 01 02*	Su bazlı ofset plakası banyo solüsyonu	A	X	
09 01 03*	Çözücü bazlı banyo solüsyonları	A	X	
09 01 05*	Ağartıcı solüsyonları ve ağartıcı sabitleyici solüsyonlar	A	X	
09 01 08	Gümüş veya gümüş bileşenleri içermeyen fotoğraf filmi ve kâğıdı		X	X
10 01 01	(10 01 04'ün altındaki kazan tozu hariç) dip külü, cüruf ve kazan tozu		X	X
10 01 20*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
10 01 21	10 01 20 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
10 01 25	Termik santrallerin yakıt depolama ve hazırlama işlemlerinden çıkan atıklar		X	X
10 02 11*	Soğutma suyunun arıtılmasından kaynaklanan yağ içerikli atıklar	M	X	X
10 03 02	Anot hurdaları		X	X
10 03 18	10 03 17 dışındaki anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar		X	X
10 06 07*	Gaz arıtımından kaynaklanan çamurlar ve filtre kekleri	A	X	X
10 06 09*	Soğutma suyunun arıtılmasından kaynaklanan yağ içeren atıklar	M	X	X
10 07 07*	Soğutma suyunun arıtılmasından kaynaklanan yağ içeren atıklar	M	X	X
10 08 12*	Anot üretiminden kaynaklanan katran içeren atıklar	A	X	X
10 08 13	10 08 12 dışındaki anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar		X	X
10 08 17*	Baca gazı arıtımından kaynaklanan ve tehlikeli maddeler içeren çamurlar ve filtre kekleri	M	X	X
10 08 18	10 08 17 dışındaki gaz arıtma çamurları ve filtre kekleri		X	X
10 08 19*	Soğutma suyunun arıtılmasından kaynaklanan yağ içeren atıklar	M	X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
10 11 03	Cam elyaf atıkları		X	
10 11 15*	Baca gazı arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren katı atıklar	M	X	X
10 11 19*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren katı atıklar	M	X	X
10 11 20	10 11 19 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan katı atıklar		X	X
10 12 13	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamur		X	X
11 01 09*	Tehlikeli maddeler içeren çamurlar ve filtre kekleri	M	X	X
11 01 10	11 01 09 dışındaki çamurlar ve filtre kekleri		X	X
11 01 13*	Tehlikeli maddeler içeren yağ alma atıkları	M	X	X
11 01 14	11 01 13 dışındaki yağ alma atıkları		X	X
11 01 16*	Doymuş ya da bitik iyon değişim reçineleri	A	X	X
11 05 04*	Iskarta flaks malzemeler	A	X	
12 01 05	Plastik yongalar ve çapaklar		X	X
12 01 06*	Halojen içeren madeni bazlı işleme yağları (emülsiyon ve solüsyonlar hariç)	A	X	
12 01 07*	Halojen içermeyen madeni bazlı işleme yağları (emülsiyon ve solüsyonlar hariç)	A	X	X
12 01 08*	Halojen içeren işleme emülsiyon ve solüsyonları	A	X	
12 01 09*	Halojen içermeyen işleme emülsiyon ve solüsyonları	A	X	X
12 01 10*	Sentetik işleme yağları	A	X	X
12 01 12*	Kullanılmış (mum) parafin ve yağlar	A	X	X
12 01 14*	Tehlikeli maddeler içeren işleme çamurları	M	X	X
12 01 18*	Yağ içeren metalik çamurlar (öğütme, bileme ve freze tortuları)	M		X
12 01 19*	Biyolojik olarak kolay bozunur işleme yağı	A		X
13 01 05*	Klor içermeyen emülsiyonlar	A		X
13 01 09*	Mineral esaslı klor içeren hidrolik yağlar	A		X
13 01 10*	Mineral esaslı klor içermeyen hidrolik yağlar	A		X
13 01 11*	Sentetik hidrolik yağlar	A		X
13 01 12*	Kolayca biyolojik olarak bozunabilir hidrolik yağlar	A		X
13 01 13*	Diğer hidrolik yağlar	A		X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
13 02 04*	Mineral esaslı klor içeren motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 05*	Mineral esaslı klor içermeyen motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 06*	Sentetik motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 07*	Kolayca biyolojik olarak bozunabilir motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 02 08*	Diğer motor, şanzıman ve yağlama yağları	A		X
13 03 06*	13 03 01 dışındaki mineral esaslı klor içeren yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 07*	Mineral esaslı klor içermeyen yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 08*	Sentetik yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 09*	Kolayca biyolojik olarak bozunabilir yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 03 10*	Diğer yalıtım ve ısı iletim yağları	A		X
13 04 01*	Nehir ve göl seyrüseferinden (iç su yolu denizciliğinden) kaynaklanan sintine yağları	A	X	X
13 04 02*	İskele kanalizasyonlarından (mendirekten) kaynaklanan sintine yağları	A	X	X
13 04 03*	Diğer denizcilik seyrüseferinden kaynaklanan sintine yağları	A	X	X
13 05 01*	Kum odacığından ve yağ/su ayırıcısından çıkan katılar	A	X	
13 05 02*	Yağ/su ayırıcısından çıkan çamurlar	A	X	X
13 05 03*	Yakalayıcı (interseptör) çamurları	A	X	X
13 05 06*	Yağ/su ayırıcılarından çıkan yağ	A	X	X
13 05 07*	Yağ/su ayırıcılarından çıkan yağlı su	A	X	
13 05 08*	Kum odacığından ve yağ/su ayırıcılarından çıkan karışık atıklar	A	X	X
13 07 01*	Fuel-oil ve mazot	A		X
13 07 02*	Benzin	A		X
13 07 03*	Diğer yakıtlar (karışımlar dahil)	A		X
14 06 02*	Diğer halojenli çözücüler ve çözücü karışımları	A		X
14 06 03*	Diğer çözücüler ve çözücü karışımları	A	X	X
14 06 04*	Halojenli çözücüler içeren çamurlar veya katı atıklar	A		X
14 06 05*	Diğer çözücülerini içeren çamurlar veya katı atıklar	A	X	X
15 01 01	Kâğıt ve karton ambalaj (1)		X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
15 01 02	Plastik ambalaj (1)		X	X
15 01 03	Ahşap ambalaj (1)		X	X
15 01 05	Kompozit ambalaj (1)		X	X
15 01 06	Karışık ambalaj (1)		X	X
15 01 09	Tekstil ambalaj (1)		X	X
15 01 10*	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	A	X	X
15 02 02*	Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler	M	X	X
15 02 03	15 02 02 dışındaki emiciler, filtre malzemeleri, temizleme bezleri, koruyucu giysiler		X	X
16 01 03	Ömrünü tamamlamış lastikler			X
16 01 07*	Yağ filtreleri	A	X	X
16 01 13*	Fren sıvıları	A		X
16 01 19	Plastik		X	X
16 03 03*	Tehlikeli maddeler içeren inorganik atıklar	M	X	
16 03 05*	Tehlikeli maddeler içeren organik atıklar	M	X	
16 03 06	16 03 05 dışındaki organik atıklar		X	X
16 07 08*	Yağ içeren atıklar	M	X	X
16 07 09*	Diğer tehlikeli maddeler içeren atıklar	M	X	X
17 02 01	Ahşap		X	X
17 02 03	Plastik		X	X
17 02 04*	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ahşap, cam ve plastik	A	X	X
17 03 01*	Kömür katranı içeren bitümlü karışımlar	M	X	X
17 03 02	17 03 01 dışındaki bitümlü karışımlar		X	X
17 03 03*	Kömür katranı ve katranlı ürünler	A	X	X
17 05 03*	Tehlikeli maddeler içeren toprak ve taşlar (2)	M		X
17 06 03*	Tehlikeli maddelerden oluşan ya da tehlikeli maddeler içeren diğer yalıtım malzemeleri	M	X	X
17 06 04	17 06 01 ve 17 06 03 dışındaki yalıtım malzemeleri		X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
19 01 10*	Baca gazı arıtımından kaynaklanan kullanılmış aktif karbon	A	X	X
19 01 17*	Tehlikeli maddeler içeren piroliz atıkları	M	X	X
19 02 03	Tehlikeli olmayan atıkların önceden karıştırılması ile oluşmuş atıklar		X	
19 02 04*	En az bir tehlikeli atık ile önceden karıştırılması ile oluşmuş atıklar	A	X	
19 02 05*	Fiziksel ve kimyasal işlemlerden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	
19 02 07*	Ayrışmadan oluşan yağ ve konsantrasyonlar	A	X	X
19 02 08*	Tehlikeli maddeler içeren sıvı yanabilir atıklar	M	X	X
19 02 09*	Tehlikeli maddeler içeren katı yanabilir atıklar	M	X	X
19 05 01	Belediye ve benzeri atıklarının kompostlanmamış fraksiyonları		X	
19 08 05	Kentsel atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan çamurlar		X	X
19 08 06*	Doymuş ya da kullanılmış iyon değiştirici reçineler	A	X	X
19 08 09	Yağ ve su ayrışmasından kaynaklanan sadece yenilebilir yağlar içeren yağ karışımları ve gres		X	
19 08 10*	19 08 09 dışındaki yağ ve su ayrışmasından çıkan yağ karışımları ve gres	A	X	X
19 08 11*	Endüstriyel atıksuyun biyolojik arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
19 08 12	19 08 11 dışındaki endüstriyel atıksuyun biyolojik arıtılmasından kaynaklanan çamurlar		X	X
19 08 13*	Endüstriyel atıksuyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
19 08 14	19 08 13 dışındaki endüstriyel atıksuyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan çamurlar		X	X
19 09 04	Kullanılmış aktif karbon		X	X
19 11 01*	Kullanılmış filtre killeri	A	X	X
19 11 03*	Sulu sıvı atıklar	A		X
19 11 05*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	M	X	X
19 11 06	19 11 05 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar		X	X
19 12 01	Kâğıt ve karton		X	X
19 12 04	Plastik ve lastik		X	X
19 12 06*	Tehlikeli maddeler içeren ahşap	M	X	X
19 12 07	19 12 06 dışındaki ahşap		X	X
19 12 08	Tekstil malzemeleri		X	X

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	Açıklama	ATY	Ek Yakıt
19 12 10	Yanabilir atıklar (atıktan türetilmiş yakıt)			X
19 12 11*	Atıkların mekanik işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar (karışık malzemeler dahil)	M		X
19 12 12	19 12 11 dışında atıkların mekanik işlenmesinden kaynaklanan diğer atıklar (karışık malzemeler dahil)		X	X
20 01 01	Kâğıt ve karton		X	X
20 01 10	Giysiler		X	X
20 01 11	Tekstil ürünleri		X	X
20 01 13*	Çözücüler	A	X	
20 01 26*	20 01 25 dışındaki sıvı ve katı yağlar	A	X	X
20 01 27*	Tehlikeli maddeler içeren boya, mürekkepler, yapıştırıcılar ve reçineler	M	X	X
20 01 28	20 01 27 dışındaki boya, mürekkepler, yapıştırıcılar ve reçineler		X	X
20 01 37*	Tehlikeli maddeler içeren ahşap	M	X	X
20 01 38	20 01 37 dışındaki ahşap		X	X
20 01 39	Plastikler		X	X
20 03 01	Karışık belediye atıkları		X	
20 03 07	Hacimli atıklar		X	

(1) Geri dönüşüm tesislerinde değerlendirilememesi halinde

(2) Sadece petrol ve petrol ürünleri ile kirlenmiş olanlar

EK-2. IPCC METODUNA GÖRE EMİSYON FAKTÖRLERİ

TABLE 2.2
 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR STATIONARY COMBUSTION IN THE ENERGY INDUSTRIES
 (kg of greenhouse gas per TJ on a Net Calorific Basis)

Fuel	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Default Emission Factor	Lower	Upper	Default Emission Factor	Lower	Upper	Default Emission Factor	Lower	Upper	
Crude Oil	73 300	71 100	75 500	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Orimulsion	r 77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Natural Gas Liquids	r 64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Gasoline	Motor Gasoline	r 69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0.6	0.2	2
	Aviation Gasoline	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0.6	0.2	2
	Jet Gasoline	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0.6	0.2	2
Jet Kerosene	r 71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Other Kerosene	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Shale Oil	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Residual Fuel Oil	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Liquefied Petroleum Gases	63 100	61 600	65 600	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3	
Ethane	61 600	56 500	68 600	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3	
Naphtha	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Lubricants	73 300	71 900	75 200	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Petroleum Coke	r 97 500	82 900	115 000	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Refinery Feedstocks	73 300	68 900	76 600	r 3	1	10	0.6	0.2	2	
Other Oil	Refinery Gas	n 57 600	48 200	69 000	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	Paraffin Waxes	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2
	White Spirit and SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2
	Other Petroleum Products	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0.6	0.2	2
Anthracite	98 300	94 600	101 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Coking Coal	94 600	87 300	101 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Other Bituminous Coal	94 600	89 500	99 700	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Sub-Bituminous Coal	96 100	92 800	100 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Lignite	101 000	90 900	115 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Oil Shale and Tar Sands	107 000	90 200	125 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Brown Coal Briquettes	97 500	87 300	109 000	n 1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Patent Fuel	97 500	87 300	109 000	1	0.3	3	n 1.5	0.5	5	
Coke	Coke Oven Coke and Lignite Coke	r 107 000	95 700	119 000	1	0.3	3	r 1.5	0.5	5
	Gas Coke	r 107 000	95 700	119 000	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
Coal Tar	n 80 700	68 200	95 300	n 1	0.3	3	r 1.5	0.5	5	
Derived Gases	Gas Works Gas	n 44 400	37 300	54 100	n 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	Coke Oven Gas	n 44 400	37 300	54 100	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	Blast Furnace Gas	n 260 000	219 000	308 000	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	Oxygen Steel Furnace Gas	n 182 000	145 000	202 000	r 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
Natural Gas	56 100	54 300	58 300	1	0.3	3	0.1	0.03	0.3	

EK-3. DÖNÜŞÜM FAKTÖRLERİ

TABLE 1.2
DEFAULT NET CALORIFIC VALUES (NCVs) AND LOWER AND UPPER LIMITS OF THE 95% CONFIDENCE INTERVALS ¹

Fuel type English description		Net calorific value (TJ/Gg)	Lower	Upper
Crude Oil		42.3	40.1	44.8
Orimulsion		27.5	27.5	28.3
Natural Gas Liquids		44.2	40.9	46.9
Gasoline	Motor Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Aviation Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Jet Gasoline	44.3	42.5	44.8
Jet Kerosene		44.1	42.0	45.0
Other Kerosene		43.8	42.4	45.2
Shale Oil		38.1	32.1	45.2
Gas/Diesel Oil		43.0	41.4	43.3
Residual Fuel Oil		40.4	39.8	41.7
Liquefied Petroleum Gases		47.3	44.8	52.2
Ethane		46.4	44.9	48.8
Naphtha		44.5	41.8	46.5
Bitumen		40.2	33.5	41.2
Lubricants		40.2	33.5	42.3
Petroleum Coke		32.5	29.7	41.9
Refinery Feedstocks		43.0	36.3	46.4
Other Oil	Refinery Gas ²	49.5	47.5	50.6
	Paraffin Waxes	40.2	33.7	48.2
	White Spirit and SBP	40.2	33.7	48.2
	Other Petroleum Products	40.2	33.7	48.2
Anthracite		26.7	21.6	32.2
Coking Coal		28.2	24.0	31.0
Other Bituminous Coal		25.8	19.9	30.5
Sub-Bituminous Coal		18.9	11.5	26.0
Lignite		11.9	5.50	21.6
Oil Shale and Tar Sands		8.9	7.1	11.1
Brown Coal Briquettes		20.7	15.1	32.0
Patent Fuel		20.7	15.1	32.0
Coke	Coke Oven Coke and Lignite Coke	28.2	25.1	30.2
	Gas Coke	28.2	25.1	30.2
Coal Tar ³		28.0	14.1	55.0
Derived Gases	Gas Works Gas ⁴	38.7	19.6	77.0
	Coke Oven Gas ⁵	38.7	19.6	77.0
	Blast Furnace Gas ⁶	2.47	1.20	5.00
	Oxygen Steel Furnace Gas ⁷	7.06	3.80	15.0
Natural Gas		48.0	46.5	50.4
Municipal Wastes (non-biomass fraction)		10	7	18
Industrial Wastes		NA	NA	NA
Waste Oil ⁸		40.2	20.3	80.0
Peat		9.76	7.80	12.5

EK-4. YOĞUNLUK DEĞERLERİ

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1 ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1 ton	Briket		5.000000	kCal	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1 ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1 ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1 ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1 ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Odun		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1 ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1 ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin m ³	Doğal Gaz	0.670 Kg/m ³	8.250.000	kCal	0.825
1 ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin m ³	Kok Gazı	0.490 Kg/m ³	4.028.000	kCal	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin m ³	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m ³	690.000	kCal	0.069
bin m ³	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0.150
bin m ³	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin m ³	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin m ³	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1 ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin m ³	LPG	2.477 Kg/m ³	27.000.000	kCal	2.700
bin kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.860

EK-5. ANALİZ SONUÇLARI

SPECTRO X-LabPro			Job Number: 2025_04		
- Preset Sample Data					
Sample Name	MEHMET ÇELİK		Dilution Material		
Description			Sample Mass (g)	0,8900	
Method	KÇ KATI ATIK 2016		Dilution Mass (g)	0,0000	
Job Number	2025_04		Dilution Factor	1,0000	
Sample Type	Liquid, 24 mm		Sample rotation	No	
Sample State	Liquid		Date of Receipt	24.04.2025 14:10:48	
Sample Status	A X X A X X A A		Date of Evaluation	24.04.2025 14:10:52	
- Results					
The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval					
Mass Att. Coeff. 22,5			Loss of Ignition 58,7012 %		
Z	Symbol	Element	Concentration		Abs. Error
17	Cl	Chlorine	11,71	%	0,01 %
16	S	Sulfur	1,315	%	0,003 %
35	Br	Bromine	0,00446	%	0,00004 %
53	I	Iodine	< 0,00030	%	(0,0) %
30	Zn	Zinc	0,00962	%	0,00011 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0	ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	8,6	ppm	0,6 ppm
81	Tl	Thallium	9,0	ppm	0,6 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0	ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	< 0,5	ppm	(0,0) ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0	ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	148,8	ppm	2,0 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0	ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	36,7	ppm	0,8 ppm
82	Pb	Lead	19,7	ppm	0,6 ppm
34	Se	Selenium	3,9	ppm	0,3 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0	ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	15,4	ppm	1,5 ppm
11	Na	Sodium	2,85	%	0,13 %
20	Ca	Calcium	3,449	%	0,007 %
26	Fe	Iron	0,3198	%	0,0012 %
13	Al	Aluminum	10,97	%	0,13 %
29	Cu	Copper	0,00528	%	0,00013 %
Sum of concentration			30,66	%	
Ü: 3756					
A: 3353					
H: 5,8					
N: 15					
Date: 24.04.2025			Page 1		

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	BOYA ÇAMURU 2	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	1,8500
Method	KÇ SIVI ATIK-2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	29.04.2025 21:50:36
Sample Status	A X X A X X X A	Date of Evaluation	29.04.2025 21:50:39

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 4,0			Loss of Ignition 98,7696 %			
Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error	
17	Cl	Chlorine	165,8209	< 0,00020 %	(0,0)	%
16	S	Sulfur	117,7312	< 0,00020 %	(0,0)	%
35	Br	Bromine	13,4056	0,00010 %	0,00001	%
53	I	Iodine	4,2864	0,00138 %	0,00045	%
30	Zn	Zinc	11,0235	0,00026 %	0,00002	%
48	Cd	Cadmium	0,5049	< 2,0 ppm	(0,0)	ppm
80	Hg	Mercury	0,0000	< 1,0 ppm	(0,0)	ppm
81	Tl	Thallium	0,0000	< 1,0 ppm	(0,0)	ppm
51	Sb	Antimony	6,7018	< 3,0 ppm	(0,0)	ppm
33	As	Arsenic	0,0000	< 0,5 ppm	(0,0)	ppm
27	Co	Cobalt	0,0000	< 3,0 ppm	(0,0)	ppm
24	Cr	Chromium	0,9883	< 1,0 ppm	(0,0)	ppm
50	Sn	Tin	2,4055	< 3,0 ppm	(0,0)	ppm
28	Ni	Nickel	17,9163	4,9 ppm	0,3	ppm
82	Pb	Lead	4,3460	1,0 ppm	0,2	ppm
34	Se	Selenium	6,5254	0,7 ppm	0,1	ppm
52	Te	Tellurium	7,0582	< 3,0 ppm	(0,0)	ppm
23	V	Vanadium	0,0000	< 1,0 ppm	(0,0)	ppm
11	Na	Sodium	27,8853	0,682 %	0,055	%
19	K	Potassium	1,9006	0,0065 %	0,0028	%
26	Fe	Iron	87,5162	0,00927 %	0,00015	%
Sum of concentration				0,70 %		

üst kalori = 0

Alt kalori = 0

Hidrojen = 8,70

Nem = 85

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	BOYA ÇAMURU 1	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	0,9600
Method	KÇ SIVI ATIK-2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	29.04.2025 21:47:38
Sample Status	A X X A X X X A	Date of Evaluation	29.04.2025 21:47:42

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 4,6

Loss of Ignition 96,9860 %

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	1100,3872	0,03205 %	0,00009 %
16	S	Sulfur	485,4698	< 0,00020 %	(0,0) %
35	Br	Bromine	16,7164	0,00015 %	0,00001 %
53	I	Iodine	0,0000	< 0,00030 %	(0,0) %
30	Zn	Zinc	57,1972	0,00163 %	0,00003 %
48	Cd	Cadmium	3,0486	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	0,0000	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
81	Tl	Thallium	7,6278	2,3 ppm	0,3 ppm
51	Sb	Antimony	5,9596	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	2,3753	0,3 ppm	0,1 ppm
27	Co	Cobalt	0,0000	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	2,2638	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
50	Sn	Tin	7,5134	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	20,0620	6,8 ppm	0,3 ppm
82	Pb	Lead	10,7837	2,8 ppm	0,3 ppm
34	Se	Selenium	3,1225	0,4 ppm	0,1 ppm
52	Te	Tellurium	7,3757	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	22,0024	87,7 ppm	9,8 ppm
11	Na	Sodium	26,2048	0,646 %	0,051 %
19	K	Potassium	0,6245	< 0,0022 %	(0,0022) %
26	Fe	Iron	193,7947	0,02445 %	0,00022 %
Sum of concentration				0,72 %	

üst Kalori° = 5852

Alt Kalori° = 5244

Hidrojen = 8,70

Nem = 23

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	RDF NUMUNE 3	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	0,6200
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	23.04.2025 23:05:28
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	23.04.2025 23:05:31

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 21,8

Loss of Ignition 64,7697 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	3,894 %	0,004 %
16	S	Sulfur	1,985 %	0,003 %
35	Br	Bromine	0,00049 %	0,00002 %
53	I	Iodine	< 0,00030 %	(0,0) %
30	Zn	Zinc	0,01878 %	0,00014 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	7,0 ppm	0,6 ppm
81	Tl	Thallium	8,7 ppm	0,6 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	1,6 ppm	0,3 ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	167,4 ppm	2,1 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	43,9 ppm	0,9 ppm
82	Pb	Lead	15,1 ppm	0,6 ppm
34	Se	Selenium	3,1 ppm	0,3 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	17,9 ppm	1,8 ppm
11	Na	Sodium	3,45 %	0,13 %
20	Ca	Calcium	2,132 %	0,005 %
26	Fe	Iron	0,3845 %	0,0013 %
13	Al	Aluminum	18,83 %	0,13 %
29	Cu	Copper	0,1739 %	0,0005 %
Sum of concentration			30,89 %	

üst Kalori = 6917

Alt Kalori = 6598

Hidrojen = 5,8

Nem = 1

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	PETROKOK	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	3,7000
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	29.04.2025 23:26:54
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	29.04.2025 23:26:57

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
			Mass Att. Coeff. 5,5	Loss of Ignition 94,8311 %
17	Cl	Chlorine	< 0,00020 %	(0,0) %
16	S	Sulfur	3,913 %	0,003 %
35	Br	Bromine	0,00014 %	0,00001 %
53	I	Iodine	0,00467 %	0,00027 %
30	Zn	Zinc	0,00153 %	0,00003 %
48	Cd	Cadmium	5,0 ppm	0,5 ppm
80	Hg	Mercury	1,2 ppm	0,3 ppm
81	Tl	Thallium	2,1 ppm	0,3 ppm
51	Sb	Antimony	6,2 ppm	0,3 ppm
33	As	Arsenic	0,3 ppm	0,1 ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	10,3 ppm	0,9 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	438,9 ppm	1,8 ppm
82	Pb	Lead	4,0 ppm	0,3 ppm
34	Se	Selenium	1,6 ppm	0,1 ppm
52	Te	Tellurium	16,5 ppm	0,5 ppm
23	V	Vanadium	1047 ppm	3 ppm
11	Na	Sodium	0,557 %	0,038 %
20	Ca	Calcium	0,3451 %	0,0011 %
26	Fe	Iron	0,09466 %	0,00041 %
13	Al	Aluminum	< 0,0020 %	(0,0) %
29	Cu	Copper	0,00037 %	0,00005 %
Sum of concentration			5,07 %	

Üst Kalori = 8313

Alt Kalori = 7988

Hidrojen = 5,80

Nem = 2

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	KÖMÜR	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	2,2900
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	29.04.2025 23:30:40
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	29.04.2025 23:30:45

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 6,6			Loss of Ignition 89,6876 %	
Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	< 0,00020 %	(0,0) %
16	S	Sulfur	0,3660 %	0,0007 %
35	Br	Bromine	0,00019 %	0,00001 %
53	I	Iodine	0,00281 %	0,00035 %
30	Zn	Zinc	0,00340 %	0,00005 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	4,1 ppm	0,4 ppm
81	Tl	Thallium	4,0 ppm	0,3 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	3,7 ppm	0,2 ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	39,9 ppm	0,6 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	33,2 ppm	0,6 ppm
82	Pb	Lead	12,1 ppm	0,4 ppm
34	Se	Selenium	2,0 ppm	0,2 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	55,9 ppm	1,6 ppm
11	Na	Sodium	0,343 %	0,027 %
20	Ca	Calcium	0,5747 %	0,0015 %
26	Fe	Iron	0,7877 %	0,0013 %
13	Al	Aluminum	6,217 %	0,038 %
29	Cu	Copper	0,00216 %	0,00006 %
Sum of concentration			8,31 %	

Üst Kalori = 5970

Alt Kalori = 5651

Hidrojen = 5,80

Nem = 1

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	RDF NUMUNE 4	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	0,8800
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	23.04.2025 23:09:23
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	23.04.2025 23:09:27

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 19,9

Loss of Ignition 74,3673 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	2,429 %	0,003 %
16	S	Sulfur	1,123 %	0,002 %
35	Br	Bromine	0,00130 %	0,00003 %
53	I	Iodine	< 0,00030 %	(0,0) %
30	Zn	Zinc	0,05754 %	0,00023 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	8,0 ppm	0,7 ppm
81	Tl	Thallium	9,4 ppm	0,6 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	5,7 ppm	0,5 ppm
27	Co	Cobalt	< 11 ppm	(2,5) ppm
24	Cr	Chromium	2399 ppm	7 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	56,0 ppm	1,0 ppm
82	Pb	Lead	38,5 ppm	0,8 ppm
34	Se	Selenium	4,1 ppm	0,3 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	87 ppm	10 ppm
11	Na	Sodium	1,490 %	0,100 %
20	Ca	Calcium	9,728 %	0,011 %
26	Fe	Iron	1,032 %	0,002 %
13	Al	Aluminum	5,127 %	0,073 %
29	Cu	Copper	0,02114 %	0,00018 %
Sum of concentration			21,27 %	

üst kalori = 3946

Alt kalori = 3609

Hidrojen = 5,80

Ncm = 4

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

— Preset Sample Data —

Sample Name	RDF NUMUNE 2	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	0,7500
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	23.04.2025 23:01:33
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	23.04.2025 23:01:37

— Results —

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 39,2

Loss of Ignition 65,3330 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	2,113 %	0,003 %
16	S	Sulfur	1,487 %	0,003 %
35	Br	Bromine	0,00066 %	0,00002 %
53	I	Iodine	< 0,00059 %	(0,00058) %
30	Zn	Zinc	0,05098 %	0,00025 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	7,5 ppm	0,6 ppm
81	Tl	Thallium	9,1 ppm	0,6 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	1,4 ppm	0,4 ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	1529 ppm	7 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	34,5 ppm	0,8 ppm
82	Pb	Lead	20,5 ppm	0,6 ppm
34	Se	Selenium	3,3 ppm	0,3 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
11	Na	Sodium	0,977 %	0,078 %
20	Ca	Calcium	3,520 %	0,007 %
26	Fe	Iron	0,6426 %	0,0018 %
13	Al	Aluminum	14,84 %	0,11 %
29	Cu	Copper	0,05019 %	0,00031 %
Sum of concentration			23,84 %	

üst kalori = 4319

Alt kalori = 3994

Hidrojen = 5,80

Nem = 2

— Preset Sample Data —

Sample Name	KABLO KIRIĞI SRF 2	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	1,2800
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	24.04.2025 12:36:28
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	24.04.2025 12:36:32

— Results —

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 18,3

Loss of Ignition 53,7981 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	19,88 %	0,02 %
16	S	Sulfur	0,2543 %	0,0021 %
35	Br	Bromine	0,02311 %	0,00008 %
53	I	Iodine	< 0,00030 %	(0,0) %
30	Zn	Zinc	0,04225 %	0,00020 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
81	Tl	Thallium	14,3 ppm	1,3 ppm
51	Sb	Antimony	155,8 ppm	2,4 ppm
33	As	Arsenic	20,3 ppm	3,3 ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	83,8 ppm	1,3 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	17,9 ppm	0,6 ppm
82	Pb	Lead	2826 ppm	5 ppm
34	Se	Selenium	4,0 ppm	0,4 ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	< 5,1 ppm	(1,9) ppm
11	Na	Sodium	3,81 %	0,14 %
20	Ca	Calcium	12,12 %	0,01 %
26	Fe	Iron	0,2242 %	0,0010 %
13	Al	Aluminum	7,10 %	0,11 %
29	Cu	Copper	0,3750 %	0,0007 %
Sum of concentration			44,14 %	

$$\bar{U} = 5237$$

$$A = 4918$$

$$H = 5180$$

$$N_{cm} = 7$$

— Preset Sample Data —

Sample Name	PET KIRIĞI SRF 4	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	2,1600
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	24.04.2025 12:44:19
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	24.04.2025 12:44:24

— Results —

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 7,0

Loss of Ignition 82,4405 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	0,1308 %	0,0003 %
16	S	Sulfur	0,1331 %	0,0004 %
35	Br	Bromine	0,8309 %	0,0007 %
53	I	Iodine	0,00132 %	0,00037 %
30	Zn	Zinc	0,00671 %	0,00008 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
81	Tl	Thallium	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
51	Sb	Antimony	732,1 ppm	2,7 ppm
33	As	Arsenic	< 0,5 ppm	(0,0) ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	36,7 ppm	0,6 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	17,3 ppm	0,7 ppm
82	Pb	Lead	4,2 ppm	0,1 ppm
34	Se	Selenium	< 0,5 ppm	(0,0) ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	15,7 ppm	2,0 ppm
11	Na	Sodium	0,410 %	0,027 %
20	Ca	Calcium	0,4112 %	0,0013 %
26	Fe	Iron	0,1469 %	0,0007 %
13	Al	Aluminium	13,70 %	0,05 %
29	Cu	Copper	0,01184 %	0,00013 %
Sum of concentration			15,86 %	

üst kalori = 5448

AH kalori = 5129

Hidrojen = 5,80

Nem = 1

- Preset Sample Data

Sample Name	ATIK YAĞ NUMUNE	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	0,7800
Method	KÇ SIVI ATIK-2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	25.04.2025 16:59:43
Sample Status	A X X A X X X A	Date of Evaluation	25.04.2025 16:59:46

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 8,1

Loss of Ignition 97,6163 %

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	1696,1794	0,1145 %	0,0003 %
16	S	Sulfur	3869,9631	0,1670 %	0,0003 %
35	Br	Bromine	22,8421	0,00035 %	0,00002 %
53	I	Iodine	0,0000	< 0,00030 %	(0,0) %
30	Zn	Zinc	729,7596	0,03878 %	0,00016 %
48	Cd	Cadmium	0,5086	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	3,7802	2,3 ppm	0,5 ppm
81	Tl	Thallium	6,1931	3,3 ppm	0,4 ppm
51	Sb	Antimony	7,1207	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	13,2106	2,9 ppm	0,3 ppm
27	Co	Cobalt	2,8754	< 9,4 ppm	(4,9) ppm
24	Cr	Chromium	4,8157	< 1,0 ppm	(0,0) ppm
50	Sn	Tin	5,0177	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	76,1570	70,9 ppm	1,0 ppm
82	Pb	Lead	38,4655	17,8 ppm	0,5 ppm
34	Se	Selenium	9,8426	2,2 ppm	0,2 ppm
52	Te	Tellurium	5,5557	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	9,8325	68,0 ppm	4,1 ppm
11	Na	Sodium	23,0671	0,152 %	0,012 %
19	K	Potassium	1,7091	0,0106 %	0,0036 %
26	Fe	Iron	624,8490	0,1481 %	0,0006 %
Sum of concentration				0,65 %	

üst Kalori° = 8640

AİT Kalori° = 8110

Hidrojen = 8,70

Nem = 10

SPECTRO X-LabPro

Job Number: 2025_04

- Preset Sample Data

Sample Name	ÖTL LASTİK NUMUNE	Dilution Material	
Description		Sample Mass (g)	2,0500
Method	KÇ KATI ATIK 2016	Dilution Mass (g)	0,0000
Job Number	2025_04	Dilution Factor	1,0000
Sample Type	Liquid, 24 mm	Sample rotation	No
Sample State	Liquid	Date of Receipt	23.04.2025 23:21:08
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	23.04.2025 23:21:12

- Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att. Coeff. 8,4

Loss of Ignition 86,9274 %

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
17	Cl	Chlorine	0,3038 %	0,0005 %
16	S	Sulfur	2,002 %	0,002 %
35	Br	Bromine	0,2954 %	0,0003 %
53	I	Iodine	0,00203 %	0,00038 %
30	Zn	Zinc	1,776 %	0,002 %
48	Cd	Cadmium	< 2,0 ppm	(0,0) ppm
80	Hg	Mercury	2,0 ppm	0,2 ppm
81	Tl	Thallium	6,9 ppm	0,4 ppm
51	Sb	Antimony	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
33	As	Arsenic	< 0,5 ppm	(0,0) ppm
27	Co	Cobalt	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
24	Cr	Chromium	35,5 ppm	0,6 ppm
50	Sn	Tin	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
28	Ni	Nickel	19,8 ppm	0,8 ppm
82	Pb	Lead	29,6 ppm	0,5 ppm
34	Se	Selenium	< 0,5 ppm	(0,0) ppm
52	Te	Tellurium	< 3,0 ppm	(0,0) ppm
23	V	Vanadium	10,5 ppm	0,7 ppm
11	Na	Sodium	0,352 %	0,022 %
20	Ca	Calcium	0,5602 %	0,0015 %
26	Fe	Iron	0,1248 %	0,0006 %
13	Al	Aluminum	6,615 %	0,039 %
29	Cu	Copper	0,00496 %	0,00012 %
Sum of concentration			12,05 %	

Üst Kalori = 6833

Alt Kalori = 6514

Hidrojen = 5,80

Nem = 1