

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ÇİMENTO SANAYİNDE
YENİDEN KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM YILMAZ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Nusret KARAKAYA

BOLU, EKİM - 2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gizem YILMAZ tarafından hazırlanan “**Endüstriyel Atıkların Çimento Sanayinde Yeniden Kullanımı**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 17/10/2023

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Elçin GÜNEŞ
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Akif ARI
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunubildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....
GİZEM YILMAZ

ÖZET

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ÇİMENTO SANAYİNDE YENİDEN KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM YILMAZ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, EKİM - 2023

XII+62

Endüstriyel atıklar da diğer tüm atıklar gibi üretildikleri andan itibaren son uzaklaştırılması aşamasına kadar çevre ve insan sağlığı için büyük bir sorun olan teşkil etmektedir. Endüstriyel atıkların geri kazanılması sürdürülebilirlik açısından son yıllarda büyük önem taşıyan bir konu haline gelmiştir. Endüstriyel atıkların geri kazanılması ile ilgili birçok yöntem bulunmaktadır. Atıkların yeniden işlenerek yeni ürünlerin üretilmesi en yaygın geri kazanma yöntemidir. Bazı endüstriyel atıklardan enerji üretmek de (yakarak veya biyolojik yöntemlerle işlenerek) mümkündür. Bir diğer geri kazanma yöntemi atıkların içinde yer alan değerli malzemenin geri kazanılmasıdır.

Bu tez çalışmasında; farklı endüstriyel atıkların çimento üretiminde her hangi bir işlemde geçirilmeden hammadde olarak kullanılıp kullanılmamayacağı ele alınmıştır. Bu amaçla 15 farklı endüstriyel atığın içeriği XRF tekniği ile analiz edilmiştir. Atıklarda; SiO_2 (%), Al_2O_3 (%), Fe_2O_3 (%), CaO (%), MgO (%), SO_3 (%), Na_2O (%) ve K_2O (%) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları atıklarda; SiO_2 miktarının %1,44 ile %93,81 arasında, Al_2O_3 miktarının %0,29 ile %70,81 arasında, Fe_2O_3 miktarının %0,13 ile %40,86 arasında, CaO miktarının %0,24 ile %51,31 arasında ve MgO miktarının %0,11 ile %6,31 arasında değiştiğini göstermektedir. Daha sonra çimento üretiminde kullanılacak maksimum atık madde miktarları, ürün kalitesi için kullanılan parametrelerden silikat modülü (SM), kireç standardı (KST) ve alüminyum modülü (AlM) için gerekli standartları sağlayacak şekilde hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sürdürülebilirlik, Endüstriyel atık, Alternatif hammadde, Çimento.

ABSTRACT

REUSE OF INDUSTRIAL WASTES IN THE CEMENT INDUSTRY
MSC THESIS
GİZEM YILMAZ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, OCTOBER 2023

XII+62

Industrial wastes, like all other wastes, constitute a major problem for the environment and humans health from the moment they are produced until the final disposal. Recycling industrial wastes have become an issue of great importance in terms of sustainability in recent years. There have been many methods for recycling industrial waste. Reprocessing waste and producing new products is the most common recycling method. It is also possible to produce energy from some industrial wastes by burning them or processing by biological methods. Another recycling method is the recovery of valuable materials contained in waste.

In this thesis study; it has been discussed that whether different industrial wastes can be used as raw materials in cement production without any processing or not. For this aim, the content of 15 different industrial wastes have been analyzed with the XRF technique. In wastes; SiO_2 (%), Al_2O_3 (%), Fe_2O_3 (%), CaO (%), MgO (%), SO_3 (%), Na_2O (%) and K_2O (%) have been analyzed. Analysis results in wastes show that the amount of SiO_2 is between 1.44% and 93.81%, the amount of Al_2O_3 is between 0.29% and 70.81%, the amount of Fe_2O_3 is between 0.13% and 40.86%, the amount of CaO is between 0.24% and 51.31% the amount of MgO varies between 0.11% and 6.31%. Then, the maximum amount of waste materials that could be used in cement production were calculated to meet the required parameters which are used for product quality standards for silicate modulus, lime standards and aluminum modulus.

KEYWORDS: Sustainability, Industrial waste, Alternative raw materials, Cement.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
FOTOĞRAF LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çimento Üretimi	2
1.1.1 Hammadde Temini ve Hammadde Ocakları	5
1.1.2 Hammadde Stoklama ve Ön Karıştırma	5
1.1.3 Öğütme ve Ayırma	6
1.1.4 Dik Değirmen	6
1.1.5 Isıl İşlem Süreci ve Yakıt Hazırlama.....	8
1.1.6 Yakıt Besleme	8
1.1.7 Ön Isıtma	9
1.1.8 Döner Fırın	9
1.1.9 Klinker Üretimi	10
1.1.10 Klinker Minerali.....	11
1.1.11 Soğutma	12
1.1.12 Çimentonun Hazırlanması.....	12
1.1.13 Üretilen Çimento Çeşitleri	13
1.2 Çimento Üretiminde Kullanılan Malzemeler	13
1.3 Endüstriyel Atıkların Çimento Endüstrisindeki Yeri	15
2. LİTERATÜR ÖZETİ	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
4. BULGULAR	26
4.1 Atıkların Özellikleri.....	26
4.2 Kullanılabilecek Maksimum Atık Miktarları	28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
6. KAYNAKLAR	61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Gelecek yıllardaki tahmini çimento üretim miktarı (Engin, Tarhan ve Kumbaracıbaşı, 2013)	3
Şekil 1.2. Örnek çimento üretim aşamaları (İnovatif Kimya Dergisi, 2017).....	5
Şekil 1.3. Ön karıştırma ünitesi	6
Şekil 1.4. Dik değirmen	7
Şekil 1.5. Dik değirmen öğütme süreci.....	8
Şekil 1.6. Klinker üretim sürecinde ısıtım işlem şeması.....	10
Şekil 1.7. Klinker	14



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Bazı ülkelere ait 2011 yılı çimento üretim miktarları	2
Tablo 3.1. Alternatif hammaddeler	19
Tablo 3.2. Ürün kalitesi için kullanılan parametrelerin değer aralıkları	25
Tablo 4.1. Alternatif hammadde analizlerinin sonuçları	27
Tablo 4.2. 01 05 04 atık kodlu temiz su sondaj çamurları ve atıkları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	30
Tablo 4.3. 01 05 06* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	32
Tablo 4.4. 10 01 03 atık kodlu turba işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	34
Tablo 4.5. 10 01 07 atık kodlu baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	36
Tablo 4.6. 10 02 02 atık kodlu işlenmemiş cüruf için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	38
Tablo 4.7. 10 03 05 atık kodlu atık alüminyum oksit için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	40
Tablo 4.8. 10 09 03 atık kodlu ocak cürufları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	42
Tablo 4.9. 10 09 05* atık kodlu henüz döküm yapılmamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	44
Tablo 4.10. 10 09 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	46
Tablo 4.11. 10 09 09* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	48
Tablo 4.12. 10 09 10 atık kodlu 10 09 09 dışındaki baca gazı tozu için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	50
Tablo 4.13. 10 10 05* atık kodlu henüz döküm yapılamamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	52
Tablo 4.14. 10 10 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu	54
Tablo 4.15. 10 11 03 atık kodlu ccam elyaf atıkları için yapılan simülasyonundegerlendirme tablosu	56
Tablo 4.16. 12 01 16* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri atıkları için yapılan simülasyonundegerlendirme tablosu	58
Tablo 5.1. 100 ton çimento üretiminde kullanılabilir endüstriyel atık miktarları	60

FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. 01 05 04 atık kodlu temiz su sondaj çamurları ve atıkları	19
Fotoğraf 3.2. 01 05 06* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve digger sondaj atıkları	20
Fotoğraf 3.3. 10 01 03 atık kodlu turba ve işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül	20
Fotoğraf 3.4. 10 01 07 atık kodlu baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar.....	21
Fotoğraf 3.5. 10 02 02 atık kodlu işlenmemiş cüruf	21
Fotoğraf 3.6. 10 03 05 atık kodlu atık alüminyum oksit.....	21
Fotoğraf 3.7. 10 09 03 atık kodlu ocak cürufu.....	22
Fotoğraf 3.8. 10 09 05* atık kodlu henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	22
Fotoğraf 3.9. 10 09 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	23
Fotoğraf 3.10. 10 09 09* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu..	23
Fotoğraf 3.11. 10 09 10 atık kodlu 10 09 09 dışındaki baca gazı tozu	24
Fotoğraf 3.12. 10 10 05* atık kodlu henüz döküm yapılamamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	24
Fotoğraf 3.13. 10 10 07* atık kodlu döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	24
Fotoğraf 3.14. 10 11 03 atık kodlu cam elyaf atıkları.....	25
Fotoğraf 3.15. 12 01 16* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren kuşlama maddeleri içeren atıklar	25

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AIM	: Alüminyum Modülü
Al₂O₃	: Alüminyumoksit
CaO	: Kalsiyumoksit
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
EPD	: Environmental Product Declaration
Fe₂O₃	: Demir üç oksit
K₂O	:Potasyumoksit
KST	: Kireç Standardı
m³	: Metreküp
MgO	: Magnezyumoksit
Na₂O	:Sodyumoksit
NO	:Azotmonoksit
NO_x	: Azotoksitler
O₂	:Oksijen
ppm	:parts per million
SiO₂	:Silisyumdioksit
SM	: Silikat Modülü
SO_x	:Kükürtoksitler
SO₃	:Kükürttrioksit
TÇMB	:Türkiye Çimento Mahsülleri Birliği
t/y	: ton/yıl
XRF	: X-ışınları Floresans

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca değerli bilgileriyle bana yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen çok kıymetli danıőmanım Prof. Dr. Nusret KARAKAYA'ya teşekkür ederim.

Tez savunma jürilerim Prof. Dr. Elçin GÜNEŞ ve Doç. Dr. Akif ARI'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez yazma sürecinde gerek bilgi deneyimiyle gerek manevi olarak katkılarından dolayı değerli kardeőim Gıda Mühendisi Merve Gözde ALBAŐ'a teşekkür ederim.

Her türlü maddi manevi destekleri ile yanımda olan değerli eőim Cihan YILMAZ, canım annem Sibel AKTÜRK, canım babam Hüseyin AKTÜRK, ocukluk arkadaőım ve meslektaőım büyük kardeőim evre Yüksek Mühendisi Merve AKTÜRK, miniğim küçük kardeőim Fatma Sena AKTÜRK, canım halam Meliha AKTÜRK ve en değerli hazinem minik kızım Öykü Duru YILMAZ'a teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile birlikte yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, hem ülkemizde hem de tüm dünya çapında insanın çevre üstündeki baskısını hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Bu hızlı gelişmeler beraberinde doğal kaynakların hızla tüketilmesine ve daha fazla atık oluşmasına neden olmaktadır. Elbette ki atık oluşumu; hem miktarı hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Kaçtıoğlu ve Şengül, 2010).

Atık; ülkemizde ilk olarak 1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda "herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" şeklinde tanımlanmıştır (Çevre Kanunu, 1983). Kaynakları bakımından atıkları genel olarak evsel atıklar, endüstriyel atıklar, tıbbi atıklar, zirai ve hayvansal atıklar ve özel atıklar şeklinde gruplara ayırmak mümkündür.

Endüstriyel atıklar kısaca tüm endüstri tesisleri ve çeşitli imalathanelerde ortaya çıkan atıklar olarak tanımlanabilir. Endüstriyel atıklar da diğer tüm atıklar gibi üretildikleri andan itibaren nihai berteraf aşamasına kadar çevre ve insan sağlığı için büyük bir sorun olan teşkil etmektedir.

Endüstriyel atıkların geri kazanılması sürdürülebilirlik açısından son yıllarda büyük önem taşıyan bir konu haline gelmiştir. Endüstriyel atıkların geri kazanılması ile ilgili birçok yöntem bulunmaktadır. Atıkların yeniden işlenerek yeni ürünlerin üretilmesi en yaygın geri kazanma yöntemidir. Bazı endüstriyel atıklardan enerji üretmek de (yakarak veya biyolojik yöntemlerle işlenerek) mümkündür. Bir diğer geri kazanma yöntemi atıkların içinde yer alan değerli malzemenin geri kazanılmasıdır.

Endüstriyel atıkların geri kazanılması, kaynakların korunmasını ve çöp depolama alanlarının gereksiz genişlemesini engeller. Ayrıca, enerji ve su tasarrufunu teşvik ederek çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltır. Geri kazanım aynı zamanda kaynak koruma açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Dünya kaynakları sınırlıdır ve geri dönüşüm, değerli kaynakların israfını önler. Yeni ürünler için gerekli hammaddelerin çıkarılmasını azaltarak ormanların, madenlerin ve diğer doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur. Enerji tasarrufu da endüstriyel atıkların geri kazanılmasının bir başka avantajıdır. Geri dönüşüm, yeni ürünlerin üretimi sırasında enerji tasarrufu sağlar. Hammaddelerin çıkarılması, işlenmesi ve taşınması enerji gerektirir, ancak geri dönüştürülmüş

malzemelerin kullanılması bu süreçleri azaltır. Bu durum da sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur. Ekonomik açıdan bakıldığında, geri dönüşüm ekonomiyeye önemli bir katkı sağlar. Atıkları geri kazanmak ve yeniden kullanmak, yeni iş fırsatları yaratır ve geri dönüşüm endüstrisini destekler.

Bu tez çalışmasında; farklı endüstriyel atıkların çimento sanayinde her hangi bir işlemden geçirilmeden doğrudan hammadde olarak kullanılıp kullanılmamayacağı ele alınmıştır. Bu amaçla 15 farklı endüstriyel atığın içeriği XRF tekniği ile analiz edilmiştir. Daha sonra çimento üretimde kullanılabilecek maksimum atık madde miktarları, ürün kalitesi için kullanılan standartlar (silikat modülü (SM), kireç standardı (KST) ve alüminyum modülü (AlM))kullanılarak hesaplanmıştır.

1.1 Çimento Üretimi

Her türlü yapı sisteminde ve daha farklı uygulama alanlarıyla kullanılan betonun ana bileşeni çimentodur. Endüstriyel olarak bakıldığında Dünya’da yılda üretilen çimento miktarı 2010 yılında tahmini 2.8×10^9 t/y olması beklenir (Topçuk ve Karakurt, 2007).

Tablo 1.1’de 2011 yılında çimento endüstrisinde öncü bazı ülkelerin çimento üretim miktarları verilmiştir.

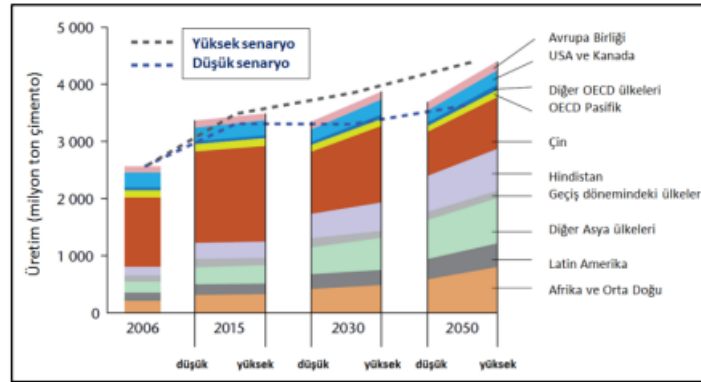
Tablo 1.1. Bazı ülkelere ait 2011 yılı çimento üretim miktarları

Ülke	2011 yılı çimento üretim (10^6)
Endonezya	45,2
Suudi Arabistan	47,0
Güney Kore	48,3
Japonya	51,5
Rusya	56,1
Türkiye	63,4*
Brezilya	63,9
ABD	67,7
Hindistan	223,5
Çin	2063,2
TÇMB verilerine göre 2011 yılı üretimi yaklaşık olarak 68×10^6 dur.	

Dünya’da çimento üretiminin neredeyse yarısı Çin’de yapılmaktadır. Sonra sırasıyla Hindistan, ABD ve Japonya şeklinde sıralanmaktadır. Çimento üretiminde ilk ona giren Türkiye’de ise 2006 senesinde yaklaşık olarak

47x10⁶ üretim meydana gelmiştir. Dünyadaki tüketim artışına paralel olarak çimento endüstrisinin çevreye verdiği zararda artmaktadır. Klinker üretimi sırasında kalsinasyon ve yanma ile ortaya çıkan zararlı CO₂ gazları en önemli çevre sorunlarından biridir (Canpolat ve diğerleri, 2004). Energy Information Administration tarafından yayınlanan raporda inşaat sektörü tüm sektörler içerisinde %39 oranla CO₂ emisyon oranı en yüksek olan sektördür. Günümüzde dünyaya salınan CO₂ emisyonlarının %5'i çimento endüstrisi tarafından üretilmektedir (The Freedonia Group, 2006). Türkiye'de ise toplam CO₂ emisyon oranının %10'unu çimento sektörü üretmektedir. 2008 yılında CEMBUREAU tarafından hazırlanan Environmental Product Declaration (EPD) raporuna göre bir ton çimento üretiminden yaklaşık 899 kg CO₂ açığa çıkmaktadır. CO₂ emisyon oranındaki artış küresel iklim değişikliği olmak üzere pek çok çevresel probleme neden olmaktadır.

Çimento sektörünün neden olduğu CO₂ emisyonunun en temel nedenleri yenilenemeyen fosil kaynakların kullanımı ve kalsinasyon reaksiyonudur. Çimento üretiminde birincil yakıt olarak kullanılan başlıca yakıtlar doğal gaz, fuel oil, petrokok ve linyittir. Ülkemizin enerji ve yakıt ihtiyacının büyük bir bölümünün ithalat ile karşılandığı düşünülürse, fosil yakıt kullanımının hem ekonomik hem de çevresel anlamda dezavantajlı olduğu belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.1. Gelecek yıllardaki tahmini çimento üretim miktarı (Engin, Tarhan ve Kumbaracıbaşı, 2013)

Çevre konusunda giderek artan sorunlarla beraber bilinçlenmede zamanla artmıştır. Bu bilinçle pek çok ülkede çok sıkı yasal düzenlemeler olmuş ve bu da çimento endüstrisine de yeni sorumluluklar yüklemiştir (DPT,2000). Günümüzde

Avrupa'da kullanılan çimentonun %90'ı katkılı şekilde üretilirken ülkemizde kullanılan çimentonun %50'den fazlası CEM I sınıfı olarak adlandırılan Portland çimento olarak üretilmektedir (Collepari, 2006). Çimentoda kullanılacak katkının bir endüstriyel atık olması çevreye verilen zararı azaltacaktır (Yeğınobalı, Ertün, 2004). Çünkü endüstriyel olarak ortaya çıkmış atık ikincil bir hammadde olarak üretime yeniden kazandırılmış olur. Çimentoda kullanılan katkıları, atık geri kazanımıyla çevreye daha az zarar vermesi ve atık geri kazanımı ile sürdürülebilir beton teknolojisi için de büyük bir önem taşımaktadır (Collepari, 2006).

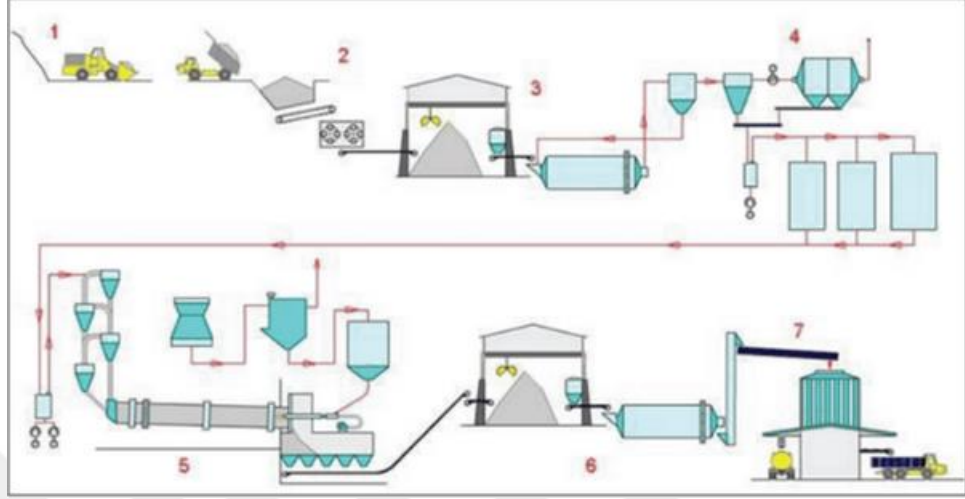
Çimento, kalker ve marn karışımı hammaddelerin pişirilmesi ile ortaya çıkan ve klinker olarak adlandırılan malzemenin az miktarda alçıtaşı ile beraber öğütülmesi sonucunda elde edilen ürün şeklinde tanımlanabilir. Çimentonun yarı mamülü olan klinker; marn ve kalker gibi maddeleri öğütülüp homojenize edilip döner fırınlara beslenmesi ile üretilir. Klinker üretimi, kömür, linyit ve petrol koku gibi birincil yakıtlar kullanılarak yaklaşık 1450°C'lik alüminyum, silisyum ve demir oksitlerden oluşur. Daha sonraki aşama çimento öğütme değirmeninde gerçekleşir. Alçı ve yüksek fırın cürufu, uçucu kömür külü ve kireçtaşı gibi diğer malzemeler klinkere eklenir. Bütün bu bileşenler ince ve homojen olarak öğütülür ve böylece çimento oluşur. Elde edilen bu ürün genellikle gri renklidir. Gri renk, çimento üretiminde kullanılmış olan çok az miktardaki demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammaddenin içeriğinde demir oksit ve mangan oksit kullanılmaz ise üretilen çimentonun rengi beyaz olmaktadır.

Çimento su ile karıştırılıp hamur haline geldikten sonra havada ya da su içerisinde yavaşça katılaşmaya başlar. Bu katılaşma olayı piriz olarak adlandırılır. Normal şartlar altında yani 28°C sıcaklık ve yağmursuz havada, bu katılaşma olayı ilk on dakika içerisinde başlar ve bu durum yalancı piriz olarak adlandırılır. Bir saat civarı bir sürede ise donma olur ve mukavemet artar. Ancak bu olay içinde bulunulan koşullara göre değişiklik gösterebilir.

Çimentonun üretim sürecinde hammadde karışımının pişme işlemine geçilmeden önce, hammaddelerin çok iyi şekilde karıştırılması ve çok ince tanecikler haline getirilerek temas yüzeylerinin mümkün olduğu kadar çok artırılması gerekmektedir.

İstenilen kimyasal bileşende ve uygun incelikte olan en az iki, bazen de dört beş bileşenli olan hammadde karışımının homojen hale gelmesi için içerisine su eklenerek bir çamur elde edilir ve bu çamurun fırına beslenmesi ile yapılan

klinker üretimi yaş sistem üretimidir. Ancak bu süreçte su olması ve suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması aşamasında yüksek enerji kullanılması gerektiği için günümüzde daha az enerji tüketimi gerektiren kuru üretim tercih edilmektedir.



Şekil 1.2. Örnek çimento üretim aşamaları (İnovatif Kimya Dergisi, 2017)

1.1.1 Hammadde Temini ve Hammadde Ocakları

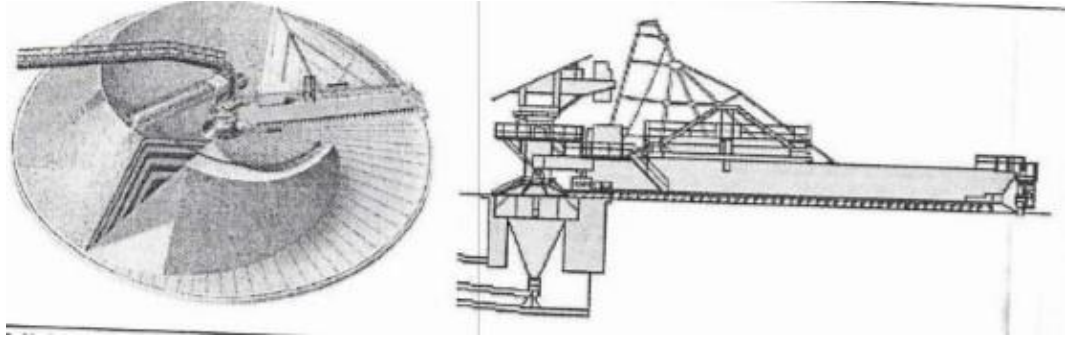
Çimento üretiminin yapılabilmesi ve üretimin devamlı olabilmesi için en önemli öge hammadde ocaklarıdır. Hammadde taşıma işlemleri maliyetli olduğu için hammadde ocağına yakın olmak ve fabrika üretim prosesini de hammadde ocaklarının özelliklerine göre tasarlamak önemlidir.

Çimento fabrikalarına ait ocaklarda hammaddeleri patlatma, iş makinası kullanma yöntemleri ile temin edilmekte ve hammaddeler kamyonlarla bunkere beslenmektedir. Hammaddeler bunkerlerden çelik bantlar aracılığıyla kırıcılara gelir. Kırıcılarda kırılan ve belirli bir tane boyutuna getirilen hammaddeler lastik bantlar vasıtasıyla ön karıştırma ünitesine taşınmaktadır.

1.1.2 Hammadde Stoklama ve Ön Karıştırma

Çimento fabrikasında ön karıştırma ünitesine gelen hammaddelerin hem stoklanmasını hem de ön homojenizasyonunu sağlamaktadır. Kırıcılardan gelen farklı ham maddelerin uygun oranlarda karıştırılarak farin düzenliliği sağlanabilmektedir. Ön karıştırma ünitesinde hammaddeler sabit lastik bant ile daire merkezindeki 360 derece dönen diğer bir bant taşıyıcıya beslenmekte ve ünite etrafında dairesel hammadde yığınları oluşmaktadır. Hem malzemenin yığılması sırasında hem de bankere sıyırıcı taraklar ile yükleme sırasında harmanlama işlemi ile homojen bir karışım elde edilmektedir.

Oluşturulan yığın tabanında sıyrııcı bir zincir bulunan besleyici tarafından alınarak orta merkezdeki yükleme bunkerine taşınmaktadır. Bunkerdeki malzeme tabandaki taşıyıcı ile farin değirmenine beslenmektedir.



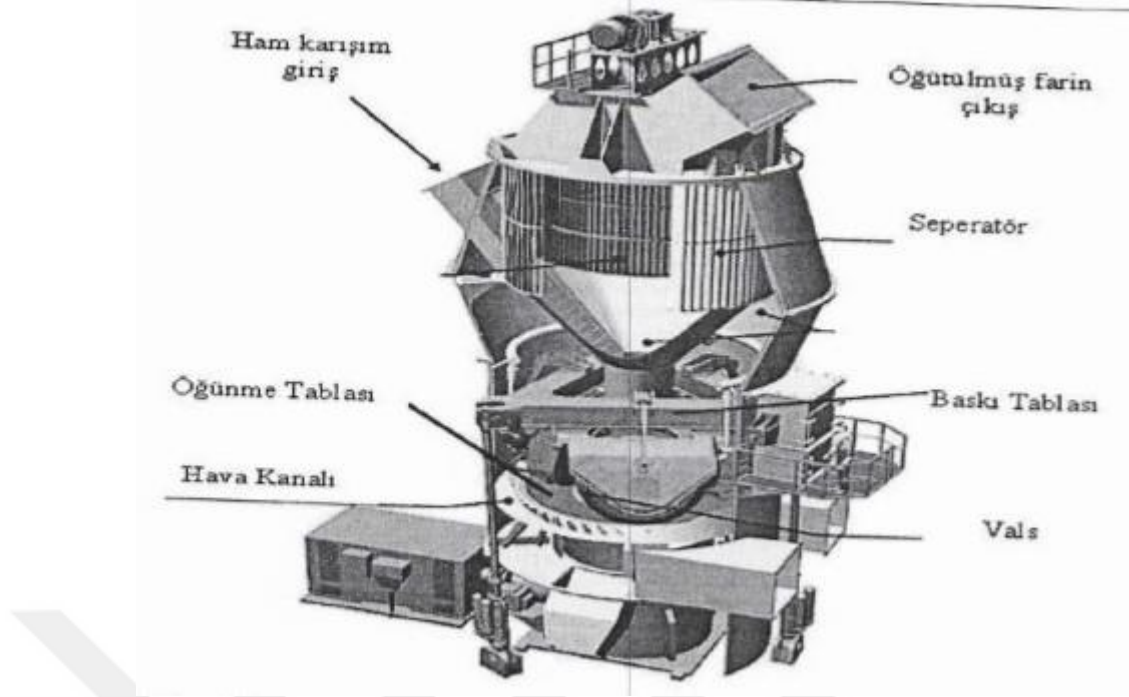
Şekil 1.3. Ön karıştırma ünitesi

1.1.3 Öğütme ve Ayırma

Çimento fabrikası bünyesinde hammaddenin (farin) hazırlandığı değirmen, klinker üretmek için kalker, marn ve demir cevherinin öğütüldüğü valsli değirmenler öğütme işlemini gerçekleştirir. Ayrıca fırında yakıt olarak kullanımı planlanan kömür, petrokok gibi katı yakıtların yakma işlemi için hazırlanması da öğütme işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Öğütme işlemi sonrası hammaddeler cm boyutundan mikron boyutuna dönüşmektedir.

1.1.4 Dik Değirmen

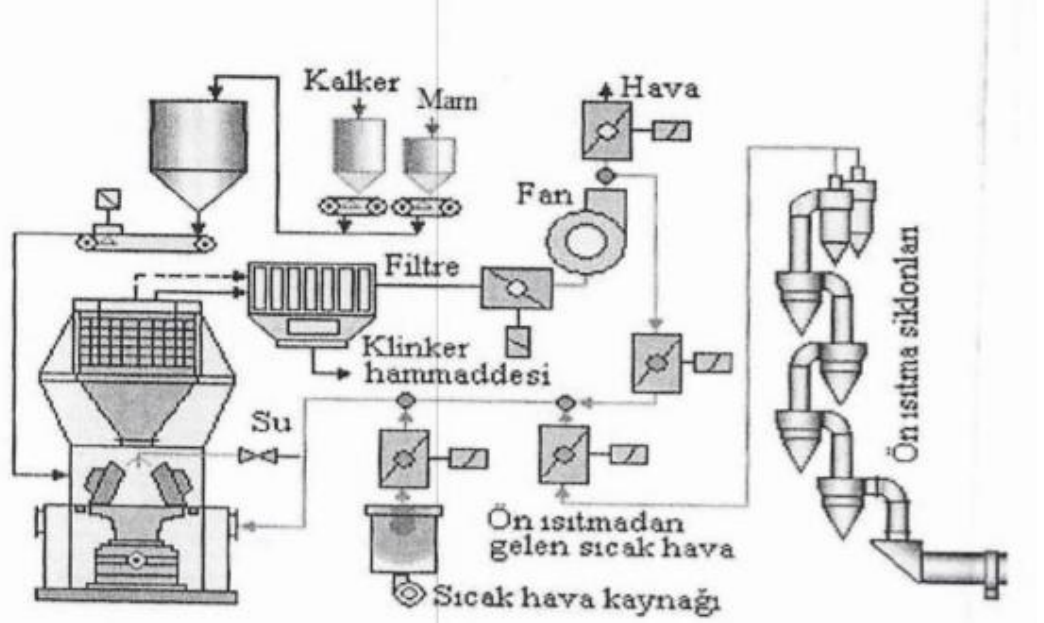
Ön karıştırma ünitesinde harmanlanmış ve homojen olmuş hammadde ve fırına beslenecek hammadde karışımının istenilen titrasyon değerinde olması için düzeltici faktör olarak bunkere beslenen (2 adet) stokholde stoklanan hammaddeler istenilen titrasyon değeri belirlenmiş ve ayarlanmış olarak tartılı besleyici ile farin değirmenine bantlarla beslenmektedir.



Şekil 1.4. Dik değirmen

Dik değirmenler dinamik ya da statik sınıflandırıcılar olan seperatörler ile birlikte çalışıp etkin olarak öğütülen malzemeyi kurutma, ayırma işlemini bir arada yapmaktadır. Dik değirmende öğütücü rololar sabit veya hareketli bir tabla üzerinde dönmekte, arada kalan malzeme sıkışıp ezilerek öğütülmektedir. Öğütülen malzeme tabla üzerinden taşıdığı hava ile süpürülerek değirmenin üst kısmında yer alan sepatöre gitmektedir. Gerektiğinde malzemeyi kurutmak için hava yerine sıcak gaz da verilmektedir. Öğütülen malzeme siklonda ayrılmakta, ince öğütülmüş malzeme bir sonraki aşamaya gönderilirken, iri tanelerin öğütülmesi için tekrar değirmene beslenmektedir. Öğütme işlemi sırasında tutulan çok ince tozlar torbalı filtreden geçirilerek sisteme geri verilmektedir.

Öğütülen malzeme (farin); döner fırına beslenmek üzere lastik bant ve elevatör yardımıyla farin silosuna taşınmaktadır. Kaliteli klinker üretimi için farinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Bu da ön karıştırma ve öğütme sonrası farinin homojenleştirilmesi ile sağlanmakta, bu nedenle farklı karıştırma sistemine sahip farin siloları geliştirilmiştir.



Şekil 1.5. Dik değirmen öğütme süreci

1.1.5 Isıl İşlem Süreci ve Yakıt Hazırlama

Çimento fabrikalarında yakıt olarak; kolay bulunabilir olması, fiyatında ani değişiklikler olmaması gibi nedenlerle genellikle kömür ve petrol türevi olan petrokok kullanılmaktadır. Kömür öğütülerek kullanılmaktadır ve öncesinde sıcak fırın gazı ile kurutulmaktadır. Kömür kurutulmasında ID fan çıkış havası kullanılabilir. Kömür değirmeni olarak çimento değirmenine benzer yapıda bilyeli değirmen kullanılmakta ve öğütülen kömürün boyut kontrolü için seperatör ile birlikte çalışmaktadır. Kaba partiküller öğütmeye geri gönderilirken, çok ince olan tozlar torbalı filtrelerle tutularak sisteme geri kazandırılmaktadır.

Kömürün yanması sonucu geride kalan kül klinkere karışmaktadır. Miktar olarak yakılan kömürün yaklaşık %25'i kül olarak klinkere karıştırılabilmektedir. Bu nedenle hammadde karışımı hazırlanırken kömür külünden gelebilecek bileşenler de hesaplamalarda göz önüne alınmalıdır. Kömürün içerisinde kükürtün oranı da önemlidir. Kükürt korozyonu arttırmakta, fırında ve siklonlarda kabuki oluşumuna neden olmakta, çimento yapısına girmektedir.

1.1.6 Yakıt Besleme

Yakıtın yakılması için brülör olarak da bilinen yakma borusu kullanılmaktadır. Kullanılan yakıtı göre yakma borusunda, fırın önündeki yakıt besleme ünitelerine bağlı kanallar da değişiklik göstermektedir. Yakıt kanallarının cidarlarındaki kanallardan fanlarla belirli basınçta birincil yakma havası verilmektedir. Bu havayla fırında yakılan yakıttan elde edilen alevin şekli

ayarlanmakta, yanma için ortama gerekli oksijen sağlanmaktadır. Yakma sisteminin fırın içinde kalan kısmı refrakter kaplıdır.

Klinker üretim sürecinde 3 farklı kaynaktan hava girmektedir. Birincil hava yakma sistemi fanları tarafından, yakma borusu içinden gönderilen ve yanmayı sağlayan alev şeklinin de ayarlandığı hava, ikincil hava sıcak klinkerin soğutulmasında kullanılan fanların bastığı atmosfer havasıdır. Bu hava klinker yatağından ısınarak fırına girmektedir. Üçüncü hava da yine soğutucudan ayrı bir kanal ile alınan ön ısıtma ve siklonlarda kullanılan havadır.

1.1.7 Ön Isıtma

Farin silosundan ön ısıtma siklonlarına beslenen farinin burada döner fırına girişinden önce nemin kaybolması, içerisindeki kristal suyun kaybolması ve içerisindeki karbondioksitin uzaklaştırılması için ön ısıtma sistemlerinden geçirilerek döner fırına beslenmektedir. Ön ısıtma siklonlarının gerekli ayırmayı yapabilecek kapasitede seçilmiş olması, fırından çıkan havanın siklonlarda aşırı bir dirençle karşılaşmamasına, siklon açıklıklarının malzemenin aşısını sağlayacak boyutta olması önemlidir. Siklonların iç yüzeyleri ısı kaybı ve aşınmaya karşı dayanıklı refrakter tuğlalar ile örülüdür. Böylece siklonlar daha uzun ömürlü ve düşük ısı kayıplı olarak uzun süre kullanılırlar.

Ön ısıtma siklonlarında sıcak fırın çıkış havası kullanılmaktadır. İki, üç, dört, beş ve altıncı kademelerde I 'er adet siklon bulunmaktadır. Her siklon birbirine gaz kanalları ile bağlıdır. Belirli hız ve basınçla gaz kanalları vasıtasıyla siklona giren sıcak hava siklonu üst akımı olarak yukarı, farin de alt akımı olarak aşağı yönde hareket etmektedir. Farin 2.siklonun dalma borusundan beslenir ve altı siklon kademesinden geçerek fırına 5 ve 6. siklon bağlantılarıyla intikal kamarasından döner fırına beslenmektedir. Ayrıca sistemde torba filtreli toz tutucu da mevcuttur.

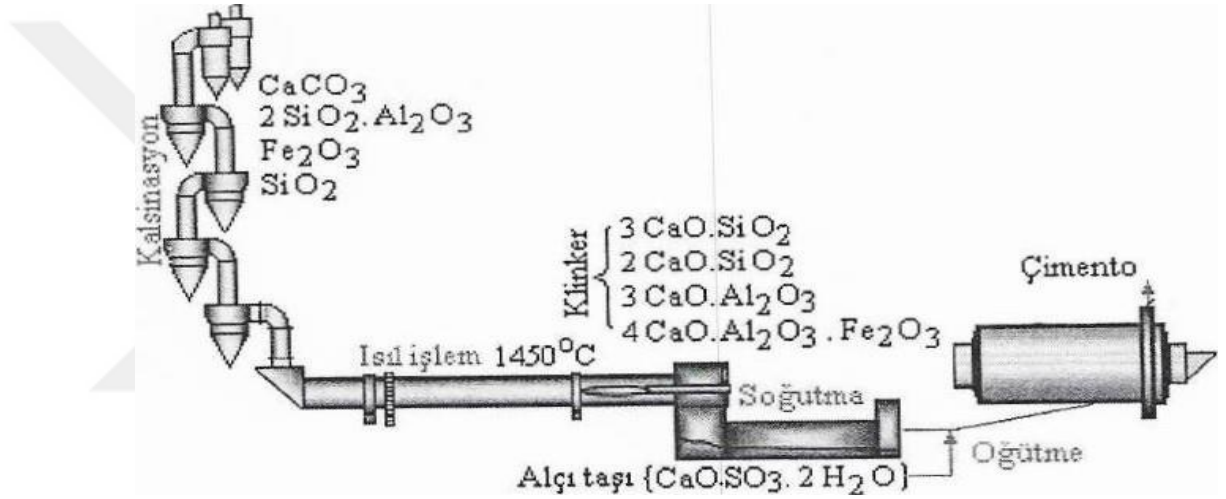
1.1.8 Döner Fırın

Ön ısıtıcı siklonlarda belirli oranda kabine olmuş farin döner fırına beslendikten sonra, yakılan yakıt ile birlikte döner fırında klinkerleşme reaksiyonları gerçekleşmektedir. Fırın içerisinde klinkerleşme 1450°C civarında sinter bölgesinde meydana gelmektedir. Yaklaşık 1000°C'deki klinker döner fırından soğutucuya dökülmektedir. Döner fırının ana bileşenleri; Giriş bölgesi, Kalsinasyon bölgesi, Üst geçiş bölgesi, Sinter bölgesi, Alt geçiş bölgesi, Yanma bölgesi ve Soğutma bölgesinden ibarettir. Döner fırının iç yüzeyi dayanıklı

refrakter tuğlalar ile örülü olmalıdır. Refrakter tuğlaların zamanla aşındığı (10 cm'lik aşınma) ve bu aşınma sonucu refrakter tuğlanın aşınan kısmının klinker içerisine karıştığı bildirilmektedir.

1.1.9 Klinker Üretimi

Çimento yarı mamulü olan klinker, kalker, marn ve demir cevheri gibi maddelerin öğütülüp homojenize edilerek döner fırınlara beslenmesi ile üretilir. Klinker, temel olarak kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden oluşur. Klinker üretimi, kömür, petrol koku, linyit gibi birincil yakıtlar kullanılarak, yaklaşık 1450°C'lik malzeme sıcaklığında gerçekleşir ve yeni bileşenler oluşur. Klinker üretiminde ısıl işlem bölgeleri; kurutma, ön ısıtma, kalsinasyon, geçiş, sinter ve soğutma bölgelerinden oluşmaktadır.



Şekil 1.6. Klinker üretim sürecinde ısıl işlem şeması

Kurutma bölgesi olarak isimlendirilen siklon sisteminin en üst siklonlarında farinin içerisinde bulunan yüzey suları yaklaşık 100°C'de buharlaştırılmaktadır. Kalsinasyon bölgesinde, 500°C civarında farin içerisinde bulunan kristal suları ayrılmakta ve marnın içerdiği silikat mineralleri yapısal değişikliğe uğramakta, yaklaşık 600-900°C' de karbonatlı bileşiklerden karbondioksitin ayrışması ile karbonatların ayrışması tamamlanmaktadır. Kalsinatörlü sistemlerde kalsinasyonun %90-95'i döner fırın öncesinde gerçekleşmektedir. Geçiş bölgesinde, sıcaklık 900°C'yi geçtiğinde kristal suyunu kaybeden kil mineralleri, 900-1000°C sıcaklıklar arasında bozularak Al_2O_2 ve SiO_2 gibi oksitlere dönüşmektedir. Bu bölge kalsinasyon bölgesinin devamı olarak da kabul edilebilir. Farin hala ergimemiştir. 1000-1100°C arasında (C_2AS) gibi geçici bileşikler oluşurken, 1100-1200°C arasında trikalsiyumalüminat (C_3A) ve

tetrakalsiyumalüminaferrit (GAF) oluşumu büyük ölçüde tamamlanır. Bu iki bileşen klinkerin ısıtılma sürecinde ergimesini kolaylaştırmaktadır. Katı fazın bu aşamasında oldukça fazla miktarda serbest kireç oluşur. Yaklaşık 1200°C'de anca kalsiyum oksit ile silisyum dioksit reaksiyona girerek dikalsiyum silikatı (C_2S) ($2CaO.SiO_2$) oluşturabilir. Sinter bölgesinde, üretim sıcaklığı en yüksek seviyededir. 1250-1300°C'de hammadde karışımının %20-30'u sıvılaşma göstermektedir, (C_3A) ve (C_4AF) fazları bu sıcaklıklar arasında sıvı fazı oluşturmaktadır. Burada klinker oluşumunu gerçekleştiren esas reaksiyonlar gerçekleşir. Sıvılaşma olayının başlangıcında serbest CaO içeriği henüz çok yüksektir. Çünkü silisyum dioksitin tümü dikalsiyum silikat oluşumu için tüketilir. Sıvı fazda CaO ile C_2S birleşerek C_3S ($3CaO.SiO_2$) (trikalsiyum silikat)'ı meydana getirir. Bu aşamada sistemin kısmen eriyik halde olması reaksiyon bileşenleri arasındaki difüzyonu kolaylaştırır. Bu reaksiyon sonucu serbest kirecin konsantrasyonu 1280°C'den sonra önemli miktarda azalır. C_3S oluşumu 1450°C'de tamamlanır. Tamamlanan reaksiyonlar sonucunda ortaya birbirinden farklı özellikteki ana bileşenler çıkmaktadır. Klinkerin yapısı artık bu ana bileşenlerden oluşmaktadır.

1.1.10 Klinker Minerali

C_3S (Alite- $3CaO.SiO_2$): Oluşması için sinterleşmenin olması gereklidir. Klinkerin ana mineralidir ve mukavemet yönünden çok önemlidir. Normal Portland Çimentosu klinkerinde C_3S 'in % 58-64 arasında olması gerekmektedir, Klinkerde C_3S %65 den fazla ise pişme zorluğunun yanı sıra çimento dayanımı da düşük olmaktadır. İlk günlerdeki priz ve sertleşme üzerinde etkisi olan en aktif bileşendir.

$\check{C}S$ (Belit- $2CaO.SiO_2$): Klinkerin yaklaşık olarak %15'i Belit'tir. Basınç dayanımı artışına etkisi yavaştır, ama uzun vadede (1 yıl) C_3S aynı mukavemete ulaşır.

C_3A ((Selit(Alüminat)- $3CaO.Al_2O_3$)): Klinkerin yaklaşık %11'i Alüminat'tır. Sülfatlarla tepkimeye girerek hacim genişlemesine sebep olmaktadır. Suyla çok hızlı tepkir. Bu nedenle suyla hızlı tepkime vermesinin yaratacağı olumsuzlukları gidermek için bütün çimentolara %3-6 arasında alçıtaşı katılmaktadır.

C_4AF (Ferrit- $4CaO.A_1_2O_3.Fe_2O_3$): Klinkerin yaklaşık olarak %8'i Ferrit'tir. Çimentoya rengini veren mineraldir. Basınç dayanımına katkısı azdır.

Klinker bu dört ana oksitten başka az miktarda serbest kireç –CaO, MnO kükürtlü bileşikler içermektedir.

Klinker içerisinde bulunan MgO miktarı klinkerin soğutma hızıyla orantılıdır. MgO büyük kısmı C₃A ile C₄AF fazları içine girmekte, böyle bir klinkerden üretilen çimentodan elde edilen betonlarda genleşmeye sebep olarak beton mukavemetini etkilemektedir. Hammaddenin içerdiği sodyum ve potasyum sülfat ile klorürler fırında yüksek sıcaklıklarda uçucu hale gelip ortamdaki havaya karışmakta ve ortamı terk edemeden sıcaklığın düştüğü şiklonlarda ve fırın giriş bölgesinde yoğunlaşıp çökelmeleri sonucunda bu bölgelerde kabuk oluşturmaktadır. Kabukta üretim sürecinde sorunlar yaratmaktadır.

1.1.11 Soğutma

Fırından klinker yaklaşık 1000 °C civarında soğutucuya dökülmekte, yaklaşık 100 °C altında soğutmayı terk etmektedir. Klinker soğutucuda sıcak yatağın altından fanlar yardımıyla atmosfer havasının üflemesi ile soğutulmaktadır. Soğutucudan alınan ısınmış hava fırında, ön ısıtmada, kalsinasyonda, kömür ve hammadde kurutulmasında kullanılmaktadır. 1250°C altında C₃S fazı dengesiz ve C₂S ve CaO'e dönüşme eğilimindedir. C₂S kristal yapısı C₃S' e göre daha büyük ve dayanımı da C₃S' e göre daha düşüktür. Klinkerin ani soğutulması ile bu dönüşüm engellenmekte, öğütülmesi kolay olan küçük kristaller olan C₃S formu korunmakta ve bu klinkerden daha yüksek mukavemetli çimento üretilebilmektedir. Soğutma çıkışında klinker konkasörden geçirilerek stok alanına alınmaktadır.

Klinker, sinter sıcaklığından 1250°C' nin altına çok hızlı, sonra da sıvı fazın cam fazı oluşturmadan, çok küçük kristalli, su ile hızlı tepkimeye girmeyecek C₃A oluşumunu sağlayacak bir hızda soğutulmalıdır.

1.1.12 Çimentonun Hazırlanması

Çimento, kalker, marn ve demir cevheri karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve klinker olarak adlandırılan malzemenin, çok az miktarda alçıtaşı ve diğer malzemeler (yüksek fırın cürufu, uçucu kömür külü, doğal puzolan, kireçtaşı vb.) ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen ürün olarak tanımlanır. Bir sonraki aşama, çimento öğütme değirmeninde gerçekleşir.

1.1.13 Üretilen Çimento Çeşitleri

Çimento değirmeninden elde edilen ürün elevatör ve havalı bantlarla çimento silolarına gelir. Sistemde bulunan 4 adet 2500 ton kapasitede beton çimento silosundan; şu an itibariyle ikisi CEM I, ikisi CEM IV silosudur. Döner kantar aracılığıyla sling bag, big bag, kraft, pp ve ayrıca dökme kantarları aracılığıyla da CEM I dökme olarak satışa sunulmaktadır. Üretilen çimentolar; genel amaç için her türlü inşaat, her türlü betonarme yapılar, yüksek yapılar, yol kaplamaları, kaldırım betonları, yer betonları, kayar-kalıp sisteminin kullanıldığı yapılar, genel olarak prefabrik betonarme elemanların üretimi, köprüler ve viyadükler, demiryolu traversleri, sanat yapıları (viyadük, alt geçit, üst geçit), su depoları, beton ve betonarme borular, beton briket üretimi, tünel kalıp uygulamaları, ön germeli betonlar, duvar ve sıva işleri vb. alanlarda kullanılmaktadır.

CEM I 42,5 R olarak adlandırılan Portland çimentosu ülkemizde en çok kullanılan çimento çeşitidir. Bu çimentonun tercih edilmesindeki başlıca sebep erken dayanım kazanma özelliği, hızlı priz alması ve kullanım alışkanlığıdır. 2011 yılında ülkemiz piyasasından kullanılan çimentonun yaklaşık %60'ı bu çimentodur. CEM I 42,5 R çimentosunun %95 klinker içermesi performansını etkileyen husustur.

Klinker/çimento oranında klinker miktarını azaltmak sürdürülebilir üretim için önemlidir. Bu oranın düşürülmesi klinkerin yerine başka malzemeler konması ile mümkündür. TS EN 197-1 Standard'ına göre 27 adet genel çimento cinsi bulunmaktadır. CEM I 42,5 cinsi çimento hariç diğer çimento cinsleri yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi ikincil bağlayıcı malzemeler içermektedir. Tüm Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de çimento sektörü katkılı çimento kullanımının artması için piyasaya yeni ürünler arz etmektedir.

1.2 Çimento Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Çimentonun ana hammaddeleri klinkerdir. Klinker, kalker ve marn hammaddelerinin pişirilmesiyle ortaya çıkmış olan yarı mamul hammadde olarak tanımlanabilir. Çimentonun ara maddesi olan klinker üretiminde üretilmek istenen çimento cinsine göre demir cevheri, kum, boksit vb. yardımcı malzemeler de ilave olarak kullanılabilir. Klinker, kalker, demir cevheri ve kilin birlikte öğütülmesi ile oluşan farin tozunun 1400-1450 °C'de döner fırında pişmesi

sonucu oluşan granül yapıdaki malzemelerdir. Bu malzemeler hammadde ocaklarından temin edilebilmektedir.

Çimento yarı mamülü olan klinker; üretilmek istenen çimento çeşidine göre kalsiyum oksit, silisyum oksit, alüminyum oksit, demir oksit ve çeşitli bileşenleri içermektedir.



Şekil 1.7. Klinker

Çimentoyu kullanılan malzemelere göre gruplandırılacak olursak;

- Karbonatlı hammaddeler, marn, kalker(kireç taşı), marnlı kalker, tebeşir, mermer.
- Killi hammaddeler, kil, kil taşı, şeyl, curüf, uçucu küller, killi şist, alüminyum cevheri atıkları, kaolin.
- Demirli hammaddeler, demir cevheri (genellikle hematit), Demir oksit ve pirit külü.
- Silisli hammaddeler, kalsiyum silikat, kum, kuvarsit, diyatomit, pozolanik topraklar.

Çimento üretiminde kullanılan malzemeler maden ocaklarından çıkartılabildiği gibi endüstrilerde ortaya çıkan endüstriyel atıklardan da temin edilebilmektedir. Hem böylece endüstriyel atıkların geri kazanımı sayesinde sürdürülebilir bir yönetimle çevresel olarak faydalı bir adım atılmış olur hem de çimento endüstrisi daha ekonomik olarak kullanacak hammaddeye ulaşmış olur.

1.3 Endüstriyel Atıkların Çimento Endüstrisindeki Yeri

Çimento endüstrilerinde kullanılan yakma sistemleri için de hem fosil kaynakların kullanımını azaltmak hem de daha ekonomik kaynak yerine geçebilecek yakıt olarak alternatif yakıtlar kullanılabilir. Çimento üretim tesislerinde; 20.06.2014 tarih ve 29036 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği kapsamında alternatif maddeler kullanılabilir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Hammaddenin en fazla kullanıldığı sektörlerden biri inşaat sektörüdür. Bu sektörün kullanımının en fazla olduğu malzemeleri beton, ahşap, alüminyum, asfalt ve demir şeklinde sıralayabiliriz (Gürer vd., 2004). Beton diğer malzemelere kıyasla sahip olduğu avantajlar sebebiyle dünyada kullanılan en yaygın olan yapı malzemesidir (Achterbosch vd., 2003). Betonun bu denli tercih edilen popüler ürün olma nedeni mükemmel mekanik özelliklere sahip olması ve hesaplı olmasıdır (Porto ve Fernandes, 2006) (Wehenpohl vd., 2006). Bunun haricinde farklı boyut ve formlarda da üretimi yapılabilmektedir.

Dünya çapında yılda 6 milyar ton konvansiyonel beton üretimi yapıldığı tahmin edilmektedir. Betonda çimentonun tek bağlayıcı olması, yük taşıyabilecek katı madde oluşturması çimentonun en önemli rolüdür. Sıradan çimento olarak adlandırılan Portland çimento 200 yılı aşkın betonun önemli bir bileşeni olarak kullanılmaktadır (Alves, 1993).

2011 yılı verilerine göre en büyük beton üreticisi ülkeler sırasıyla Çin, Hindistan ve ABD olarak sayılabilir (Tarhan vd., 2013).

Dünya’da yenilenemeyen kaynaklarının hızla tükenmesi ve 21. yüzyılda enerji tüketiminin artması önemli bir problemdir. Çimentoya olan talebin sürekli artması, çimento üretiminde kullanılan kireçtaşının kullanımında da artışa sebep olmuştur (Hashimoto vd., 2010) (Kookos vd., 2011). Maden sektörü ve taş ocakçılığının bu denli fazla faaliyet göstermesi nedeniyle, gelecekte yenilenemeyen kaynaklar azalacaktır. Yenilenemeyen kaynaklar sınırlıdır ve çıkarıldıktan sonra yenilenmez. Doğal kaynakların sürekli kullanımı küresel iklim değişikliği ve biyolojik çeşitlilikte azalma gibi kalıcı problemlere sebep olmaktadır (Strazza vd., 2011). Çimento üretiminin devam etmesiyle enerji tüketimi ve çevre kirliliği gibi sorunlarda devam edecektir.

Çimento üretimi için gerekli hammaddelerin ve alternatif yakıtların kullanımını büyük önem arz etmektedir. Alternatif yakıt kullanımı 1980 yılı ortalarında başlamıştır. Alternatif yakıt olarak kullanılmış lastikler, kanalizasyon çamurları, hayvan artıkları, geri kazanılmış katı atıklar ve atık yağlar çoğunlukla kullanılan malzemelerdir. Atıktan türetilmiş bu yakıtlar, hava yoluyla ya da mekanik olarak işlenmiş yani ön işlemden geçirilmiş malzemelerdir. Atıktan türetilmiş yakıtlar plastik, folyo, kağıt, kauçuk ve tekstil ürünlerinden oluşmakta

olup yabancı mineral maddeler ya da metalde barındırabilmektedir. Çimento endüstrisinde fırınlarda alternatif yakıt yakma işlemi geçmişte kullanıldığı gibi halen devam etmektedir (Schneider vd., 2011).

Klinker üretiminde temel hammaddeler kireçtaşı, kil veya bunun doğal bir karışımı olan marndır. Alternatif hammaddeler genellikle düzeltici ve tamamlayıcı malzemeler olarak kullanılmaktadır. Kaynak verimliliği açısından değerlendirildiğinde beton geri dönüşüme uygun bir malzemedir. Betonun geri dönüşümü için donatıdan ayrılması gerekmektedir ve yeni betonlarda çimento hammadde olarak kullanılabilir (Hendriks vd., 1998).

Çimento endüstrisinin ilerleyen süreçlerde karşılaşacağı olasılıklardan biri doğrudan ya da endüstrilerden kaynaklı atıkları yan ürün olarak alternatif hammadde olarak kullanmaktır. Buna katı atık yakma tesislerinden çıkan taban külünü örnek verebiliriz (Schneider vd., 2011).

Kırılmış beton parçaları, filtre artıkları, katı atık yakma tesisi ürünü olan taban külü ve kağıt külü gibi endüstriyel atıklar klinker üretiminde tamamlayıcı alternatif hammadde olarak kullanıma uygun malzemelerdir.

Endüstrilerde çoğu atık yapı malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu halde genellikle düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Çimento endüstrisinde atıkların geri kazandırılması maliyetlerin ve üretilen CO₂ emisyonlarının azaltılması açısından önemlidir. Çimento endüstrisinde klinker yakma aşamasında alternatif yakıt olarak da tamamlayıcı madde olarak alternatif hammadde olarak da kullanılabilir. Hammadde olarak kullanımında ki amaç klinker üretiminde kullanılan hammadde miktarını azaltmak, alternatif hammaddelerle ana hammaddelerin yerini tutmaktır. Alternatif hammadde olarak kullanımda hammadde kullanım miktarındaki azalma ve alternatif hammaddenin bağlayıcı özelliğinden faydalanmak açısından önem arz etmektedir. Alternatif hammaddelerin kullanımındaki bu denli faydalar yanında yüksek su talebi ve zararlı bileşenlerin varlığı nedeniyle kullanımında bazı zorluklarda mevcuttur. Mevcut bu olumsuzlukları dengelemek için atık maddelerin yani alternatif hammaddelerin harmanlanması dezavantajları dengelemektedir. Burada önemli olan husus hangi maddelerin birleştirilebildiği ve sadece atıklardan oluşan karışımın mümkün olup olmadığıdır (Barthel vd., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çimento üretimi için gerekli hammaddeler kalker, demir cevheri, alçı taşı ve kildir. Bu hammaddeler maden ocaklarından temin edilmektedir. Bütün bunların üretimi ve nakliyesi esnasında enerji ve yakıt tüketimi meydana gelmektedir.

Çimento üretim tesislerinde; 20.06.2014 tarih ve 29036 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği kapsamında yer alan, hammadde olarak kullanılabilen atık kodları, atık isimleri ve analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir. Söz konusu atıkların fotoğrafları ise Fotoğraf 3.1 ile Fotoğraf 3.15 arasında sunulmuştur.

Çimento üretiminde hammadde olarak kullanılabilen atıkların kimyasal kompozisyonu Bolu İli’nde faaliyet gösteren birçimento fabrikasında XRF tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Atıklarda; SiO_2 (%), Al_2O_3 (%), Fe_2O_3 (%), CaO (%), MgO (%), SO_3 (%), Na_2O (%) ve K_2O (%) analizleri yapılmıştır.

Tablo 3.1. Alternatif hammaddeler

Atık Kodu	Atık İsmi
01 05 04	Temiz su sondaj çamurları ve atıkları
01 05 06*	Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve digger sondaj atıkları
10 01 03	Turba ve işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül
10 01 07	Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar
10 02 02	İşlenmemiş cüruf
10 03 05	Atık alüminyum oksit
10 09 03	Ocak cürufları
10 09 05*	Henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları
10 09 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu
10 09 10	10 09 09 dışındaki baca gazı tozu
10 10 05*	Henüz döküm yapılamamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları
10 10 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları
10 11 03	Cam elyaf atıkları
12 01 16*	Tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri içeren atıklar

* Tehlikeli atık



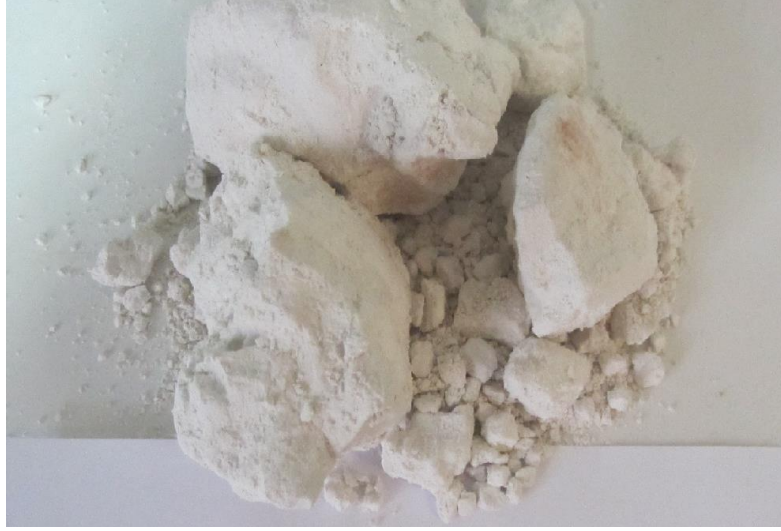
Fotoğraf 3.1. 01 05 04 atık kodlu temiz su sondaj çamurları ve atıkları



Fotoğraf 3.2. 01 05 06* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları



Fotoğraf 3.3. 10 01 03 atık kodlu turba ve işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül



Fotoğraf 3.4. 10 01 07 atık kodlu baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar



Fotoğraf 3.5. 10 02 02 atık kodlu işlenmemiş çürüf



Fotoğraf 3.6. 10 03 05 atık kodlu atık alüminyum oksit



Fotoğraf 3.7. 10 09 03 atık kodlu ocak cürufu



Fotoğraf 3.8. 10 09 05* atık kodlu henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları



Fotoğraf 3.9. 10 09 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları



Fotoğraf 3.10. 10 09 09* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu



Fotoğraf 3.11. 10 09 10 atık kodlu 10 09 09 dışındaki baca gazı tozu



Fotoğraf 3.12. 10 10 05* atık kodlu henüz döküm yapılamamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları



Fotoğraf 3.13. 10 10 07* atık kodlu döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları



Fotoğraf 3.14. 10 11 03 atık kodlu cam elyaf atıkları



Fotoğraf 3.15. 12 01 16* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri içeren atıklar

Çimento üretiminde kullanılacak maksimum atık miktarı hesaplarında Tablo 3.2’de verilen silikat modülü (SM), kireç standardı (KST) ve alüminyum modülü (AIM) parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Ürün kalitesi için kullanılan parametrelerin değer aralıkları

Parametre	Aralık
AIM (Alüminyum Modülü)	1,1-1,6
SM (Silikat Modülü)	2,1-2,6
KST (Kireç Standardı)	95-100

Ürün kalite parametrelerinin formüllerin aşağıdaki şekildedir;

- $AIM = (Al_2O_3 / Fe_2O_3)$
- $SM = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$
- $KST = CaO / (2,8SiO_2 + 1,15Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3)$

4. BULGULAR

4.1 Atıkların Özellikleri

Çimento üretiminde kullanılacak atıklara ait analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Analiz sonuçları atıklarda; SiO₂ miktarının %1,44 ile %93,81 arasında, Al₂O₃ miktarının %0,29 ile %70,81 arasında, Fe₂O₃ miktarının %0,13 ile %40,86 arasında, CaO miktarının %0,24 ile %51,31 arasında ve MgO miktarının %0,11 ile %6,31 arasında değiştiğini göstermektedir.

Tablo 4.1. Alternatif hammadde analizlerinin sonuçları

Atık Kodu	Atık İsmi	Rutubet (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
01 05 04	Temiz su sondaj çamurları ve atıkları	18,46	44,28	10,98	6,53	11,53	3,89	1,67	0,91	1,12
01 05 06*	Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve digger sondaj atıkları	14,21	49,52	12,37	7,86	9,56	2,87	1,11	1,21	1,52
10 01 03	Turba ve işlenmiş odundan kaynaklanan uçucu kül	0,28	61,37	16,88	8,43	5,37	1,85	0,24	1,89	2,84
10 01 07	Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar	42,31	1,44	0,29	0,13	51,31	0,85	0,11	0,09	0,18
10 02 02	İşlenmemiş cüruf	1,98	13,89	2,74	44,87	34,22	0,65	0,04	0,24	0,16
10 03 05	Atık alüminyum oksit	8,45	3,48	70,81	1,41	5,11	0,41	5,69	3	0
10 09 03	Ocak cürufları	1,02	38,37	8,45	39,11	6,34	1,18	0,01	0,74	0,52
10 09 05*	Henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	0,59	88,14	5,21	2,47	0,89	0,24	-	0,18	0,25
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	0,48	86,49	6,57	3,12	1,11	0,19	-	0,1	0,18
10 09 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	0,19	72,19	18,17	6,59	0,56	1,14	0,44	0,07	0,33
10 09 10	10 09 09 dışındaki baca gazı tozu	0,11	93,81	2,46	1,86	0,24	0,38	0,51	0,1	0,16
10 10 05*	Henüz döküm yapılamamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	0,21	87,46	5,99	2,99	0,38	0,19	-	0,17	0,28
10 10 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	0,18	89,27	4,68	1,58	1,1	0,11	-	0,29	0,35
10 11 03	Cam elyaf atıkları	0,32	61,33	11,29	2,18	9,54	2,31	0,08	7,65	2,11
12 01 16*	Tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri içeren atıklar	3,69	31,98	6,88	40,86	5,14	6,31	0,25	0,43	0,47

*Tehlikeli atık

4.2 Kullanılabilecek Maksimum Atık Miktarları

Kullanılabilecek maksimum atık miktarının nasıl hesaplandığı 01 05 04 kodu ile verilen “Temiz su sondaj çamurları ve atıkları” için aşağıda anlatılmış ve diğer atıklar içinde aynı yol izlenmiştir. ATY Tebliği Hammadde Listesinde 01 05 04 kodu ile verilen “Temiz su sondaj çamurları ve atıkları” içeriği incelenirse (kırmızı sütun), kompozisyonunda %44,28 oranında SiO_2 içerdiği görülmektedir. Çimento sektörünün başlıca silisyum (Si), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca) ve demiroksitleri (Fe_2O_3) içeren hammaddelerin, teknolojik yöntemlerle sinterleşmederecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin bir veya daha fazla katkı maddesi ile öğütülmesi yoluyla üretilen hidrolik bağlayıcıları içeren bir sektör olması nedeniyle, alternatif hammaddelerin hangi ana bileşeni fazla ise, o bileşen için duyulan ihtiyaç alternatif (atık) hammadde ile tamamlanmaktadır. Çimento üretiminde kullanılacak olan hammaddelerin uygunluk dereceleri, bu hammaddelerin kimyasal bileşimleri ile doğrudan orantılıdır. Örneğin, kireçtaşı bileşeni için kireç standardı bir kriter olarak kullanılmaktadır. Bu değer; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi bileşenler hakkında da bilgivermekle birlikte CaO içeriği konusunda da aydınlatıcı bilgiler verebilmektedir.

Tablo 4.2’de yüksek SiO_2 ile birlikte yaklaşık olarak, sırası ile, %11 ve %11,5 oranlarında Al_2O_3 ve CaO içerdiği görülen alternatif hammadde %20 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, ana bileşenlerden; silisyum, alüminyum ve kalsiyum oksitlerin önemli bir kısmının 01 05 04 kodu ile tanımlanan alternatif hammadde ile sağlanabileceği görülmektedir. Bu simülasyonlar ile, ürün kalitesini etkilemeyecek şekilde maksimum hangi oranlarda bu alternatif hammaddelerin kullanılabilecekleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda dikkat edilecek en önemli unsurlar: Paçal kolonunda %100’ ün sağlanması ve beraberinde de klinkerde KST, SM ve ALM değerlerinin belirlenen sınırlar (bkz. Tablo 4.2) içerisinde ayarlanmasıdır. Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO_2 için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Silisyum dioksit ek olarak alüminyum oksit ve kalsiyum oksit (kireç) için de %11 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.2 altında

verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 01 05 04 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımını 20 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 01 05 04 kodlu alternatif hammaddeden 6.600 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görölmektedir.



Tablo 4.2. 01 05 04 atık kodlu temiz su sondaj çamurları ve atıkları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

	% Oran	72,49	4,93	2,58	20,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00			
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	01 05 04	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü
Referans	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	44,28	30,00	13,38	1,12	41,00	13,38	20,88	21,47	50,60
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	10,98	36,00	3,19	0,07	7,00	3,19	4,97	5,39	26,00
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	6,53	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07
	CaO	55,00	14,00	6,00	11,53	1,50	43,02	54,62	5,00	43,02	67,11	65,81	1,83
	MgO	0,20	4,50	6,00	3,89	0,80	1,30	0,18	6,00	1,30	2,03	2,02	1,85
	KST	895,77	10,57	4,03	8,19	1,10	100,06	1661,19	3,36	100,06	100,06	95,02	
	SM	3,33	2,28	0,87	2,53	0,58	2,22	6,22	0,87	2,22	2,22	2,17	
	AIM	1,00	2,00	0,18	1,68	2,25	1,12	0,64	0,18	1,12	1,12	1,20	

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 01 05 04 Kullanımı 20,00 ton
 Yıllık 01 05 04 Kullanımı 6.600,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Silisyum dioksite ek olarak alüminyum oksitve kalsiyum oksit (kireç) için de %9 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.3 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 01 05 06* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 13,94 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 01 05 06* kodlu alternatif hammaddeden 4.600,2 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.3. 01 05 06* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	73,64	10,10	2,32	13,94	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	01 05 06*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	49,52	30,00	13,47	1,12	41,00	13,47	21,01	21,60	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	12,37	36,00	3,32	0,07	7,00	3,32	5,18	5,60	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	7,86	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	9,56	1,50	43,39	54,62	5,00	43,39	67,65	66,37	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	2,87	0,80	1,14	0,18	6,00	1,14	1,78	1,78	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	6,05	1,10	100,02	1661,19	3,36	100,02	100,02	95,02		
	SM	3,33	2,28	0,87	2,45	0,58	2,18	6,22	0,87	2,18	2,18	2,14		
	AIM	1,00	2,00	0,18	1,57	2,25	1,16	0,64	0,18	1,16	1,16	1,24		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 01 05 06* Kullanımı 13,94 ton
 Yıllık 01 05 06* Kullanımı 4.600,20 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Silisyum dioksite ek olarak alüminyum oksit için de %16 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.4 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 01 03 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 8,4 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 01 03 kodlu alternatif hammaddeden 2.772 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.4. 10 01 03 atık kodlu turba işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	74,84	14,07	2,69	8,40	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 01 03	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	61,37	30,00	13,52	1,12	41,00	13,52	21,10	21,69	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	16,88	36,00	3,52	0,07	7,00	3,52	5,49	5,90	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	8,43	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	5,37	1,50	43,74	54,62	5,00	43,74	68,24	66,91	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	1,85	0,80	1,10	0,18	6,00	1,10	1,72	1,72	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	2,73	1,10	99,95	1661,19	3,36	99,95	99,95	95,00		
	SM	3,33	2,28	0,87	2,42	0,58	2,12	6,22	0,87	2,12	2,12	2,08		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,00	2,25	1,23	0,64	0,18	1,23	1,23	1,31		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 01 03 Kullanımı 8,40 ton
 Yıllık 10 01 03 Kullanımı 2.772,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, CaO (kireç) için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.5 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 01 07 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 16,50 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 01 07 kodlu alternatif hammaddeden 5.445 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.5. 10 01 07 atık kodlu baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	54,94	25,76	2,80	16,50	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 01 07	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	1,44	30,00	13,05	1,12	41,00	13,05	20,35	20,96	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	0,29	36,00	3,50	0,07	7,00	3,50	5,46	5,87	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	0,13	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	51,31	1,50	42,46	54,62	5,00	42,46	66,23	64,95	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,85	0,80	1,58	0,18	6,00	1,58	2,46	2,45	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	1153,03	1,10	100,12	1661,19	3,36	100,12	100,12	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	3,43	0,58	2,05	6,22	0,87	2,05	2,05	2,02		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,23	2,25	1,23	0,64	0,18	1,23	1,23	1,30		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 01 07 Kullanımı 16,50 ton
 Yıllık 10 01 07 Kullanımı 5.445,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, Fe_2O_3 için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Demir üç oksite ek olarak silisyum dioksit ve kalsiyum oksit (kireç) için de %34 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.6 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 02 02 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 1,6 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 02 02 kodlu alternatif hammaddeden 528 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.6. 10 02 02 atık kodlu işlenmemiş cüruf için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	70,13	27,61	0,66	1,60	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 02 02	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	13,89	30,00	13,22	1,12	41,00	13,22	20,62	21,22	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	2,74	36,00	3,61	0,07	7,00	3,61	5,64	6,04	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	44,87	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,44	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	34,22	1,50	43,02	54,62	5,00	43,02	67,12	65,81	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,65	0,80	1,43	0,18	6,00	1,43	2,24	2,23	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	48,06	1,10	100,03	1661,19	3,36	100,03	100,03	95,00		
	SM	3,33	2,28	0,87	0,29	0,58	2,04	6,22	0,87	2,04	2,04	2,01		
	AIM	1,00	2,00	0,18	0,06	2,25	1,27	0,64	0,18	1,27	1,27	1,34		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 02 02 Kullanımı 1,60 ton

Yıllık 10 02 02 Kullanımı 528,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, Al_2O_3 için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Alüminyum oksite ek olarak kalsiyum oksit (kireç) için de %5 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.7 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 03 05 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 0,5 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 03 05 kodlu alternatif hammaddeden 165 ton gibi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.7. 10 03 05 atık kodlu atık alüminyum oksit için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	71,12	25,66	2,72	0,50	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 03 05	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	3,48	30,00	13,08	1,12	41,00	13,08	20,40	21,00	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	70,81	36,00	3,84	0,07	7,00	3,84	5,99	6,39	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	1,41	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,44	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	5,11	1,50	42,90	54,62	5,00	42,90	66,92	65,62	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,41	0,80	1,46	0,18	6,00	1,46	2,28	2,27	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	5,55	1,10	100,05	1661,19	3,36	100,05	100,05	95,00		
	SM	3,33	2,28	0,87	0,05	0,58	1,96	6,22	0,87	1,96	1,96	1,93		
	AIM	1,00	2,00	0,18	50,22	2,25	1,35	0,64	0,18	1,35	1,35	1,42		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 03 05 Kullanımı 0,50 ton

Yıllık 10 03 05 Kullanımı 165,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, Fe_2O_3 ve SiO_2 için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.8 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 09 03 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımını 1,8 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 09 03 kodlu alternatif hammaddeden 594 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.8. 10 09 03 atık kodlu ocak cürüfları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	71,14	26,15	0,91	1,80	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 09 03	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	38,37	30,00	13,21	1,12	41,00	13,21	20,60	21,20	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	8,45	36,00	3,57	0,07	7,00	3,57	5,56	5,97	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	39,11	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	6,34	1,50	42,96	54,62	5,00	42,96	67,01	65,71	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	1,18	0,80	1,39	0,18	6,00	1,39	2,18	2,17	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	4,45	1,10	100,04	1661,19	3,36	100,04	100,04	95,00		
	SM	3,33	2,28	0,87	0,81	0,58	2,06	6,22	0,87	2,06	2,06	2,02		
	AIM	1,00	2,00	0,18	0,22	2,25	1,25	0,64	0,18	1,25	1,25	1,33		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 09 03 Kullanımı 1,80 ton

Yıllık 10 09 03 Kullanımı 594,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.9 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 09 05* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 2 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 09 05* kodlu alternatif hammaddeden 660 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.9. 10 09 05* atık kodlu henüz döküm yapılmamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	72,88	21,96	3,16	2,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 09 05*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	88,14	30,00	13,52	1,12	41,00	13,52	21,09	21,68	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	5,21	36,00	3,18	0,07	7,00	3,18	4,96	5,38	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	2,47	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	0,89	1,50	43,37	54,62	5,00	43,37	67,65	66,33	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,24	0,80	1,33	0,18	6,00	1,33	2,07	2,07	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,35	1,10	100,01	1661,19	3,36	100,01	100,01	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	11,48	0,58	2,24	6,22	0,87	2,24	2,24	2,19		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,11	2,25	1,12	0,64	0,18	1,12	1,12	1,20		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 09 05*Kullanımı 2,00 ton
 Yıllık 10 09 05* Kullanımı 660,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.10 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 09 07* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 2 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 09 07* kodlu alternatif hammaddeden 660 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.10. 10 09 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

	% Oran	72,84	22,04	3,12	2,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 09 07*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
Referans	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	86,49	30,00	13,50	1,12	41,00	13,50	21,06	21,65	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	6,57	36,00	3,21	0,07	7,00	3,21	5,01	5,43	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	3,12	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	1,11	1,50	43,36	54,62	5,00	43,36	67,64	66,32	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,19	0,80	1,33	0,18	6,00	1,33	2,07	2,07	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,44	1,10	100,01	1661,19	3,36	100,01	100,01	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	8,93	0,58	2,23	6,22	0,87	2,23	2,23	2,18		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,11	2,25	1,13	0,64	0,18	1,13	1,13	1,21		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 09 07* Kullanımı 2,00 ton
 Yıllık 10 09 07* Kullanımı 660,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Silisyum dioksite ek olarak alüminyum oksit için de %18 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.11 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 09 09* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 1,8 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 09 09* kodlu alternatif hammaddeden 594 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.11. 10 09 09* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	72,39	22,96	2,85	1,80	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 09 09*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	72,19	30,00	13,33	1,12	41,00	13,33	20,79	21,39	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	18,17	36,00	3,50	0,07	7,00	3,50	5,46	5,87	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	6,59	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	0,56	1,50	43,21	54,62	5,00	43,21	67,41	66,10	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	1,14	0,80	1,37	0,18	6,00	1,37	2,14	2,13	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,25	1,10	100,02	1661,19	3,36	100,02	100,02	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	2,92	0,58	2,10	6,22	0,87	2,10	2,10	2,06		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,76	2,25	1,23	0,64	0,18	1,23	1,23	1,30		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 09 09* Kullanımı 1,80 ton
 Yıllık 10 09 09* Kullanımı 594,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.12 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 09 10 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımını 1,5 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 09 10 kodlu alternatif hammaddeden 495 ton gibi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.12. 10 09 10 atık kodlu 10 09 09 dışındaki baca gazı tozu için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	72,59	22,81	3,10	1,50	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 09 10	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	93,81	30,00	13,48	1,12	41,00	13,48	21,03	21,62	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	2,46	36,00	3,21	0,07	7,00	3,21	5,01	5,43	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	1,86	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,51	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	0,24	1,50	43,31	54,62	5,00	43,31	67,56	66,25	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,38	0,80	1,36	0,18	6,00	1,36	2,13	2,12	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,09	1,10	100,03	1661,19	3,36	100,03	100,03	95,03		
	SM	3,33	2,28	0,87	21,72	0,58	2,22	6,22	0,87	2,22	2,22	2,18		
	AIM	1,00	2,00	0,18	1,32	2,25	1,12	0,64	0,18	1,12	1,12	1,20		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 09 10 Kullanımı 1,50 ton

Yıllık 10 09 10 Kullanımı 495,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.13 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 10 05* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 2 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 10 05* kodlu alternatif hammaddeden 660 ton gibi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.13. 10 10 05* atık kodlu henüz döküm yapılamamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

	% Oran	72,87	22,00	3,13	2,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 10 05*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
Referans	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	87,46	30,00	13,51	1,12	41,00	13,51	21,08	21,67	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	5,99	36,00	3,20	0,07	7,00	3,20	4,99	5,41	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	2,99	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	0,38	1,50	43,35	54,62	5,00	43,35	67,63	66,32	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,19	0,80	1,33	0,18	6,00	1,33	2,07	2,07	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,15	1,10	99,99	1661,19	3,36	99,99	99,99	95,00		
	SM	3,33	2,28	0,87	9,74	0,58	2,23	6,22	0,87	2,23	2,23	2,19		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,00	2,25	1,12	0,64	0,18	1,12	1,12	1,20		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 10 05* Kullanımı 20,00 ton
 Yıllık 10 10 05* Kullanımı 660,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.14 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 10 07* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 2 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 10 07* kodlu alternatif hammaddeden 660 ton gibi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.14. 10 10 07* atık kodlu döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları için yapılan simülasyonun değerlendirme tablosu

	% Oran	72,91	21,87	3,22	2,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 10 07*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
Referans	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	89,27	30,00	13,53	1,12	41,00	13,53	21,11	21,70	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	4,68	36,00	3,16	0,07	7,00	3,16	4,93	5,35	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	1,58	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	1,10	1,50	43,38	54,62	5,00	43,38	67,67	66,35	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	0,11	0,80	1,33	0,18	6,00	1,33	2,07	2,06	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	0,43	1,10	100,01	1661,19	3,36	100,01	100,01	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	14,26	0,58	2,25	6,22	0,87	2,25	2,25	2,20		
	AIM	1,00	2,00	0,18	2,96	2,25	1,11	0,64	0,18	1,11	1,11	1,19		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 10 07* Kullanımı 2,00 ton

Yıllık 10 10 07* Kullanımı 660,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, SiO₂ için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Silisyum dioksit ek olarak alüminyum oksit için de %11 civarında katkı sağlanabilmektedir. Tablo 4.15 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 10 11 03 kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 1,8 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 10 11 03 kodlu alternatif hammaddeden 594 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.15. 10 11 03 atık kodlu ccam elyaf atıkları için yapılan simülasyonunda değerlendirme tablosu

Referans	% Oran	71,88	23,32	3,00	1,80	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	10 11 03	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	61,33	30,00	13,33	1,12	41,00	13,33	20,80	21,40	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	11,29	36,00	3,43	0,07	7,00	3,43	5,35	5,76	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	2,18	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	9,54	1,50	43,15	54,62	5,00	43,15	67,31	66,01	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	2,31	0,80	1,41	0,18	6,00	1,41	2,21	2,20	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	5,13	1,10	100,05	1661,19	3,36	100,05	100,05	95,03		
	SM	3,33	2,28	0,87	4,55	0,58	2,12	6,22	0,87	2,12	2,12	2,08		
	AIM	1,00	2,00	0,18	5,18	2,25	1,20	0,64	0,18	1,20	1,20	1,28		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton

Günlük 10 11 03 Kullanımı 1,80 ton

Yıllık 10 11 03 Kullanımı 594,00 ton

Örnek alternatif hammaddeye döndüğümüzde, Fe_2O_3 ve SiO_2 için ihtiyaç duyulan hammadde yerine bu alternatif hammaddenin kullanılması uygun görülmektedir. Tablo 4.16 altında verilen açıklamalarda görüleceği üzere; Günlük Premiks Hammadde üretimi 100 ton olarak planlandığında, günlük 12 01 16* kodlu alternatif hammadde (atık) kullanımı 1,8 ton olmaktadır. Yıllık bazda bakıldığında ise 12 01 16* kodlu alternatif hammaddeden 594 ton gibi ciddi bir miktarın ekonomiye kazandırılacağı ve bir o kadar atığın da en uygun şekilde bertaraf edilebileceği açıkça görülmektedir.



Tablo 4.16. 12 01 16* atık kodlu tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri atıkları için yapılan simülasyonunda değerlendirme tablosu

	% Oran	70,94	26,47	0,76	1,80	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00				
		Çay Kalkeri	Uyman Kil	Demir Cevheri	12 01 16*	Boksit	Paçal	Cor. Kalker	Grit	Farin	Klinker	Gerçek Klinker	Kömür Külü	Kül Etkisi
Referans	SiO ₂	2,00	41,00	41,00	31,98	30,00	13,17	1,12	41,00	13,17	20,55	21,15	50,60	2,00
	Al ₂ O ₃	0,30	12,00	7,00	6,88	36,00	3,57	0,07	7,00	3,57	5,57	5,98	26,00	
	Fe ₂ O ₃	0,30	6,00	40,00	40,86	16,00	2,85	0,11	40,00	2,85	4,45	4,50	7,07	
	CaO	55,00	14,00	6,00	5,14	1,50	42,86	54,62	5,00	42,86	66,87	65,57	1,83	
	MgO	0,20	4,50	6,00	6,31	0,80	1,49	0,18	6,00	1,49	2,33	2,32	1,85	
	KST	895,77	10,57	4,03	4,14	1,10	100,06	1661,19	3,36	100,06	100,06	95,01		
	SM	3,33	2,28	0,87	0,67	0,58	2,05	6,22	0,87	2,05	2,05	2,02		
	AIM	1,00	2,00	0,18	0,17	2,25	1,25	0,64	0,18	1,25	1,25	1,33		

Günlük Premix Hammadde Üretimi 100,00 ton
 Günlük 10 11 03 Kullanımı 1,80 ton
 Yıllık 10 11 03 Kullanımı 594,00 ton

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Avrupa Birliği ülkelerinde, çimento endüstrilerinde alternatif yakıt ve alternatif hammadde olarak atık kullanımı yerel veya bölgesel atıkların en etkili bertaraf yöntemi olarak kabul edilmektedir. Günümüz çimento sektöründe mevzuatlar ve yönetmeliklerin izin verdiği ölçüde kullanılan atıklar çimento endüstrisi ve atık yönetimi için kullanılan en temel konulardan biridir. Son otuz yılda Avrupa’da atıkların alternatif enerji ve alternatif hammadde kaynakları olarak kullanılması ciddi oranda teşvik edilmektedir. AB ülkelerinde son otuz yılda alternatif yakıt olarak atıkları kullanılmaktadır. Bu kullanım sayesinde hem enerji tasarrufu hem de atıkların geri kazanımı sağlanmıştır.

Söz konusu avantajlar ve geri kazanımlar nedeniyle, AB Direktifleri, üye ülkeleri kendi atık yönetim sistemlerini iyileştirmeye yönlendirmektedir. Ek olarak, AB, “Avrupa 2020 Stratejisi” ile üye ülkeleri kaynakların etkin ve efektif kullanımına ve düşük karbon ekonomisine yönlendirmeyi desteklemektedir. AB’ye üye olma yolunda olan ülkemizde aynı şekilde yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve daha az karbon emisyonu oluşturacak alternatif hammaddelere yönelmesi hem çevre hem ekonomik açıdan büyük bir önem arz etmektedir.

AB ülkeleri çimento sektöründe olduğu gibi Türk çimento sektöründe de evsel ve endüstriyel atıklar, lisanslı tesislerde alternatif yakıt ya da alternatif hammadde olarak kullanılabilir.

AB ve ülkemiz mevzuatında, tehlikeli atıkların geri kazanımı için atıklar en az 850-1100 °C ortamda 2 saniye süreyle kalmalı ve bu sistemde baca gazı arıtma sistemleri bulunmalıdır. Çimento fırınlarında sıcaklık 900-1450 °C arasında ve bekleme süresi en az 5 saniye olduğu için mevzuata uyabilen bir sektördür. Hatta mevzuatta istenilen koşullardan daha ileri teknolojik koşullar sağlanmaktadır. Mevzuatta belirlenen atıklar, gerekli çevre izinleri alındıktan sonra alternatif hammadde ya da alternatif yakıt olarak kullanılabilir.

Bu tez kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda 15 adet farklı atığın çimento endüstrisinde ham madde kaynağı olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

Buna göre 100 ton çimento üretimi için kullanılabilir atık miktarları Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1. 100 ton çimento üretiminde kullanılabilir endüstriyel atık miktarları

Atık Kodu	Atık İsmi	Günlük Kullanılabilir Atık Miktarı (ton)
01 05 04	Temiz su sondaj çamurları ve atıkları	20
01 05 06*	Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve digger sondaj atıkları	13,94
10 01 03	Turba ve işlenmemiş odundan kaynaklanan uçucu kül	8,4
10 01 07	Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar	16,5
10 02 02	İşlenmemiş cüruf	1,6
10 03 05	Atık alüminyum oksit	0,5
10 09 03	Ocak cürufları	1,8
10 09 05*	Henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	2
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	2
10 09 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	1,8
10 09 10	10 09 09 dışındaki baca gazı tozu	1,5
10 10 05*	Henüz döküm yapılmamış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	2
10 10 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	2
10 11 03	Cam elyaf atıkları	1,8
12 01 16*	Tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri içeren atıklar	1,8

*tehlikeli atık

Endüstriyel atıkların çimento üretiminde kullanımı ile ilgili olarak aşağıda sıralanan araştırmalarınayırca yapılması tavsiye edilmektedir:

- Atıkların ham madde olarak kullanılması durumunda oluşacak emisyonlar ayrıca araştırılmalıdır.
- Atıkların taşıma ve geçici depolama esnasında oluşabilecek çevresel riskler değerlendirilmelidir.
- Karşılaştırmalı maliyet analizleri yapılmalıdır (Birincil ham madde kullanımı ile atıkların alternatif hammadde olarak kullanılmasının maliyet açısından kıyaslaması)
- Endüstriyel atık kullanımı sonucu ortaya çıkan çevresel kazanımlar (sera gazı emisyonlarının azaltılması vb.) incelenmelidir.

6. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APAatıf sistemi kullanılmıştır.

AFŞİN, C. (2014). Endüstriyel Atık Yönetimi ve TUDEMSAŞ Örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Sivas.

Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği, Resmi Gazete 20.06.2014 tarih ve 29036 sayı.

ATMACA, E. (2004). Sivas İl Merkezi Katı Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Yeniden Planlanması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi*, Sivas.

Ayhan, S. (2012). Çimento sektöründe atıktan enerji geri kazanımı ve yasal mevzuat. In *18th International Energy and Environmental Fair and Conference* (Vol. 25, p. 27).

Canpolat, F., Yılmaz, K., Köse, M.M., Sümer, M. & Yurdusev, M.A. (2004) Use of Zeolite, Coal Bottom Ash and Fly Ash as Replacement Materials in Cement Production. *Cement and Concrete Research*, 34(5), 731-735

Canpolat, F., Yılmaz, K., Sümer, M. & Uysal, M. (2005). Zeolit katkılı çimentoların özelliklerinin incelenmesi. *Altıncı Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.

Colleparadi, M. (2006). The New Concrete. *Grafiche Tintoretto, Italy*.

Çevre Kanunu, Resmi Gazete 11.08.1983 tarih ve 18132 sayı.

DEMİREL, S., & ÖZ, H. Ö. (2017). Atık malzemelerin kendiliğinden yerleşen beton performansına etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 40-48.

Devlet Planlama Teşkilatı (2000). Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Ankara.

Engin, Y., Tarhan, M. & Kumbaracıbaşı, S. (2013). Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim. *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul.

Gündüzalp, A.A. & Güven S. (2016). Waste and Waste Types, Waste Management, Recycling and Costumer: Çankaya Municipality and Instance of Neighbourhood Consumers. *Hacettepe Üniversitesi*

Gürer, C., Akbulut, H. & Kurklu, G. (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir.

<https://inovatifkimyadergisi.com/cimento-endustrisi>

Kaçtıoğlu, S. & Şengül, Ü. (2010). Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tam Sayılı Programlama Modeli. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24,1.

Ostad-Ahmad-Ghorabi, M. J., & Attari, M. (2013). Advancing environmental evaluation in cement industry in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 41, 23-30.

Sayar, Ş. (2012). Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.

The Freedonia Group (2006). World Cement to 2010,*Research Report*, USA.

Topçu, İ.B. & Karakurt, C. (2007).Effects of Different Industrial Wastes and Natural Pozzolans on Cement Properties.*TMÇB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete*, Sheraton Hotel, İstanbul.

Topçu, İ.B. & Karakurt, C. (2007).Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı, *7. Ulusal Beton Kongresi*, 395, 404.

Tunçez, F. D. (2021). Sürdürülebilir Çimento Üretiminde Çevre Yönetimi Yasal Bileşenleri. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1), 41-56.

Yeğınobalı, A. & Ertün, T. (2004).Çimentode Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar.*Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge*, Ankara.

