



**TEHLİKELİ ATIK YAKMA TESİSİ TABAN KÜLLERİNİN  
BETON HAMMADDESİ OLARAK KULLANILMASI İLE  
BERTARAF EDİLMESİNİN ARAŞTIRMASI**

**INVESTIGATION OF POTENTIAL USES  
OF HAZARDOUS WASTE INCINERATOR BOTTOM ASH  
IN CONCRETE AS RAW MATERIAL**

**ÖMER ÖLMEZ**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2010

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
(Doç. Dr. Murat KÖKSAL)

Üye (Danışman) :.....  
(Doç. Dr. Selim L. SANİN)

Üye :.....  
(Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ)

Üye :.....  
(Prof. Dr. A.Cemal SAYDAM)

Üye :.....  
(Y.Doç. Dr. Ayşegül LATİFOĞLU)

ONAY

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../2010 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca .../.../2010 tarihinde kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adil DENİZLİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# TEHLİKELİ ATIK YAKMA TESİSİ TABAN KÜLLERİNİN BETON HAMMADDESİ OLARAK KULLANILMASI İLE BERTARAF EDİLMESİNİN ARAŞTIRMASI

Ömer Ölmez

## ÖZ

Bir maddenin atık sınıfına sokulabilmesi için bu maddenin; son kullanım süresi geçmiş, sahibi tarafından kullanılmayan, standart dışı, kimyasal veya fiziksel yapısı değişmiş olup, amacına yönelik kullanımı mümkün olmayan, içerisine başka madde karışmış, üretimden kaynaklanan artık olması veya yasalar ile kullanımı yasaklanmış olması gerekmektedir.

Tehlikeli atık ise yönetmeliklerle belirtilmiş bazı eşik konsantrasyonların üzerinde özelliklere sahip olan veya yine yönetmelikle belirtilmiş bazı işlemlerden çıkan atıklara denir.

Tehlikeli veya tehlikesiz tüm atıkların geri kazanılması veya bertaraf edilmesi tüm atık üreticileri için bir sorun haline gelmiş, atıklarını bertaraf etmeyen üreticilere cezai yaptırımlar uygulanmaktadır.

Bu nedenle atık üreticileri atıklarını geri kazanma, çeşitli formlarda depolama ve yakma gibi birçok yasal metot geliştirmişlerdir. Geri kazanma yöntemi her atık için uygulanamaz. Depolama yönteminde ise uygun alan bulunması zordur ve yatırım maliyeti çok yüksektir. Bu sebeplerden dolayı bazı atık üreticileri yakma metodunu tercih etmişlerdir. Ancak yakılan atıklardan kaynaklanan taban külleri - her ne kadar atığa oranla daha az yer kaplasa da – bertaraf sorununu ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada; yakma metodunu kullanan tehlikeli atık üreticilerinin en büyük sorunu olan taban küllerin beton hammaddesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

Öncelikle beton kullanımına uygun hale getirilen taban külü belli oranlarda çimento ve agrega yerine kullanılarak beton karışımı hazırlanmıştır. Beton tazeyken sıcaklık, akışkanlık deneyleri yapılmış, daha sonra sertleşen betona kırılma, SEM Analizi (Scanning Electron Microscopy), X ışınları kırınım ile malzemelerin içerik analizi ve TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) testleri

uygulanmıştır. Tüm bu testlerin sonucunda 28 gün sonunda tamamen sertleşen betonun dayanımının standart betondan daha az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak çimento taban külü karıştırılarak hazırlanan betonun dayanıklılık gerektiren yapılarda ve malzemelerde kullanılamayacağı görülmüştür. Kül agrega yerine karıştırıldığında beton uygulamalarında kullanımının dayanım açısından mümkün olduğu görülmüştür. TCLP deney sonuçları taban külü karıştırılan betonların kullanımının insan ve çevre sağlığı açısından zararı olmadığı göstermiştir. Ancak söz konusu betonun insan ve çevre sağlığına bir zararının olup olmadığının kesin olarak anlaşılması için pilot bir tesisin kurulup uzun süre takip edilmesi gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tehlikeli atık, taban külü, beton

Danışman: Doç. Dr. Selim L. SANİN, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

# **INVESTIGATION OF DISPOSING BOTTOM ASH FROM HAZARDOUS WASTE INCINERATORS AS RAW MATERIAL CONCRETE**

**Omer OLMEZ**

## **ABSTRACT**

In order to classify a substance as waste material; one of the following descriptions should match. Its end-use date has to be expired, not used by the owner, to be non-standard, its chemical or physical structure has to be altered and not possible to use for its aimed purpose, mixed with other substances, to be a residue after its production process or either its usage has to be prohibited by laws.

As for Hazardous Waste material; it either should have properties over few threshold concentrations, as specified by regulations or have been resulted from some processes which is again specified by the regulations.

Recycling or Disposal of the whole Hazardous or non-hazardous waste materials have become a serious concern for the waste material producers. The producers, who have not made any required intervention for their waste material, faced with some penalty sanctions.

Therefore, waste material producers had to start researching few legal methods regarding their waste material such as; recycling, storage in various forms and burning.

Because of the recycling method has not been applicable for every waste material and the disadvantages on the storage method as finding the appropriate area and high investment cost some waste material producers decide on the burning method. However the bottom ash arising from incinerators – even though, they are not bulky like the hazardous waste- disposal problems are revealed.

In this study; the biggest problem of the bottom ash whether it can be used or not as concrete raw material which is formed out by the hazardous waste material producers who use the burning method, have been investigated.

Firstly concrete is prepared with the bottom ash used as cement or aggregate. While the concrete were fresh, the temperature and liquidity tests have been performed. After, the refraction test, SEM analysis (scanning electron microscopy), XRF spectrometry (X-ray Fluorescence Spectrometer) and TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) tests were applied to the hardened concrete.

As a result of all these tests, at the end of 28 days of fully strength of the hardened concrete was found to be less than standard concrete. As a result it was seen that; instead of cement, the concrete prepared by mixing bottom ash is not applicable to be used for strength required constructions and materials. On the other hand it was seen that according to pressure test results the usage of bottom ash as aggregates possible. TCLP Procedure showed that concrete with bottom ash has not any negative effect to people and environment. But it is not accept without any long period experience with the concrete contain bottom ash.

Keywords: hazardous waste material, bottom ash, concrete

Supervisor: Assoc. Prof. Selim L. SANİN, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering, Environmental Engineering Major

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez programımın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, sayın Doç. Dr. Selim L. Sanin'e,

Tez ve laboratuvar çalışmalarımnda anlayışlarını esirgemeyen Genel Müdürüm Ali Altın, İbrahim Sarıca ve diğer ortaklarıma,

Tez ve laboratuvar çalışmalarımnda yardımcı olan başta Aytaç Kara, Melike Kahveci olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma,

Hayatımın her döneminde bana yardımını esirgemeyen babam Hasan Ölmez, annem Selma Ölmez ve ablam Evren Bağrıaçık ile Urasım'a,

Hayat arkadaşım Gülfem Ölmez'e

Teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	Xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
KISALTMALAR.....	xv
1 Giriş .....	1
1.1 Atık.....	1
1.1.1 Atık yönetimi.....	3
1.1.2 Atığın kaynağında azaltılması.....	3
1.1.3 Atığın özelliğine göre ayrılması.....	4
1.1.4 Atığın toplanması.....	4
1.1.5 Atığın geçici depolanması.....	4
1.1.6 Atığın ara depolanması.....	5
1.1.7 Atığın geri kazanılması.....	5
1.1.8 Atığın taşınması.....	6
1.1.9 Atığın bertaraf edilmesi.....	6
1.1.10 Atık sınıfları.....	6
1.1.10.1 Evsel atıklar.....	7
1.1.10.2 Tıbbi atıklar.....	7
1.1.10.3 Tehlikeli atıklar.....	7
1.1.10.4 Endüstriyel atıklar.....	7
1.1.10.5 İnşaat atıklar.....	7
1.2 Tehlikeli atıklar.....	8
1.2.1 Tehlikeli atık türleri.....	9
1.2.1.1 Kimyasal atıklar.....	9
1.2.1.2 Tıbbi atıklar.....	9
1.2.1.3 Radyoaktif atıklar.....	10
1.2.2 Tehlikeli atıkların toplanması.....	10
1.2.3 Tehlikeli atıkların taşınması .....	11
1.2.4 Tehlikeli atıklara yönelik bazı bertaraf yöntemleri.....	11
1.2.4.1 Gömme ve düzenli depolama.....	11
1.2.4.2 Katılaştırma.....	12
1.2.4.3 Yakma.....	12
1.2.4.3.1 İzaydaş.....	15
1.2.4.3.2 Tüpraş atık yakma tesisleri.....	17

1.2.4.3.3	Petkim atık yakma tesisleri.....	17
1.3	Küller.....	18
1.4	Beton.....	20
1.4.1	Betonun bileşenleri.....	21
1.4.1.1	Çimento.....	21
1.4.1.2	Agrega.....	22
1.4.1.3	Beton karışım suyu.....	22
1.4.1.4	Katkılar.....	23
1.4.2	Betonda aranan özellikler.....	24
1.4.3	Beton üretimi.....	25
1.4.4	Beton sınıfları.....	25
1.4.4.1	Basınç dayanım sınıfları.....	25
1.4.4.2	Kıvam sınıfları.....	26
1.5	Konu ile İlgili Diğer Çalışmalar.....	27
2	Amaç.....	32
3	DeneySEL Yöntem.....	34
3.1	Betonu meydana getiren unsurlar.....	34
3.1.1	Tehlikeli atık taban külünün temini ve analizi.....	34
3.1.2	Külün beton için kullanıma uygun hale getirilmesi.....	35
3.1.3	En büyük agrega tane büyüklüğünün seçilmesi.....	37
3.1.4	Su miktarının belirlenmesi.....	38
3.2	Karışım hesaplarının deneylerle gerçekleştirilmesi.....	39
3.2.1	Beton numunesi alma.....	39
3.2.2	Numune hazırlama.....	41
3.2.3	Numunelerin saklanması.....	42
3.2.4	Sıcaklık deneyi.....	42
3.2.5	Slump (çökme) deneyi.....	44
3.2.6	Kırma deneyi.....	46
3.2.7	Elektron mikroskobu ile görüntüleme.....	47
3.2.8	XRD spektrometresi.....	48
3.2.9	TCLP (toxicity characteristic leaching procedure) deneyi.....	49
4.	Sonuçlar.....	52
4.1	Kül analiz sonuçları.....	52
4.2	Taze beton deney sonuçları.....	53
4.2.1	Sıcaklık deney sonuçları.....	53
4.2.2	Slump (çökme) deney sonuçları.....	55
4.3	Sertleşmiş beton analiz sonuçları.....	56
4.3.1	Kırma deney sonuçları.....	56

4.3.2	Elektron mikroskobu ile görüntüleme sonuçları.....	60
4.3.3	Xrd spektrometre deney sonuçları.....	69
4.3.4	TCLP(toxicity characteristic leaching procedure) sonuçları.....	70
5.	Genel Sonuç ve Öneriler.....	74
5.1	Maliyet avantaj analizi.....	74
5.2	Kullanım alan önerileri.....	76
	KAYNAKLAR.....	77
	ÖZGEÇMİŞ.....	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil1: Geçtiğimiz 3 yılda İZAYDAŞ Yakma Tesisinde Bertaraf Edilen Atık Miktarları (ton/yıl).....	16
Şekil 2: 2008-2009 yıllarında İZAYDAŞ Yakma Tesisinde Bertaraf Edilen Atık Tip ve Miktarları .....	16
Şekil 3: Tehlikeli atık yakma tesisi taban külü toplama sistemi.....	36
Şekil 4: Kül Elek Analiz Sonuçları.....	37
Şekil 5: 15cmX15cmX15cm ölçülerinde beton numune alma kalıpları.....	41
Şekil 6: Çökme deneyinde “h” değerinin ölçülmesi.....	45
Şekil 7: Düzgün çökme ve kayma meydana gelmiş geçersiz çökme.....	45
Şekil 8: Beton basınç deneyinin gerçekleştirildiği kırma cihazı.....	46
Şekil 9: Taramalı elektron mikroskobu.....	47
Şekil 10: XRD cihazı.....	48
Şekil 11: Kırılmış kül numuneleri.....	50
Şekil 12: Asit çözeltisinde bekletilen numuneler.....	51
Şekil 13: Taze beton numunelerinin sıcaklığının ölçülmesi.....	54
Şekil 14: Çökme deneyinde huniyi çekme yöntemi.....	55
Şekil 15: Çökme deneyinde çökme miktarının ölçülmesi.....	55
Şekil 16: Taban külünün çimento yerine kullanıldığı numunelerin basınç dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
Şekil 17: Taban külünün agrega yerine kullanıldığı numunelerin basınç dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 18: Tüm numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım test sonuçları.....	59
Şekil 19: Taban külünün Elektron Mikroskobunda 40.000kat büyütülmüş görüntüsü.....	61

Şekil 20: Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmada kullanılan atıksu arıtma çamur külü görüntüsü.....	61
Şekil21: Daha önce Seung Bum Park Kore Chungnam Üniversitesinde yapılan termik santral (kömür santrali) taban külünün görüntüsü(SEUNG, 2008).....	62
Şekil 22: C25 numunesinden bir görüntü.....	63
Şekil 23: C30 numunesinin E.M. görüntüsü.....	63
Şekil 24: Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmadaki c30 referans beton numunesinin görüntüsü.....	64
Şekil 25: KUL34,5 numunesinin E.M. görüntüsü.....	64
Şekil 26: Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmada çimento içeriği %15 azaltılmış yerine 1,5 kat kül konulmuş beton numunesinin görüntüsü.....	65
Şekil 27: KUL52 numunesinin E.M. görüntüsü.....	65
Şekil 28: KUL69 numunesinin E.M. görüntüsü.....	66
Şekil 29: KUL78 numunesinin E.M. görüntüsü.....	67
Şekil 30: KUL104 numunesinin E.M. görüntüsü.....	67
Şekil 31: KUL156 numunesinin E.M. görüntüsü.....	68
Şekil 32: KUL156 numunesinin E.M. başka bir noktadan görüntüsü.....	68
Şekil 33: C30 referans grubu TCLP iletkenlik eğrileri.....	70
Şekil 34: C25 referans grubu TCLP iletkenlik eğrileri.....	71
Şekil 35: Numunelerin bekletildiği asit çözetisinin 18 saatli pH sonuç grafiği..	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1: Tuik 2008 verilerine göre Türkiye'deki 3.129 belediyeden toplanan toplam ve bazı büyük illerimizin atık miktarları.....	1
Çizelge 2: OECD üyesi ülkelerin atık miktarları.....	2
Çizelge 3: Tehlikeli Atıkların Yakıldığı Fırın Tipleri.....	13
Çizelge 4: Uçucu ve Taban Küllerinin Fiziksel Özellikleri.....	19
Çizelge 5: Küp ve silindir numuneler için minimum beton basınç dayanım sınıfları.....	26
Çizelge 6: Taze beton için kıvam sınıfları.....	27
Çizelge 7: J.Per ve arkadaşlarının X kırınım deney sonuçları.....	28
Çizelge 8: J.Per ve arkadaşlarının element analiz sonuçları.....	28
Çizelge9: Hui-Sheng Shi ve Li-Li Kan'ın kül içeren beton ile yapmış oldukları çalışma sonucu elde edilen sızıntı su analizi.....	30
Çizelge 10: Beton numunelerinde kullanılan agrega çeşitlerinin elek analiz sonuçları .....	38
Çizelge 11: Sekiz farklı beton numunesinin kütlece karıştırma oranları.....	40
Çizelge 12: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek11A tablosuna göre yapılan Taban Külü Analiz Sonuçları.....	52
Çizelge 13: Taze beton numuneleri sıcaklık deney sonuçları.....	53
Çizelge 14: Numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	56
Çizelge 15: 7 günlük basınç dayanım deney sonuçları.....	57
Çizelge 16: 28 Günlük basınç dayanım deney sonuçları.....	57
Çizelge 17: 7 ve 28 günlük basınç dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	60
Çizelge 18: XRD Deney sonuçları.....	69
Çizelge 19: TCLP deneyi 18 saatlik pH ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge 20: ICP-MS analiz sonuçları.....	73
Çizelge 21: 1 Ton kül 1 ton çimento yerine kullanıldığında edilecek kar.....	75
Çizelge 22: 1 Ton kül 1 ton agrega yerine kullanıldığında edilecek kar.....	75

## **KISALTMALAR**

Fck: Karakteristik Basınç Dayanımı

T.A.K.Y.: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

TUIK: Türkiye İstatistik Kurumu

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

OSB: Organize Sanayi Bölgesi

HMSO: Her Majesty's Stationery Office

TÇV: Türkiye Çevre Vakfı

İZAYDAŞ: İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş

SEM: Scanning Electron Microscopy

XRF: X-Ray Fluorescence

TCLP: Toxicity Characteristic Leaching Procedure

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Atık

Bir maddenin atık olarak tanımlanması için bu maddenin; son kullanım süresi geçmiş, sahibi tarafından kullanılmayan, standart dışı, kimyasal veya fiziksel yapısı değişmiş, artık amacına yönelik kullanımı mümkün olmayan, içerisine başka madde karışmış, üretimden kaynaklanan artık veya yasalar ile kullanımı yasaklanmış olması gerekmektedir (T.A.K.Y.Md1).

Türkiye'de 2009 TÜİK istatistiklerine bakıldığında yaklaşık 35 milyon ton tahıl, 27 milyon ton sebze ve 16 milyon ton meyve üretilmiş olup, yaklaşık 100 milyar TL sanayi üretimi gerçekleşmiştir. Yine 2009 yılı sonunda nüfusumuzun 72,5 milyon civarında olduğu tahmin edilmektedir. Tüm bu istatistiklere bakıldığında üretimden ve konutlardan çıkan atıkların ortaya devasa çöp dağları çıkarmasının bir rastlantı olmadığı görülecektir. Zaten TÜİK araştırmaları da bizi aynı sonuca ulaştırmaktadır. 2008 yılında 3129 belediyeden toplamda 24,5 milyon ton atık toplanmıştır.(BELEDİYE ATIK İSTATİSTİKLERİ, 2008)

**ÇİZELGE 1:** TUIK 2008 verilerine göre Türkiye'deki 3.129 belediyeden toplanan toplam ve bazı büyük illerimizin atık miktarları

İller	Toplam		Düzenli depolama sahalarına götürülen		Açıkta yakma		Dereye ve göle dökme		Diğer <sup>(1)</sup>	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>TÜRKİYE</b>	<b>3.129</b>	<b>24.360.863</b>	<b>2.820</b>	<b>23.624.579</b>	<b>126</b>	<b>239.291</b>	<b>78</b>	<b>323.422</b>	<b>105</b>	<b>173.571</b>
Ankara	65	2.165.986	57	2.161.402	5	1.363	3	3 221	-	-
Bursa	55	848.535	50	844.681	2	912	-	-	3	2.942
Gaziantep	28	410.554	26	409.038	1	753	-	-	1	763
Hatay	76	402.555	66	391.848	7	9.128	-	-	3	1.579
Mersin	70	599.112	58	566.646	8	24.022	1	1 557	3	6.887
İstanbul	74	5.215.122	73	5.075.776	-	-	1	139.346	-	-
İzmir	89	1.351.377	88	1.285.780	-	-	-	-	1	1.098
Kayseri	66	423.958	57	416.433	2	1.777	3	730	4	5.018
Kocaeli	45	480.415	45	480.415	-	-	-	-	-	-
Konya	203	643.493	195	640.344	2	458	4	1.800	2	891
Manisa	84	473.922	75	467.699	5	3.180	-	-	4	3.043

A. Belediye sayısı B. Atık miktarı (ton/yıl)

Sanayi ve nüfustaki hızlı değişim göz önüne alındığında ortaya çıkan atık miktarının ne kadar büyük bir sorun olduğu görülmektedir. Mesela OECD'nin araştırmasına göre Türkiye 2007 yılında 17,5 milyon ton sanayiden, 14 milyon ton enerjiden, 3,25 milyon ton arıtmadan, 30 milyon ton belediye ve OSB'lerden kaynaklanmak üzere toplamda 65 milyon ton atık üretmiştir. Aynı çalışmada 2007 yılında ABD'de sadece evsel kaynaklı 223 milyon ton, Japonya'da toplamda 455 milyon ton, Almanya'da 340 milyon ton gibi yüksek miktarlarda atık ortaya çıkmıştır (OECD,2008).

## ÇİZELGE 2: OECD üyesi ülkelerin atık miktarları(OECD,2008)

WASTE

1A

AMOUNTS OF WASTE GENERATED BY SECTOR, latest year available (a) QUANTITÉS DE DÉCHETS PRODUITS PAR SECTEUR, dernière année disponible (a)									
									1000 tonnes
ISIC/CITI :	Agriculture, Forestry.../ agricult., sylvic. 01-02	Mining & quarrying/Mines et carrières 10-14	Manufacturing ind./ind. manufacturières 15-37	Energy Prod./ Production d'énergie 40	Water Purific. & Distrib./Trait. & distrib. de l'eau 41	Construct. 45	Other/ Autres	Municipal w./déchets municipaux (b)	TOTAL (c)
Canada	..	..	..	..	..	..	..	13 380	..
Mexico/Mexique	..	..	..	..	..	..	..	36 090	..
USA/Etats-Unis	..	..	..	..	..	..	..	222 860	..
Japan/Japon	90 430	13 770	122 880	6 970	8 310	76 150	3 860	54 930	455 180
Korea/Corée	..	..	38 330	..	..	54 200	..	18 250	110 780
Australia/lie	..	..	9 470	..	..	13 740	..	8 900	32 380
N.Zeal./N.Zel.	150	..	800	..	..	800	..	1 540	3 290
Austria/Autriche	..	..	..	..	1 910	28 600	18 900	4 590	54 000
Belgium/Belgique	1 150	120	13 650	850	200	10 490	6 300	4 750	36 360
Czech R./R.tcheque	460	650	6 040	2 310	650	9 110	2 770	2 950	24 940
Denmark/Danemark	..	..	1 850	1 080	820	5 270	1 850	3 340	14 210
Finland/Finlande	860	23 820	15 710	1 570	510	20 840	100	2 370	65 790
France	..	..	90 000	..	960	..	..	33 780	128 610
Germany/Allem.	..	50 450	53 010	..	..	187 480	..	48 430	339 370
Greece/Grèce	..	..	..	..	..	5 000	..	4 710	..
Hungary/Hongrie	..	13 080	5 200	3 330	..	1 740	2 050	4 590	29 990
Iceland/Islande	50	-	50	-	-	20	230	150	490
Ireland/Irlande	60 170	4 050	5 300	290	60	2 680	..	3 000	57 160
Italy/Italie	440	900	37 780	2 800	13 550	46 460	5 530	31 150	138 620
Luxembourg	..	50	730	-	130	6 980	90	310	8 300
Netherl./Pays-Bas	2 390	90	16 900	1 430	170	24 000	6 150	10 160	61 290
Norway/Norvege	160	190	3 800	40	..	1 500	2 260	1 840	9 790
Poland/Pologne	..	39 620	58 440	19 840	3 280	240	2 740	9 350	133 960
Portugal	..	3 630	8 980	320	50	..	110	4 620	17 710
Slovak R./R.slovaque	4 490	..	8 680	..	260	1 690	..	1 400	16 590
Spain/Espagne	..	21 780	28 510	5 940	..	..	9 510	27 590	..
Sweden/Suede	..	58 640	29 470	1 250	920	11 270	..	4 170	105 710
Switzerl./Suisse	..	..	1 130	..	210	11 900	..	4 910	18 140
Turkey/Turquie	..	..	17 500	13 890	3 240	..	..	29 740	64 350
UK/Royaume-Uni	540	96 390	45 000	6 180	1 390	109 000	30 320	36 120	323 430

Çizelge 2'deki rakamların da gösterdiği gibi dünyada atık üretimi önüne geçilmez bir sorun haline almıştır. Bu nedenle değişik çözüm arayışlarına gidilmiş, atık yönetim sistemleri ortaya çıkmıştır.

### **1.1.1. Atık yönetimi**

Gelişmiş ülkelerde atık yönetimi ile ilgili çalışmalar olmakla birlikte, geçmişte çok detaylı çalışmalar yapılmamıştır (ADEDIBU,1985). Atık yönetiminin geliştirilmesi ve uygulama kapasitesinin güçlendirilmesi oldukça yüksek maliyetler gerektirmekte ise de, bu alanda hiç yatırım yapmamanın dolaylı maliyeti çok daha yüksektir. Etkin bir atık minimizasyonu ve geri dönüşüm sağlanamadığı takdirde, oluşacak çöp dağları, çevre ve insan sağlığını tehdit edecek, çevrenin bu atıkları bertaraf edebilme kapasitesinin zorlanması ile doğadaki yaşam olanaklarının tükenmeye yüz tutması kaçınılmaz olacaktır (Sayıştay, 2007).

Dünyada üretilen atık miktarı o kadar artmıştır ki düzgün planlanmış bir atık yönetimi yapmak kaçınılmaz bir durumdur (AGAPITIDİS, 1998). Bu nedenle atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertaraf edilmesi ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren atık yönetim sistemleri sayesinde, ülkemizde olduğu gibi dünyada da atık üretiminin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından önerilen atık yönetim piramidine göre ilk aşama atığın oluşmasının önlenmesi, eğer bu sağlanamıyorsa atığın minimizasyonu, diğer bir deyişle atığın en aza indirilmesi, daha sonra atığın yeniden kullanımı, eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşüm sonra enerji geri kazanımının sağlanmasıdır. Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem ise bertaraf etmedir(Düzenli depolama, yakma gibi) (İnt.Atık Yönetimi,2010).

### **1.1.2. Atığın kaynağında azaltılması**

Atığın kaynağında azaltılması atık yönetim hiyerarşisinin en üst basamağında yer alır (BAI, 2002). Aslında atığın kaynağında azaltılması, atığın kaynağında azaltılması ve atığın geri kazanımı olmak üzere 2 başlık altında incelenmelidir (HOPPER, 1993). Olabildiğince az atık oluşursa geri dönüştürülecek ve/veya depolanacak maddelerin miktarı azalacağından atığın kaynağında azaltılması atık yönetimde ilk ve en önemli aşamadır. Bu sistem atığın miktarının ve çevre üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerin azaltılabilmesi için hammadde ve ürünlerin tasarımı, üretimi ve tüketimi aşamalarındaki stratejik revizyonlar olarak

tanımlanabilir. Atığın önlenmesi aynı zamanda atığın tekrar kullanımını öngörmektedir.

Atık üretiminin önlenmesi, atık oluşumuna neden olabilecek faaliyetlerde yapılacak modifikasyonlarla mümkün olacaktır. Örneğin gelişen teknoloji ile birlikte faks veya dokümanların dijital ortamlarda kullanılması -kâğıda basılmaması- kağıt tüketimini azaltacaktır.

### **1.1.3. Atığın özelliğine göre ayrılması**

Atıkların zararlı etkilerinin azaltılması, depolanması, bertaraf ve geri kazanımı açısından özelliklerinin tespit edilerek ayrıştırılması büyük önem arz etmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde kağıt, plastik, bitkisel artıklar evsel katı atık olarak algılanıp beraber toplanırken (US EPA, 1992), Avrupa'da bu tür atıklar geri kazanabilir, değerlendirilebilir atıklar olarak ayrılmaktadır (HOCKETT, 1995). Örneğin cam türü atıklar ile plastik atıkların bir arada bertaraf edilmesi kullanışlı bir yöntem olmadığı gibi, geri dönüşüm açısından da zararlıdır. Bu nedendir ki sağlıklı bir atık yönetimi için atığın cam, kâğıt, plastik vb. özelliklerine göre ayrıştırılması gerekli ve zorunludur.

### **1.1.4. Atığın toplanması**

Tüm atıkların kaynağında ayrı toplanması için bu atıkların oluştuğu yerlere yeterli büyüklükte ve sayıda atığın türüne ve niteliğine uygun konteynırlar konmalıdır. Tehlikeli atıklar için kapalı konteynırlar kullanılmalıdır. Her bir konteynır üzerine, içerisine atılacak atığın türünü belirten bilgi ve uyarı etiketleri yazılmalıdır. Farklı atıklar için farklı renklerde konteynırlar da kullanılabilir. Bu şekilde bir uygulama atıkların kaynağında ayrı toplanmasındaki başarıyı yükseltecektir (İnt.Atık Yönetimi,2010). Avrupa'da İsviçre gibi gelişmiş düzeydeki ülkeler 1 ocak 2000'den beri atıklarını ayrı ayrı toplamak zorundadır (SAEFL, 1990). Bu gibi yaptırımlarla atığın toplanması esnasında miktarında azaltmaya gidilebilir.

### **1.1.5. Atığın geçici depolanması**

Kaynağında farklı konteynırlarla ayrı olarak toplanan atıkların, tesis içerisinde güvenli ve mevzuata uygun şekilde depolanması için bir "Geçici Atık Depolama Alanı" kurulmalıdır. Tehlikeli atıklar, ambalaj atıkları ve evsel atıklar için farklı

depolama sahaları kurulabilir. Tehlikeli atıkların geçici depolanacağı alan; tesis sahası içerisinde, sızdırmaz beton zeminli, üzeri kapalı, dökülme ve sızıntılara karşı önlem alınmış, farklı atıklar için farklı bölümler oluşturulmuş ve farklı atıkların bu bölümlerde ayrı olarak uygun şekilde (gerektiğinde konteynir içerisinde) depolanacağı bir alan olmalıdır. Ayrıca bu sahada yangına ve acil durumlara karşı da tedbir alınmalıdır (İnt.Atık Yönetimi, 2010).

#### **1.1.6. Atığın ara depolanması**

14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 4'üncü maddesine göre atığın ara depolanması; atıkların geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan önce yönetmeliklerce belirlenmiş süre boyunca veya atık miktarı yeterli kapasiteye ulaşuncaya kadar güvenli bir şekilde depolanmasını ifade eder.

#### **1.1.7. Atığın geri kazanılması**

Atıkların vahşi veya düzenli depolama maliyetlerinin 1980 ve 2000 yılları arasında önemli miktarda artış göstermesi atıkların geri kazanılmasının hızlanmasına, ambalaj, kutu gibi atık üreticilerinin ise geri kazanılabilir ambalajlar üretmesine neden olmuştur (KINNAMAN, 2005).

Geri dönüşüm terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır.

Tüketilen maddelerin yeniden geri dönüşüm halkası içine katılabilmesi ile öncelikle hammadde ihtiyacı azalır. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak artan tüketimin doğal dengeyi bozması ve doğaya verilen zarar engellenmiş olur. Bununla birlikte yeniden dönüştürülebilen maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar (İnt.GeriDönüşüm,2010).

### **1.1.8. Atığın taşınması**

Tehlikeli atıklar, sadece Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan lisans almış olan firmalar ve atığın özelliklerine uygun teknolojiye sahip araçlar tarafından taşınabilir. Atık üreticisinin valilikten temin edeceği "Atık Taşıma Formları'nın" araçta bulundurulması zorunludur. Üç yıl için geçerli olan taşıma lisansı, firmaya ve taşıyacak araçlara verilmekte, süre bitiminde ise yenilenmesi gerekmektedir (T.A.K.Y.Md.11-14).

### **1.1.9. Atığın bertaraf edilmesi**

Atık miktarının minimuma indirilmesi, geri kazanımı ve yeniden kullanılması esastır. Şu an tüm Dünya'da çevrecilerin çözmesi gereken en büyük problem atıkların miktarlarının azaltılması ve bertaraf metotlarının geliştirilmesidir (ANNEGRETE, 2001).

Tehlikeli atıkların üretilmesi önlenemiyor ve geri dönüşümü mümkün olmuyor ise çevre ve insan sağlığını gözeterek bertaraf edilmesi yoluna gidilmelidir. Atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler yoluyla insane ve çevre sağlığına yönelik tehlikeli özellikleri azaltılmalıdır.

Uygun bertaraf yöntemlerinin seçiminde atıkların sahip olduğu doğal karakteristikler belirleyici olabilmektedir. Örneğin pestisid atıkları ve PCB (Poliklorlu bifeniller) gibi tehlikeli atıklar en uygun olarak yüksek ısılarda yakılarak bertaraf edilirken, daha az tehlikeli atıklar için depolama yöntemi kullanılabilir.(HMSO, 1993) Başka bir açıdan bakmak gerekirse; sıvı atıklar varillere konularak yalıtımlı yerlerde depolanırken, katı atıklar big bag veya geçirimsiz poşetlerde muhafaza edilebilirler.

### **1.1.10. Atık sınıfları**

Atıklar literatürde çeşitli ölçütler göz önüne alınarak sınıflandırılmaktadır. Bu ölçütler, tüketim, dağıtım, üretim, teknik, kimyasal, fiziksel özellikleri, orijini, kompozisyonu, tehlikesiz zararı vb. olabilmektedir. Ancak atıkların sınıflandırılmasında, farklı yaklaşımlardan kaynaklanan birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin bir sınıflandırmada, tıbbi atıklar, tehlikeli atık kategorisinde değerlendirilirken, bir diğer sınıflandırmada tehlikeli atıklardan bağımsız olarak ele

alınabilmektedir. Aynı durum radyoaktif atıklar için de söz konusu olabilmektedir. Yine tehlikeli, toksik, zararlı ve zehirli atık kavramları eşanlamlı olarak kullanılabilirken, ayrı kavramlar olarak değerlendirildikleri görülmektedir (ERDOĞAN, 2003).

#### **1.1.10.1.Evsel Atıklar**

Konutlardan ve/veya iş yerlerinden ortaya çıkan içlerinde tehlikeli zararlı madde içermeyen atıklara 'evsel atıklar' denir. Yiyecek atıkları, şampuan ambalajları, meyve suyu kartonları ve şişeleri, plastik su ve meşrubat şişeleri, cam kavanozlar, teneke ve metal konserve kutuları evsel atıklara örnek verilebilir. Üretilen evsel atık miktarı hızla büyüyen nüfusa ve yükselen yaşam standartlarına bağlı olarak artmaktadır (GUNTHER, 1997).

#### **1.1.10.2.Tıbbi Atıklar**

Hastane, klinik ve muayenehane gibi sağlık ve tedavi merkezlerinden çıkan atıklar ile kullanılmış ilaç, tıbbi malzeme, ameliyat ve tedavi sırasında oluşan atıklar tıbbi atıklara örnek verilebilir.

#### **1.1.10.3.Tehlikeli Atıklar**

Sanayi ve çeşitli üretim tesislerinde ortaya çıkan insan ve çevre sağlığına zarar verecek olan atıklara 'tehlikeli atıklar' denir. Örneğin; pil, boya, akü ve çeşitli kimyasallar.

#### **1.1.10.4.Endüstriyel Atıklar**

Sanayi ve üretim tesislerinde bir işlem sırasında veya sonrasında ortaya çıkan atıklara 'endüstriyel atıklar' denir.

#### **1.1.10.5.İnşaat Atıkları**

Yapılan inşaatlar, yıkımlar, evlerdeki tamiratlar sırasında ortaya çıkan taş, toprak, demir, tahta türü atıklara 'inşaat atıkları' denir.

## 1.2. Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atıklar; evsel ya da sanayi kökenli olabilen ve yasal olarak tehlikeli sınıfına giren, toplanmaları, taşınmaları ve bertaraf edilmeleri için daha fazla insan sağlığı ve çevre koruma önlemleri alınması gereken atıklardır. Tehlikeli Atık olarak tanımlanan her atık türünün bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde çevreye uygunsuz deşarj edilmesi, atılması çok büyük cezaları gerektirir (WEBER, 1997).

Her ülke yönetmeliklerce ve yaptırımlarla tehlikeli atıkları kontrol altında tutmaya ve miktarını en aza indirmeye çalışmaktadır (CHAABAN, 2001). Bir atığın tehlikeli olup olmadığına karar vermede esas alınan kriterler, bileşimi, içindeki bileşenlerin miktarları, içindeki bileşenlerin kimyasal reaktifleri, fiziksel durumu, çevreye etkileri ve kalıcılığı şeklinde özetlenebilir.

Bir atığın tehlikeli atık olarak değerlendirilebilmesi için atığın sahip olması gereken bazı karakteristikler belirlenmiştir:

- Yanıcı ve tutuşabilir olmak,
- Kendi kendine tepkimeye girmek,
- Patlayıcı olmak
- Çürütücü ve paslandırıcı olmak
- Radyoaktif özellikler göstermek
- Bulaşıcı olmak
- Tahriş edici olmak
- Hassas olmak (Lagrega, 2001)

## 1.2.1. Tehlikeli atık türleri

### 1.2.1.1. Kimyasal Atıklar

Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) olarak adlandırılan endüstriyel kimyasallar ve bunların atıkları, doğal sistemlerin maruz kalabilecekleri en sorunlu kimyasallar olup tehlikeli sayılmalarına ilişkin olarak şu özellikleri öne çıkmaktadır.

Toksisite: Çeşitli toksik etkilere yol açarak biyolojik sistemleri sekteye uğratırlar.

Kalıcılık: Doğal parçalanma işlemlerine mukavemet eden dengeli bileşikler olup, çevrede kalıcı olma özelliği taşırlar, zehirli etkileri çok uzun süre devam eder.

Biyoakümülyasyon: Bunlar besin olarak tüketilen sıvı yağlar, süt, tereyağı, et ve insan dokuları gibi yağlı maddelerde birikir, yoğunlaşır. En yüksek kalıcı organik kimyasal düzeylerine, besin zincirinin başında yer alan kutup ayısı, dişli balina, fok ve insan gibi avcı hayvanlarda rastlanmaktadır. Bunun nedeni, bu kimyasalların ve atıklarının bir hayvanın bedeninde, kirlenmiş bir diğer hayvanı yemesi sonucunda birikmesidir. (Int., Tehlikeli Atık Türleri, 2008)

Bu kimyasallar küresel kirleticilerdir. Yayıldıkları yakın çevreyi kirlittikleri gibi, akarsularla, atmosferik hareketlerle ve okyanus akıntılarıyla binlerce kilometre yolculuk da yapabilmektedirler.

### 1.2.1.2. Tıbbi Atıklar

Canlılara yönelik aşılama, tedavi, araştırma ve teşhis yöntemlerinde kullanılan tüm katı, sıvı veya gaz halindeki maddeleri içeren genel bir terimdir. Klinik veya enfekte atıklar olarak da adlandırılabilir.

Tıbbi atıkların tümü tehlikeli atık olarak nitelendirilmemekle birlikte, toksik, korozif, radyoaktif veya yanıcı maddeler ile her türlü kesici, delici veya benzeri özelliklere sahip aletler, enfekte ve tehlikeli olduklarından, evsel nitelikteki atıklarla bertaraf edilmemesi gerekir (TÇV,1995).

Tıbbi atıklar, hastalar ve hastalık yapıcı mikroorganizmalar ile doğrudan temas etmiş; genler üzerinde toksik etkisi olan ve enfekte özelliklere sahip atıklardır.

Havada, suda ve toprakta kalıcı özellik gösteren ve ekolojik dengeyi bozan bu atıklar, tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmekte olup; üretimi, taşınması, depolanması ve yok edilmesine ilişkin özel önlemler alınması gerekmektedir (BULUT, 1995).

### **1.2.1.3. Radyoaktif Atıklar**

Radyoaktif atıklar, her türlü radyoaktif maddenin değişik alanlarda kullanımları sonucu meydana gelmektedir. Bu atıkları diğer toksik endüstriyel atıklardan ayıran en belirgin özellik radyoaktif olmalarıdır. Radyoaktif maddeler tıp, endüstri, tarım alanlarında kullanıldığı gibi, büyük ölçüde ısı ve elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır.

Türkiye’de üretilen radyoaktif atıkların ana kaynakları şunlardır;

- Nükleer araştırma reaktörleri
- Özel tıp laboratuvar ve merkezleri
- Hastaneler
- Üniversite ve diğer araştırma laboratuvarları
- Endüstriyel izotop kullanan kuruluşlar(TOPBAŞ,1998)

Radyoaktif atıklar, radyasyon yaydıklarından, çevreyi bu radyasyon tehlikesinden korumak için önlemler alınması zorunludur. Bu tür atıkların tehlikeli atık depolama tesislerinden daha güvenli ve donanımlı tesislerde depolanmaları gereklidir (ZANBAK, 1997).

### **1.2.2. Tehlikeli atıkların toplanması**

Tehlikeli atıkların diğer atıklarından ayrı olarak toplanması esastır. Tehlikeli atıkları diğer atıklardan ayırmak mümkün değil ise karışık atık grubunun bütünü tehlikeli atık olarak nitelendirilmeli ve taşınması, depolanması, arıtılması ve bertaraf edilmesi tehlikeli atıklara ilişkin esaslara göre gerçekleştirilmelidir. Doğal olarak karışık atık grubuna yapılacak olan her işlemin maliyeti diğer ayrıştırılmış atıkların

maliyetinden daha yüksek olacaktır. Tehlikeli atıkların usulüne göre toplanması bu açıdan büyük önem arz etmektedir (TENİKLER, 2007).

### **1.2.3. Tehlikeli atıkların taşınması**

Tehlikeli atıklar sadece Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan lisans almış olan firmalar tarafından ve atığın özelliklerine uygun teknolojiye sahip araçlar tarafından taşınabilir. Atık üreticisinin valilikten temin edeceği Atık Taşıma Formları'nın araçta bulundurulması zorunludur.

Üç yıl için geçerli olan taşıma lisansı firmaya ve taşıyacak araçlara verilmekte, süre bitiminde yenilenmesi gerekmektedir.

Tehlikeli atıkların taşınması, depolanması ve ambalajlanmasına ilişkin uygulamalarda atığın tehlike derecesine bağlı olarak özel etiketleme işaretleri kullanılmalıdır.

### **1.2.4. Tehlikeli atıklara yönelik bazı bertaraf yöntemleri**

Atıkların geri kazanılmasının ve tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraf edilir. Bertaraf sistemleri Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Ek 5) deki tehlikeli kabul edilen atıkların özelliklerine ve uygun teknolojilere göre seçilir.

#### **1.2.4.1. Gömme ve Düzenli Depolama**

Gömme yöntemi, atıkları bertaraf edilmesinden sorumlu kuruluşlarca kabul edilmeyen üretim tesisleri tarafından, yönetmeliklere uygun geçirimsizlik özelliğine sahip boş arazilere uygulanmaktadır. En ucuz ancak en sağlıksız bertaraf yöntemidir. Atıkların tesislere taşınma maliyetlerinin yüksekliği tesisleri bu yöntemi uygulamaya itmektedir. Kullanılmış taş ocakları, madenler yönetmeliklerce belirtilmiş zemin geçirimsizliği sağlanarak gömme alanı olarak kullanılabilir.

Tehlikeli ve zararlı atıkların değerlendirilme olanağı yok ise çevre güvenliğini sağlanabilmesi için özel lotlarda düzenli olarak depolanmaları gerekmektedir.

Dünyada kullanılan en yaygın atık bertaraf yöntemi düzenli depolamadır. Dünyadaki tüm atıkların %95'i depolanmaktadır (FADEL, 1997). Depolama

yöntemi tehlikeli atıkları kimyasal olarak zararsız bir hale getirmeye yetmese de söz konusu atıkların risklerini kontrol edebilmek açısından çevreden izole edilmelerini sağlamaktadır. Bu yöntem yakma yöntemi kullanan tesislerden kalan atıkların, kül ve cürufun bertaraf edilmesi için de gereklidir.

Düzenli tehlikeli atık depolama sahaları, her ne kadar gerekli ise de sayıları ülke çapında gruplandırmalar yapılarak sınırlandırılmalıdır. Bu tür atık bertaraf tesislerinin yakma ve geri kazanma tesisleri ile bütünleşik bir şekilde kurulması ve lisanslı hale getirilmeleri de denetim açısından yararlı olacaktır (ZANBAK,1997). Ayrıca düzenli atık depolama sahaları için en uygun finans kaynağı, söz konusu sahaya atıkları depolanan atık üreticilerinden alınacak vergi veya kullanım ücretleridir (ROBERT, 2009).

#### **1.2.4.2. Katılaştırma**

Kısmen tehlikeli ve toksik olarak nitelendirilen sanayi atıklarının katılaştırılarak kalıplar haline getirilmesi işlemi olan katılaştırma (solidifikasyon/stabilizasyon), gelişmekte olan bir teknolojidir. Atıkların düzgün depolanmasını veya başka amaçlar için kullanılmasını sağlayan bu prosesler, atıklara depolanan alanda uygulanabilir. Zararlı maddelerin katılaştırılmasında çimento ve kirecin yanı sıra çeşitli katkı maddeleri de kullanılabilir (Alyanak,1995).

#### **1.2.4.3.Yakma**

Tehlikeli ve zararlı maddeler yakıldığı zaman zararsız bileşiklere dönüşüyorsa ya da yakma işlemi sonucunda oluşan gazlar o bölgede belirlenmiş hava kirlilik limitlerini aşmıyorsa yakarak uzaklaştırma yöntemi uygulanabilmektedir (ALYANAK,1995).

Yakma, organik bileşikli atıkların bertarafı için kullanılan bir yöntemdir. Organik bileşiklerin hacimleri yanma işlemi sırasında önemli ölçüde azalmaktadır. Zehirli madde bulunan organik içerikli atıklar tehlikesiz bileşiklere dönüştürülerek çevreye zararı minimuma indirgenmektedir. Son zamanlarda Japonya ve bir çok avrupa ülkesinde katı atıkların bertaraf edilmesi amacıyla atık hacimlerini %90'a varan oranlarda azaltan yakma metodu tercih edilmektedir (C.S. KIRBY, 1993).

Tehlikeli atıkları hijyenik olarak zararsız hale getirmek, hacmini azaltmak ve kısmen enerji elde etmek için uygulanan yakma işleminde inşa edilecek yakma tesisleri birçok yeterli teknik özellikleri sağlamalıdır. Özellikle baca gazları emisyonları açısından gereken önlemlerin alınması son derece önemlidir (TOPBAŞ,1998).

Yakma işlemi hava kirliliğine neden olduğu gerekçesiyle oldukça eleştirilen bir yöntemdir. Bu nedenle yakma sonrası oluşan baca gazı, bazı yöntemlerle temizlendikten sonra atmosfere verilmelidir.

Uygulamada süspansiyon, ızgara, ya da yekpare fırın gibi değişik yakma yöntemleri mevcuttur. Yekpare fırın tipleri; 2 yakma odalı fırın, sabit fırın, döner fırın ve çok ocaklı fırınları olarak sıralanabilir. Dünyada tehlikeli atıkların yakılarak bertaraf edilmesi için sayılan tip fırınların tümü kullanılmaktadır. Ancak bunlardan süspansiyon ve yekpare tip olan sistemler en yaygın kullanılanlarıdır. Amerika'da sıvı ve katı atıkların bertaraf edildiği tehlikeli atık yakma tesislerinin % 75'i döner fırın tipindedir. 2 yakma odalı ve sabit fırınlar yaklaşık % 15, çok ocaklı ve girdaplı tabakalı yakma fırınları yaklaşık % 10 oranında kullanılmaktadır. Bu sistemlerde aynı zamanda sıvı tehlikeli atıklar da yakılarak bertaraf edilmektedir (Zanbak, 1997).

### ÇİZELGE 3: Tehlikeli atıkların yakıldığı fırın tipleri (Ernst & Sohn, 1994)

Fırın tipi	Uygulama alanı	Yakma ünitesi için yatırım maliyeti	Gaz emisyonları	Katı artıklar
<b>ızgara fırını</b> - Doğru Yatay ızgara - Ters akışlı yatay ızgara - Silindirik ızgara	Kalorifik değeri (2.250-3.800kcal/kg) olan karışık katı atık; evsel katı atıklar için standart yöntemdir.	% 100	% 100	% 100
Akışkan yataklı fırınlar	Çok düşük veya çok yüksek kalorifik değere (1.500 – 10.000 kcal/kg) sahip homojen atıklar için uygulanır. Akışkanlaştırılmış yatakta yakılacak atıkların öncelikle tasnif edilip homojenize edilmeleri gerekir.	% 125	% 100	% 98
Döner silindir fırını	Düşük veya yüksek kalorifik değerlere (2.000 – 10.000 kcal/kg) sahip çamurlu, sıvı veya katı karışık atık ve tehlikeli atıklar için kullanılır.	% 150	% 82	% 100

Tehlikeli atıkların yakıldığı tesisler, tam yanmanın sağlanabileceği şekilde işletilmelidir. Bunu sağlamak için bazen uygun tekniklerle atıklara ön işlemlerinin uygulanması gerekebilir. Ayrıca yakma tesislerinden oluşan ısı mümkün olduğunca geri kazanılmalıdır.

Atıkları çimento fabrikalarında yakma, hem Avrupa'da hem de Amerika'da özellikle kalori değeri yüksek olan evsel nitelikli atık ve tehlikeli atıkların yakılmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Genç, 2001).

Yakma yönteminin avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir:

#### Avantajları:

- Bulaşıcı hastalık yayan atıkların tamamıyla yok edilmesini sağlar.
- İşlenmiş atık tanınmaz kül haldedir.
- Organik atıkları inorganik hale dönüştürür.
- Geniş toprak ve alan gerektirmez.
- Geride çok az katı atık bırakır.
- Bazı ünitelerden enerji elde edilebilir.
- Atık miktarı %7-10'a kadar indirilebilmektedir.

#### Dezavantajları:

- Sulu atıklar, klorlanmış atıklar (bazı plastikler asit gazları meydana getirir), ve büyük miktarda metal içeren atıklar için uygun değildir.
- Hidrojen klorür, dioksin gibi toksik gazlar açığa çıkararak üzere hava kirliliğine neden olabilir.
- Yüksek ısıya ulaşılması gerektiği için idamesi zor ve pahalı olan tesislerdir.
- Tesisin uygun çalışması, ancak yetkili uzman personelin yönetimi ile mümkündür. Bu da işletmeye maddi külfet doğurur.

- Yasal düzenlenmelere tabidir. Bir çok limit değeri sağlamalıdır. Bu nedenle ek yatırımları da beraberinde getirir.

ABD gibi ekonomik düzey yüksek olan bir ülkede bile yüksek maliyet nedeniyle; 1985'te Kaliforniya'da 146 adet atık yakma fırını varken, 1995'te 4'e indirilmiştir (CANDAR, 2003).

Türkiye'de ise şuan 3 adet yakma tesisi vardır: İzaydaş, Petkim, Tüpraş.

#### **1.2.4.3.1. İzaydaş**

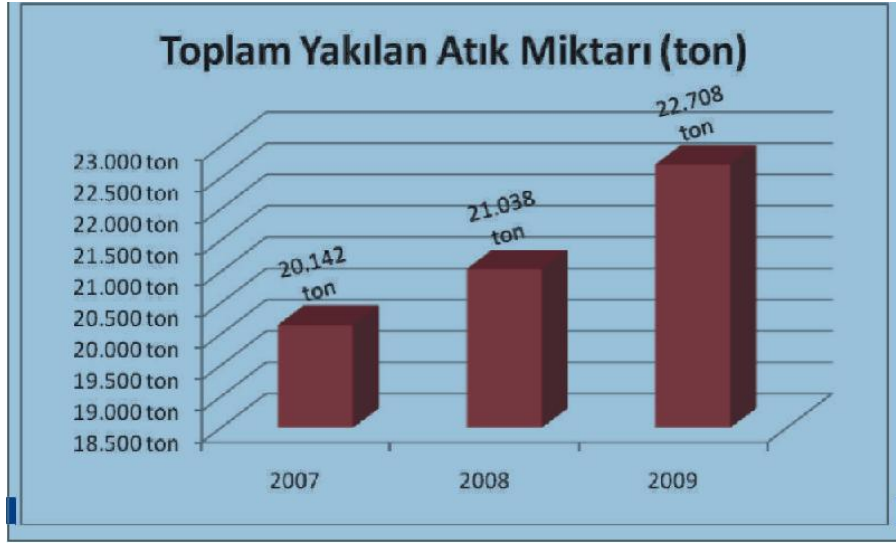
1990'lı yılların başında İzmit Büyükşehir Belediyesi tarafından; hava, yer altı suyu ve toprak kirliliğinin önlenmesi, İzmit Körfez'indeki kirliliğin önlenmesi, koku probleminin giderilmesi, kentsel arazi kullanımının geliştirilmesi ve değer kaybının önlenmesi, insan ve çevre sağlığının korunması amacı ile İzmit Entegre Çevre Projesini hayata geçirmeye karar vermiştir. İzmit Entegre Çevre Projesi Kapsamında;

- Klinik ve Tehlikeli Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi
- Eysel ve Endüstriyel Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi
- İzmit Doğu Kısmı Endüstriyel ve Eysel Atıksu Arıtma Tesisi
- Atık Su Kollektörleri
- Dere Islah projelerinin yapımı öngörülmüştür.

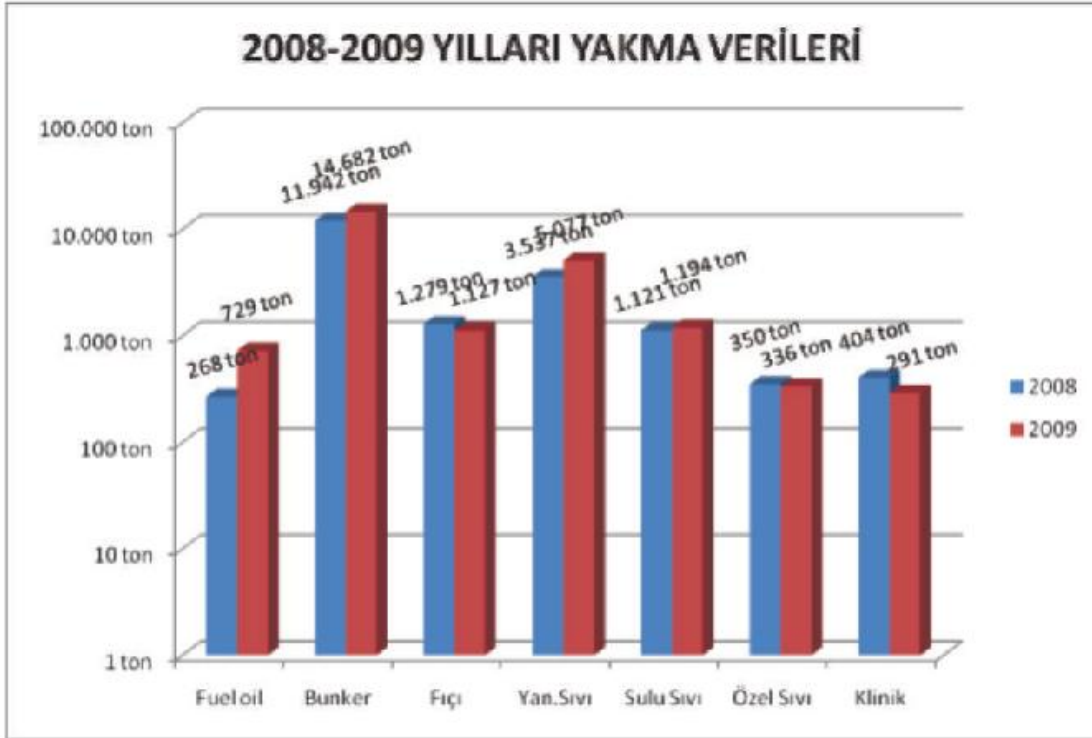
İzmit Entegre Çevre Projesi kapsamındaki projeleri işletmek üzere Mayıs 1996 İzmit Büyükşehir Belediyesi'nce İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.) adlı şirket kurulmuştur.

İZAYDAŞ adı altında çalışmalarına devam eden İzmit Tehlikeli Atık Yakma Tesisi'nin çalışma prensibi; endüstriden kaynaklanan plastik ve lastik atıkları, kullanılmış yağ, ilaç ve kozmetik atıkları, petro-kimya atıkları, PVC, solvent, boya artıkları, yapıştırıcı ve yapışkanlar, bunların ambalajları, standart dışı ve süresi geçmiş ürünler, arıtma çamurları, vb. tehlikeli atıklarla klinik atıkların yakılarak bertaraf edilmesine dayanır. Patlayıcı maddeler, radyoaktif atıklar, mezbaha atıkları, dışkı ve kadavralar tesise kabul edilmemektedir (İzaydaş, 2009).

**ŞEKİL 1:** Geçtiğimiz 3 yılda İZAYDAŞ Yakma Tesisinde Bertaraf Edilen Atık Miktarları (ton/yıl) (İzaydaş, 2009)



**ŞEKİL 2:** 2008-2009 yıllarında İZAYDAŞ Yakma Tesisinde Bertaraf Edilen Atık Tip ve Miktarları (ton/yıl) (İzaydaş, 2009)



Yakma faaliyetleri sonucunda 5,2 MW/saat elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahip olan tehlikeli atık yakma tesisinin yıllık bertaraf kapasitesi 35.000 ton'dur. Tesis; Kocaeli, Bursa, Yalova, Sakarya illerinden kaynaklanan tehlikeli atıkların bertaraf edilmesi amacıyla dizayn edilmiş olup, Türkiye de atık bertaraf edilmesi

konusunda faaliyet gösteren en büyük lisanslı kuruluş olması sebebiyle tüm Türkiye'ye hizmet vermektedir (TENİKLER, 2007).

#### **1.2.4.3.2. Tüpraş atık yakma tesisleri**

Tesis 2009 yılına kadar lisansı devam eden ancak yıllık 7.750 tonluk kapasitesiyle sadece kendi atıklarını yakma kapasitesine sahip bir tesis niteliğindedir. Tesiste petrol ve tank dibi çamuru arıtma çamuru ile karıştırılarak yakılması sonucu enerji elde edilir.

#### **1.2.4.3.3. Petkim atık yakma tesisleri**

Petkim Petrokimya A.Ş. tarafından 4 Şubat 2004 tarihinde kurulan Petkim Atık Yakma Ünitesi'nde yanabilir nitelikteki ve üretimden kaynaklanan tehlikeli atıklar, atık yağ ve arıtma çamurları yakılarak bertaraf edilebilmektedir. Tesis 17.500 ton/yıl kapasiteye sahiptir ve bunun 10.000 ton/yıl kapasitesi 1 Mart 2007 tarihinde sanayinin hizmetine açılmıştır. (SAKLICA, 2007).

Tesisin yakma bölümü için döner silindir tip fırın kurulmuştur. Döner silindirik fırınların dönme hızları, proses ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir ve bu değerler üreticiden üreticiye göre değişebilir. Dolma derecesi, yaklaşık % 5'tir. (WÜRZBURG, 1994). Tesis tam kapasite çalıştırıldığında; yıllık 6 bin 800 ton katı atık, 8 bin 550 ton arıtma çamuru ve 2 bin 750 ton atık yağ bertaraf edilmektedir. Bu işlemler sırasında saatte 11,5 ton yüksek basınçlı su buharı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu buhar Petkim içerisinde faaliyet gösteren diğer fabrikalarda kullanılarak üretim maliyetleri düşürülmektedir.

Yanma 1100 °C sıcaklıkta gerçekleştiğinden dioksin ve furan gibi tehlikeli gazların oluşması engellenmektedir. İleri yakma teknolojileri kullanılarak tasarlanmış tesiste, yanma sonucu oluşan gazlardan yüksek basınçta buhar elde edilmekte ve atık gazlar aktif karbon filtrelerinden geçirilerek çevre kirlenici etkileri yok edilmektedir.

Ayrıca tesis bacası; "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY)" ve "95/55/EC Direktifi"ne göre sürekli ölçülmesi gereken parametreler için gerekli baca gazı arıtma teknolojisiyle donatılmış olup, Yönetmelik değerleri aşıldığında tesis otomatik olarak devre dışı kalacak şekilde planlanmıştır.

Ege bölgesindeki sanayiciler için önce bilgilendirme ve tanıtım toplantısı yapan Petkim, 1 Mart 2007 tarihinde Philips Philip Morris ile ilki gerçekleştirilen dışarıdan atık alımı ile atık yakma tesisi ticari olarak çalışmaya başlamıştır. Daha sonra liman, atık giderme, depolama, laboratuvar gibi hizmetlerini sanayicilerin kullanımına açmıştır.

Tesiste yakılabilecek atık türleri Çevre ve Orman Bakanlığının vermiş olduğu "İşletme Lisansı" ile belirlenmiştir. Atık Yakma Menüsü'nde geniş çapta üretimden ve atık su arıtmalarından kaynaklanan çamurlar ve yağlar bulunmaktadır. Dışarıdan alınacak atıkların sektör ve atık tanımı olarak menüde verilen kodlara uygun olması zorunludur (SAKLICA, 2007).

### 1.3.Küller

Yanmış organik maddelerden geri kalan atığa kül denir. Maddeleri oluşturan yapı taşlarının yüksek ısıya maruz kalmaları sonucu oluşturdukları grimsi toz şeklinde görülen bir maddedir. Yakılan maddenin yapısına göre külün rengi, görüntüsü, kokusu değişebilir (Int. Kül, 2010).

Termik santrallerde ve yakma tesislerinde çok ince öğütülerek yakılan yakıtlardan üç farklı kül elde edilmesi mümkündür.

- Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen "taban külü",
- Siklon tipi ocaklarda yakılan yakıtın suda soğutulmuş olarak uzaklaştırılması ile elde edilen "ham kül" veya "cüruf"
- Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan "uçucu kül".

Türkiye'de elektrik enerjisinin bir bölümü kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda doğalgazdan da elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Düşük kalorili linyit kömürlerin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz halindeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektrostatik filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, **uçucu kül** adı verilmektedir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de **taban külü** denmektedir.

Türkiye’de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan, Yeniköy ve Sugözü termik santralleri faaliyette olup, bu santrallerde yılda yaklaşık 15 milyon ton, dünyada ise 600 milyon ton civarında uçucu kül elde edilmektedir (KARAHAN, 2006).

**ÇİZELGE 4:** Uçucu ve Taban Küllerinin Fiziksel Özellikleri (Mattigod, 1990)

<b>Fiziksel Özellik</b>	<b>Uçucu Kül</b>	<b>Taban</b>
Partikül çapı ( $\mu\text{m}$ )	20–80	500–7000
Özgül Ağırlık ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,59–3,1	2,17–2,78
Özgül Yüzey Alanı ( $\text{cm}^2$ )	200–1060	400
Geçirgenlik katsayısı	5,10–9/1, 10–6	2,5–9,4
Parçacık dağılım katsayısı	2–9,8	8,2–8,8

Uçucu küllerin özgül yüzey alanları 1060  $\text{m}^2/\text{kg}$  değerinde iken taban küllerinin yüzey alanı ortalama 400  $\text{m}^2/\text{kg}$ 'a kadar ulaşabilmektedir. Uçucu küllerin geçirimsizlik katsayıları ise taban külüne oranla daha düşüktür.

Uçucu küller, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verdiği olanaklar nedeniyle dünya ülkelerinde sanayide, teknikte ve inşaat endüstrisinde kil ve diğer doğal malzemenin yerine kullanılarak doğal malzemenin korunmasında, zemin stabilizasyonunda çimento ve beton üretiminde, tuğla ve ateş tuğlası üretiminde, baraj gövdesinde, enjeksiyonda, yol dolgu malzemesi olarak, temel ve alt temel malzemesinde, endüstriyel katı atık sahalarında taban ve günlük örtü malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlara ek olarak, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı engelleyici katkı malzemesi olarak, tarımda sıkı toprağın gevşetilmesi ve nem tutma yeteneğini artırmak, maden ocaklarında filtre olarak, petrol kuyusu sondajlarında, metal yüzeylerin püskürtme yöntemiyle temizlenmesinde kullanılabilir (ERDOĞAN,1993).

Atıkların yakma yolu ile bertaraf edilmesi sonucu kül ve yanma gazları ortaya çıkar. Taban külü, uçucu külden farklı olarak;

- Çimento ile karıştırılarak yerel atık depo tesisi içerisinde zemini yalıtımlı yol yapımında kullanılabilir. Beton atık ve metaller ile kimyasal olarak birleşir ve izolasyonu sağlar (ERDOĞAN,1993).

#### 1.4.Beton

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, % 20 oranında su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %5'sinden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir. Betonun günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür:

- Ucuzluğu,
- Bilgisayar kontrollü santraller, trans mikserler, pompalar... vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,
- Şekil verilebilme kolaylığı
- Çelik donatı ile çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, uzun ömür, bakım kolaylığı

Hazır beton, dünyada ilk kez yüzyıl başında (1903) Almanya'da ortaya çıkmış, sonraki birkaç yıl içersinde de ABD'de görülmeye başlamıştır. 1914 yılında, Stephan Setephanian adında, Ermeni asıllı bir Türk göçmen tarafından beton taşıma amaçlı "transmikser" aracının geliştirilmesi ile hazır beton endüstrisinin Amerika'daki yaygınlığını artırmıştır. Özellikle savaş yıllarından sonra, bazıları bugün de faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur. İzleyen yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip, yaygınlaşmaya başlaması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede hazır beton üretilip, kullanılır olmuştur. 20.Yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve altyapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip, yaygınlaşmasını sağlamış, dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir.

Betonun içerisinde bulunan malzemelerin miktarları ve karışım oranları Türk Standartları Enstitüsünün 29.04.2005 tarihinde yayınlamış olduğu EN 206-1/A1 numaraları "Beton Özellik, Performans, İmalat Ve Uygunluk" başlıklı standardı kullanılmaktadır (TSE, Nisan 2005).

#### **1.4.1 Betonun Bileşenleri**

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırma taş), kimyasal katkıları ve mineral katkılarıdır. Kimyasal katkıları (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz...) mineral katkıları (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı...) betonun performansını istediğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşıp sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti, çimento hamurunun, agrega tanelerinin mukavemetine ve agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderans) bağlıdır.

##### **1.4.1.1. Çimento**

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve / veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında), çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürufu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır.

Normal betonda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına da bağlıdır. Çimentonun içeriğinin tanımlanması, çimentoyu yapmak için gerekli malzemelerin özellikleri Türk Standartları Enstitüsünün EN 197-1 numaralı standartlarıyla belirlenmiştir (TSE, Mart 2002).

#### **1.4.1.2. Agregada**

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.

Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706'ya uygun olmalıdır.

#### **1.4.1.3 Beton Karışım Suyu**

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

1. Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.
2. Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamak.

Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yok eder. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır.

#### **1.4.1.4. Katkılar**

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiksere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkılar olarak ikiye ayırmak mümkündür:

Kimyasal katkıların belli çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

##### **Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar)**

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.

##### **Priz Hızlandırıcılar**

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

##### **Hava Sürükleyici Katkılar**

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

## Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkıları, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

## Mineral Katkıları

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanır.

### 1.4.2. Betonda Aranılan Özellikler

Bu özellikleri iki grupta sınıflandırmak mümkündür:

#### A. Taze Betonda:

- İşlenebilirlik özelliği, uygun kıvam
- Taze betonun sıcaklığı
- Agreganın maksimum tane büyüklüğü
- Homojenlik, hava miktarı,
- Birim ağırlık

#### B. Sertleşmiş Betonda:

- Dayanım (basınç, çekme, eğilme, yarıma mukavemetleri)
- Dış etkenlere karşı dayanıklılık (geçirimsizlik, aşınmaya dayanıklılık)
- Ağırlık
- Isı, ses yalıtımı ve estetik (Brüt betonda dış görünüş)
- Ekonomi

### **1.4.3. Beton Üretimi**

Bilgisayar kontrolüyle istenilen oranlarda bir araya getirilen malzemelerin, beton santralinde veya mikserde karıştırılmasıyla üretilen ve tüketiciye 'taze beton' olarak teslim edilen betona ' Hazır Beton' denir.

Hazır betonu, şantiyede elle ya da betonyerle karıştırılarak hazırlanan betondan ayıran temel unsur, hazır betonun modern tesislerde, bilgisayar kontrolüyle üretilmesidir. Hazır beton kullanıcısının hazır betonda arayacağı nitelikler TS 11222'de yer almaktadır.

Hazır beton üretiminin su ölçme ve karıştırma işlemlerinin santralde veya transmikserde yapılmasına göre iki farklı şekli bulunmaktadır:

- Kuru Sistem
- Yaş Sistem

Kuru karışimli hazır beton, agrega ve çimentosu beton santralinde ölçülüp santralde veya transmikserde karıştırılan, suyu ve varsa kimyasal katkısı ise teslim yerinde ölçülüp karıştırılarak ilave edilen hazır betondur. Kuru karışimli hazır betonda şantiyede karışıma verilen su miktarına (formülde öngörülenden daha fazla olmamasına) ve karıştırma süresine (homojen bir karışım için yeterli süre) özel itina gösterilmesi gerekmektedir.

Yaş karışimli hazır beton, su dahil tüm bileşenleri beton santralinde ölçülen ve karıştırılan hazır betondur.

### **1.4.4. Beton Sınıfları**

#### **1.4.4.1.Basınç Dayanım Sınıfları**

Betonun basınç mukavemeti standart kür koşullarında (20 °C ±2°C kirece doymun su içerisinde) saklanmış, 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür. Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları, karşılığı silindir ve küp mukavemetleri Çizelge5'te özetlenmiştir. (TS 11222)

Ülkemizde beton sınıflarından en çok C16, C25 ve C30 beton sınıfları kullanılmaktadır. C16 gro beton, şev betonu, su basmanı ve donatısız tabliyelerde kullanılırken C25 sınıfına giren betonlar genellikle üst yapılarda, kazık imalatlarında, yol yapımında kullanılır. İçerdiği çimentonun miktarına bağlı olarak C16 ve C25 sınıfı betonlara oranla daha dayanıklı olan C30 betonu ise yüksek dayanım gerektiren gökdelen, köprü gibi üst yapılarda ve daha az boşluk ve pürüzsüz yüzey gerektiren atıksu arıtma tesisi, kanal inşaatları gibi su yapılarında kullanılmaktadır.

**ÇİZELGE 5:**Küp ve silindir numuneler için minimum beton basınç dayanım sınıfları(  $N/mm^2$  )

Basınç Dayanımı Sınıfı	Fck, silindir ( $N/mm^2$ )	Fck, küp ( $N/mm^2$ )
C 16	16	20
C 25	25	30
C 30	30	37

#### 1.4.4.2.Kıvam Sınıfları

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkânlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkânlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı olan TS 11222 de 5 kıvam bulunmaktadır. K1, K2, K3, K4 ve K5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir.

Hazır betonda şantiye teslim şartları kıvam, taşıma süresi ve beton sıcaklığına bağlıdır. Taşıma süresi kıvamı etkilemekte, süre uzadıkça ve hava sıcaklığı yükseldikçe santralden şantiyeye kıvam kaybı artmaktadır. Bu kıvam kaybının betona su verilerek dengelenmesi de mukavemeti düşürmektedir.

**ÇİZELGE 6:**Taze beton için kıvam sınıfları

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
K1	0 – 5
K2	5 – 10
K3	10 – 16
K4	16 - 22
K5	22<

Slump (Çökme) Deneyi yapılırken önce slump hunisi düz bir zemine konur. Standart slump hunisi üç eşit kademedede doldurulup, her kademedede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenir. Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzlenir. Huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır; bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker. Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır (Int., Beton Bileşenleri, 2010).

### 1.5.Konu İle İlgili Diğer Çalışmalar

Atık yakma sistemi atığı tamamen yok edebilen bir atık bertaraf sistemi değildir (HJELMAR, 1996). Atık yakma sisteminden çıkan külün en uygun şekilde bertaraf edilmesi için depolanması veya tekrar kullanımı hala netleşmemiş bir problemdir (C.C.WILES, 1996). Mesela ABD’de katı atık yakma tesislerinden çıkan küllerin büyük kısmı depolanmaktadır (J.A.STEGEMANN, 1995). Diğer taraftan Almanya, Hollanda, Fransa ve Danimarka gibi çevre sağlığına önem veren gelişmiş ülkeler atık yakma tesislerinden çıkan külün %50’sini yol stabilize malzemesi, beton takviyesi veya dolgu malzemesi gibi amaçlarla kullanmaktadır (VEHLOW, 1996).

Lyon Bilim Enstitüsünden (PERA J., 1996) 1996 senesinde yakma tesisinden çıkan taban külünü beton içerisinde kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada taban külü kalın agrega yerine %50 ve %100 oranında kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde X ışınımının kırınımı ile malzemenin içeriğinin tespiti, suya metal salınımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. X ışınımının kırınımı ile malzeme içeriği Çizelge 7’deki gibi tespit edilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere numunelerde %54,6 oranında silika bulunmaktadır.

**ÇİZELGE 7:** Pera ve arkadaşlarının X kırınım deney sonuçları.

Oksitler	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Miktar (%)	54,6	11,1	8,0	8,5	1,5	1,3	12,8	2,1

Salınım test metodu olarak Fransız Standart metodu uygulanmıştır. TCLP metodu 9,5mm çapından küçük 8 mm çapından büyük numune parçalarının ağırlıklarının 20 katı miktarda asetik asit çözeltisinde bekletilerek analizlerin yapılması prensibine dayanmaktadır. TCLP den farklı olarak Fransız Standart metodunda; 4mm ve daha küçük parçalara ayrılan numuneler ağırlıkça parçaların 10 katı kadar saf suda bekletilmiştir. Numunelerin bekletildiği su element analizine sokulmuştur. Analiz sonuçları Çizelge 8'deki gibi tespit edilmiştir. Numuneler ağırlıkça karşılaştırıldığında sülfat salınımının diğer elementlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da taban külü içeren betonların içerisine katkı karıştırılmadan kullanılmasının beton dayanıklılığı açısından uygun olmadığını göstermektedir.

**ÇİZELGE 8:** Pera ve arkadaşlarının element analiz sonuçları

Kimyasal	Klorür	Sülfat	Aluminyum	Kadmiyum	Krom(IV)	Kurşun
İçerik	72,3	270,1	94,1	<0,3	<0,6	<6

Aynı çalışmada yapılan beton basınç deney sonuçları Türk standartlarına göre C25 standardındaki betonla kıyaslama yapılmış, agrega yerine kullanılan kül miktarı arttıkça dayanımın önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir. %50 külün kullanıldığı numunede kontrol numunesine göre 28 günlük basınç değeri yaklaşık %10 azalırken, kalın agrega yerine tamamen külün kullanıldığı numunede basınç değeri %30'un üzerinde azalma belirlenmiştir. (Pera, 1996)

Kore'de endüstrinin hızla yükselmesi ve gelişmesi endüstriyel nitelikli atıkların da hızlı artışına sebep olmuştur (Ministry of Environment Korea, 2006). Bu endüstriyel artışın ihtiyacı olan enerjinin sağlanması amacıyla yerel ve ulusal çapta kurulmuş olan termik santrallerden bugüne kadar 6 milyon ton kömür külü çıkmıştır (D.W. Cha, 1999). Kore'de kömür külünün bertaraf edilmesi için bazı kullanım alanları geliştirilmiş ve 2003'te %35'i farklı amaçlarla kullanılırken 2008'de bu rakam %70'lere çıkmıştır (Ministry of Commerce Korea, 2005). Diğer taraftan

yapılaşmanın ve doğal agrega ihtiyacının artışı ile birlikte taban külünün de yardımcı ürün olarak kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir (SEUNG, 2008).

Kore Yüksek Bilim ve Teknoloji Enstitüsünde, İnşaat ve Çevre Mühendisliği bölümünden Kim (2010) taban külünün kullanılabilmesi için bir çalışma yapmıştır.

Kim çalışmasında taban külünü iri ve ince agrega yerine kullanarak 60-80 N/mm<sup>2</sup> aralığında yüksek basınç dayanımlı beton üretmeyi denemiştir. İlk olarak külün kimyasal içerik, özkütle, SEM görüntüleri gibi külün fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelenmiş, daha sonra kül %25, %50, %75 ve %100 gibi değişik oranlarda agrega yerine kullanılmıştır. Daha sonra oluşturulan beton yoğunluk, kıvam, basınç ve dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Taze betonun kıvamı gözardı edilecek miktarda azalma eğilimi göstermiştir. Ancak kalın parçalı taban külünün %100 agrega yerine kullanıldığı beton büyük oranda kıvam kaybına uğramıştır. Çalışmada bu kaybın kül parçalarının yüzeyinin agrega parçalarının yüzeyinden daha kompleks olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca kalın kül parçaları çimentoyu absorbe ederek işlevini yapmasına engel olmaktadır. Diğer taraftan ince taban külü arttırıldığı zaman kıvam kaybının azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda ince kül taneleri çok az çimentoyu absorbe etmiştir. Sertleşmiş betonun özkütlesi ise kül oranıyla ters orantılı olarak değişmektedir.

İnce ve kalın külün kullanıldığı numunelerde 7 ve 28 günlük basınç deneylerinde %19,5-24 arası dayanım azalması görülmüştür. Dayanım kül miktarıyla doğru oranda azalmıştır. Bu çalışmadan görüldüğü üzere taban külünün belli bir orandan fazla agrega yerine kullanılması mümkün değildir. (H.K.Kim, 2010)

Çin'de yılda 200 milyon ton atık üretilmektedir. Bu rakam dünyadaki atık üretiminin %29una denk gelmektedir (J.JUN, 2004). Çinde katı atıkları depolama metodu ortaya çıkardığı koku ve sızıntı suyu problemlerine rağmen katı atık bertaraf metotları arasında en çok tercih edilen metottur (Y.J.PARK, 2002). Çin'de atıkların depolanarak bertaraf edilmesi için gerekli yer ihtiyacı artmaktadır (C.S KIRBY, 1993). Bu durumun bir sonucu olarak Çin de birçok Avrupa ülkesi gibi atık yakma metodunu tercih etmeye başlamıştır (HIJELMAR, 1996).

Yakma sisteminin sonucu olarak Çin atık kül sorunu ile karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle külün bertaraf edilmesi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. 2008

yılında Şangay Tongji Üniversitesinden Hui-Sheng Shi ve Li-Li Kan adlı inşaat mühendisleri “Beton İçerisinde Kullanılmış Evsel Katı Atık Yakma Tesisi Uçucu Küllerinin Sızıntı Davranışları” konusunda bir çalışma yapmışlardır (HUI-SHENG, 2008).

Söz konusu çalışmada Hui-Sheng Shi ve Li-Li Kan %40 oranında uçucu kül ve %60 oranında çimento kullanarak karıştırmış oldukları betonu 70mm çapında 30mm yüksekliğinde numune kaplarında sertleştirmişlerdir. Oda sıcaklığında 1 gün bekletilerek sertleşen beton 20°C lik odada 28 gün bekletilerek neminin alınması sağlanmıştır. Nemi yaklaşık %95 oranında alınan beton numuneleri hacmen 10 kat daha fazla saf suyun içerisinde bekletilmiştir. 3, 7, 28 ve 60 gün bekletilen numunelerini bekletildiği su analiz edilmiştir. Çizelge9’da görülen sonuçlara göre bakır, kadmiyum ve çinko elementleri Çin’de izin verilen limitleri aşmıştır. Bu sonuç Çin’deki evsel katı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan uçucu külün bertaraf edilmesi amacıyla beton içerisinde kullanılmasının mümkün olmadığını göstermektedir.

**ÇİZELGE9:** Hui-Sheng Shi ve Li-Li Kan’ın kül içeren beton ile yapmış oldukları çalışma sonucu elde edilen sızıntı su analizi

Element	Suda çözünen miktar (mg/L)	Uçucu Külde bulunduğu miktar (mg/kg)	Sızıntı Oranı (%)	İzin Verilen Limit (Çin Standartları) (mg/L) (BEIJING, 1997)
Zn	56,11	3269,00	17,20	50,00
Pb	26,47	1515,00	17,50	3,00
Cu	8,17	563,20	14,50	50,00
Cd	1,62	36,71	44,10	0,30
Cr	2,47	157,00	15,70	1,50

Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmada ise atıksu arıtma tesisinden çıkan çamur ve çamurun yakılması sonucu çıkan kül beton içerisinde kullanılarak bertaraf edilmesi denenmiştir.

Sertaç Çelik deneyde çamuru herhangi bir işleme tabi tutmadan beton içerisine hacmen %10 ve %20 oranlarında karıştırarak beton basınç deneyine sokmak için numune kaplarına doldurmuştur. Ancak numuneler 28 gün sonunda kurumayarak başarısız sonuçlar vermiştir.

Çamur herhangi bir işleme tabi tutmadan hacmen %15, %30 ve %50lik oranlarda sıva içerisinde kullanıldığında sıva çatlamlara neden olmuş, yapısını bozmuştur.

Diğer taraftan atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan çamurun yakılması sonucu kül elde edilmiştir. Beton içerisindeki çimento miktarını %10, %15 ve %20 oranlarında azaltarak elde edilen külün çimento yerine kullanılması ile deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelere yapılan çökme, basınç, SEM ve XRF deneylerinde herhangi bir olumsuz sonuç gözlenlenmemiş olup beton dayanımının arttığı görülmüştür. (ÇELİK, 2009)

## 2.AMAÇ

Türkiye, bütün sanayileşmiş ülkeler gibi, birçok çevresel problemle karşı karşıyadır. Proje eksiklerinden veya düzgün projelerin uygulamalarını yapan yüklenici firmalar tarafından hatalı yapılmış, işletmesi düzgün yapılmayan veya hiç çalıştırılmayan arıtma ve katı atık deponi tesisleri en önemli ve acilen çözülmesi gereken problemlerdendir. Bu problemlerden kaynaklanan kirlilik yükü doğrudan veya dolaylı olarak çevre ve insan sağlığını etkilemektedir.

Bahsedilen problemlerin bir sonucu olarak mevcut bulunan büyük hacimlerdeki katı atıklar ve atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamurlar da çevre kirliliğine sebep olan önemli unsurlardandır.

Geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalar ve uygulamalardan edinilen tecrübelerle katı atık ve atık çamurların bertaraf edilmesi için birçok metot geliştirilmiştir. Şu an dünyada en çok tercih edilen katı atık ve atık çamur bertaraf metotları arasında yakma tesisleri bulunmaktadır. Büyük hacimli atıkların yakılarak daha küçük hacimli atıklara dönüştürülmesi prensibine dayanan bu sistemde hava emisyonu ve proses atıkları gibi olumsuz sonuçlar alınırken, enerji gibi olumlu bir kazanım da elde edilmektedir.

Yakma işlemi süresince ortaya çıkan hava emisyonu gelişmiş filtreleme sistemleri ile kontrol altında tutulmaktadır. Diğer taraftan proses artıkları ise bazı fiziksel ve kimyasal geri kazanımlarla veya başka uygulamalarda kullanılarak bertaraf edilmektedir.

Tehlikesiz atık, atık çamur ve reçeteli bazı tehlikeli atık yakma tesislerinden kaynaklanan artıklardan uçucu kül ve cüruf birçok alanda kullanılırken taban külü mevcut yapısı ve içerdiği zararlı maddeler yüzünden kullanılamamaktadır. Kullanılmayan tüm taban külü ve diğer artıklar depolanarak bertaraf edilmelidir. Ancak depolanması gereken bu atıklar da uygun alanlarda depolanmayarak çevre ve insan sağlığına olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu atıkları bertaraf etmek için seçilen uygun depolama yöntemleri ise gerek alan gerekse depolama maliyetleri sebebi ile büyük yatırım maliyetleri ortaya çıkarmaktadır.

Bu alışmada Türkiye’de mevcut bulunan 3 atık yakma tesislerinden birinde yakılan tehlikeli atıklardan kaynaklanan taban külünün beton içerisinde kullanılarak bertaraf edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.

Çalışmada beton özelliklerinde önemli değişiklikler oluşturmadan, depolama, nakliye ve işçilik gibi birçok maliyeti beraberinde getiren, taban külünü beton içerisinde kullanılarak bu maliyetleri ve külünün çevreye olan olumsuz etkilerini minimuma indirmek amaçlanmıştır.

### **3. DENEYSEL YÖNTEM**

#### **3.1.Betonu Meydana Getiren Unsurlar**

Beton karışımı yapılırken, betonun kullanılacağı yapının boyutları, yapının karşılaşılabileceği kimyasal etkiler (sülfat, deniz tuzu, asit vb), don, aşırı sıcaklık, aşınma gibi dış etkiler ile yapının sahip olması gereken geçirimsizlik, dayanıklılık, yoğunluk, işlenebilme, hacim sabitliği, görünüm ve diğer özellikleri göz önünde bulundurulur. Örnek vermek gerekirse bir üst yapı betonunun karşılaşılabileceği en büyük olumsuzluk iklim şartlarıyken, bir arıtma tesisinin bir ünitesinin betonu asitliği yüksek bir suyla veya yer altı suyuyla temas edip aşınabilir.

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, su/çimento oranı, su, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları kullanılacak betonun karakterini belirler. Betonun içerisinde hava boşluklarının çok olması yalıtım için istenen bir özellik iken ağır yapılarda betonun zayıflamasına neden olur. Su/çimento oranı büyük hacimli beton üniteleri için az olması beklenirken, yer altı enjeksiyonlarında veya demir donatının çok sık olduğu yapılarda yüksek olması gerekmektedir.

Sonuç olarak betonun içerisinde kullanılacak malzemeler kullanılacağı yerlere göre belirli oranlarda ve belirli standartlarda karıştırılmalıdır.

#### **3.1.1 Tehlikeli Atık Taban Külünün Temini ve Analizi**

Deneye konu tehlikeli atık taban külü, kimya ve petrol ürünleri imalat alanında faaliyet gösteren büyük bir sanayi kuruluşundan temin edilerek, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11A'da bulunan Atıkların Düzenli Depo Tesislerinde Depolanabilme Kriterleri gereğince analizi yapılmak üzere Çınar Mühendislik laboratuvarlarına gönderilmiştir.

Kül değişik üretim bantlarından gelen kimyasal ve petrol ağırlıklı katı ve sıvı atıkların evsel atıklarla harmanlanarak döner fırınlı atık yakma sisteminde yakılması sonucu ortaya çıkmıştır. Söz konusu kül, kaynağını oluşturan atıklar gibi tehlikeli atık sınıfına girmektedir ve düzenli atık deponi sahalarında özel alanlarda depolanması gerekmektedir.

Külün oluşması için mevcut bulunan sistem döner fırın atık yakma sistemidir. Atıklar belirli reçeteler yardımı ile bir ünitenin içerisinde karıştırılıp sisteme sokulmakta, döner fırının içindeki yanmanın durumuna göre ve içerdeki kalorifik değeri 1200 cal civarında tutacak şekilde %80 katı atık ,%17 çamur, %3 yağ ile beslenmektedir.

Sistemde 1100°C'de yakılan atıklar uçucu kül, taban külü ve cüruf olarak sistemin çıkışında bulunan konteynıra alınmaktadır. Kül miktarı fırın içinde yakılan atığın cinsine göre değişebilir. 2009 yılında söz konusu yakma tesisinden 1279 ton cüruf, 344 ton kül çıkışı olmuştur. (SAKLICA, 2010)

Deneyimizde kullanılan kül yakma sisteminin çıkışında bulunan konteynırdan kürek ile alınarak plastik poşetlere aktarılmış, daha sonra bu plastik poşetler kargo poşetlerine konularak yalıtımı sağlanmıştır. Böylelikle külün betona karıştırılıp deney sürecine tabi tutulacağı alana güvenle gelmesi sağlanmıştır.

Beton içerisinde kullanılacak taban külü için Türk Standartları Enstitüsü herhangi bir standart belirlememiştir. Bu nedenle Türk Standartları Enstitüsünün daha önce uçucu külün beton içerisinde kullanılarak yapılan deneylerden derleyip oluşturduğu standartlardan faydalanılmıştır. TSE'nin uçucu küller ile ilgili birçok standardı bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse uçucu küllerin betonda kullanılabilmesi için gerekli kriterlerin belirtildiği TS EN 450-1 A1 numaralı "Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri" başlıklı (TSE, Ocak 2008) ve TS EN 450-2 numaralı "Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 2: Uygunluk değerlendirmesi" başlıklı (TSE, Mart 2008) standartlar, uçucu küllerin içerisinde bulunan her bir parametrenin beton özelliklerini nasıl etkilediğinin anlatıldığı TS 639 numaralı, "Uçucu Küller- Betonda Kullanılan" başlıklı standart (TSE, 1975) bunlardan bazılarıdır.

### **3.1.2.Külün Beton için Kullanıma Uygun Hale Getirilmesi**

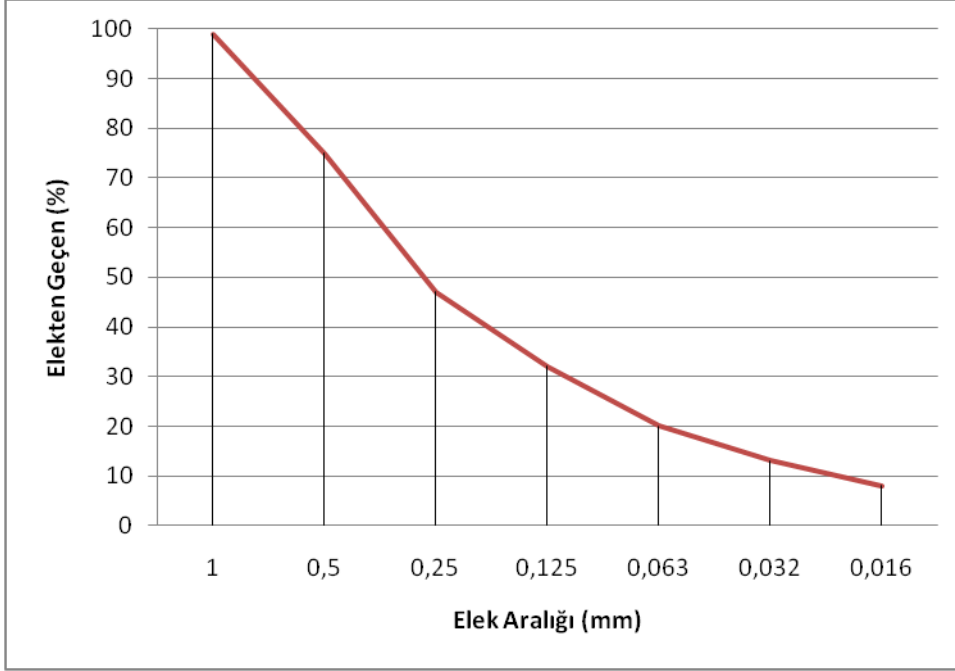
Deney için temin edilen kül Eskişehir ilinin Mihaliççık ilçesinde bulunan termik santral inşaatı içerisinde bulunan Lotus A.Ş. firmasının beton santral laboratuvarına gönderilmiştir.

**ŞEKİL 3:** Tehlikeli atık yakma tesisi taban külü toplama sistemi



Külün içerisinde çapı 5mm veya daha büyük iri parçalar bulunmaktadır. Kül; beton içerisinde çimentonun yerine kullanılacağından kalınlığının çimento kalınlığından daha fazla olması uygun olmayacaktır. Külün herhangi bir işleme tabi tutulmadan elenerek çimento yerine kullanılması durumunda ise elenmiş kül içeriği homojen olmayacağından tez çalışmasının amacı olan külün beton içerisinde çimento yerine kullanılıp bertaraf edilmesi doğru sonuç vermeyecektir. Bu nedenle kül numunesinin homojen olarak kullanılması amacıyla, kül önce küçük boyutlu bir kırıcı ile ince ayarda kırılmış, daha sonra öğütülen kül elek serisinden geçirilerek maksimum 200µm boyutundaki parçalar kalacak şekilde ayrılmıştır. Kırılan kül ince elek vasıtasıyla elenerek beton içerisinde kullanılabilir duruma getirilmiştir. Külün elek analiz sonuçları Şekil 4'te görülmektedir.

**ŞEKİL 4:** Kül elek analiz sonuçları



### 3.1.3. En Büyük Agregata Tane Büyüklüğünün Seçilmesi

Betonu oluşturacak agreganın en büyük tane büyüklüğü, betonun kullanılacağı yapının cins ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir. Demir donatı aralığı da agregata büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Ayrıca agregaların içerdiği en büyük tane boyutu büyüdükçe daha fazla boşluğa sahip olacakları için daha fazla harca ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle yüksek dayanımlı beton yapılmak istendiğinde en büyük tane boyutu büyük seçilmelidir.

Bu deneyimizde Bolu Çimento'nun Lotus Beton A.Ş. için Ozan Kırmataş Tesislerinden temin etmiş olduğu 0-4mm çap aralığında olan "Taş Tozu", 4-12mm çap aralığında "1 nolu agregata" ve 12-25mm çap aralığında bulunan "2 nolu agregata" olmak üzere 3 farklı boyutta agregata kullanılmıştır. 3 farklı agregata kullanılmasının sebebi ise tek tip agreganın beton içerisinde gereksiz boşluklar oluşturarak beton dayanımının azalmasına yol açmasıdır.

**ÇİZELGE 10:** Beton numunelerinde kullanılan agregaların elek analiz sonuçları

Elek Çapı	Elekten Geçen		
	2 nolu agregata	1 nolu agregata	Taş tozu
Mm	%	%	%
31,5	100	100	100
22,4	97,8	100	100
19	87,9	100	100
16	62,4	100	100
8	0,6	41,8	100
4	0,3	1,2	99,8
2	0,3	0,4	74,4
1	0,2	0,4	48,2
0,5	0,2	0,4	30,0
0,25	0,2	0,4	19,7
0,125	0,2	0,4	12,1
0,063	0,2	0,3	9,5

#### 3.1.4. Su Miktarının Belirlenmesi

Beton yapımı için gerekli karma suyu miktarı, agreganın yüzeysel nem suyu hesaba katılarak belirlenir. Su miktarı yalnızca çimento miktarı ile bağıntılı olmayıp betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, ince agreganın ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkilidir. Taze ve sertleşmiş betonda aranan işlenebilirlik dayanımı ve dayanıklılık özelliklerini sağlayacak minimum su miktarı kullanılmalıdır (TSE, 1985).

Deneyimizde de karıştırılacak su miktarı önce her agreganın içerisinde barındırdığı nem incelenerek sonra agreganın su emme oranı bulunarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan numunelerde bu oran incelenerek baz alınan su miktarında düzeltilme yapılmıştır.

### **3.2. Karışım Hesaplarının Deneylerle Gerçeklenmesi**

Karışım hesaplarına esas olarak alınan ve beton özelliklerini çok etkileyen tane dağılımı, su/çimento oranı ve su miktarı için bu standartta verilen sınır değerler deney sonuçlarından elde edilmiş değerler olmalıdır. Bu nedenle karışım hesabı sonucu elde edilen agrega, su, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları kullanılarak hazırlanacak beton numuneleri deneye tabi tutularak, hesaba esas teşkil eden özelliklere sahip olup olmadığı tespit edilmelidir. Öngörülen özellikler ile deneyde bulunacak özellikler arasında fark çıktığı takdirde, karışım hesabı, girdiler uygun şekilde değiştirilerek tekrarlanmalıdır.

Bu nedenle yapılan her karışım prizlenmeden önce slump (çökme), sıcaklık deneyleri, prizlendikten sonra ise kırma, SEM Analizi (Scanning Electron Microscopy) ve XRF Spektrometresi (X-ray Fluorescence Spectrometer) testleri uygulanmıştır.

#### **3.2.1. Beton Numunesi Alma**

Taze betonun kalitesi numune alınarak belirlenir. Bu numunelerin, şantiyede dökülen betonun birebir örneği olduğu, onun kalitesini temsil ettiği varsayılır. Bu nedenle numune alımı ve korunması, kesinlikle ilgili standartlara uygun olmalıdır. Bu konuyla ilgili Türk Standartları Enstitüsü EN196-7 numaralı standardı yayınlamıştır. Bu standart, belirli bir parti çimentonun teslimat öncesinde, teslimat sırasında ve teslimat sonrasında ürün kalite değerlendirilmesine esas teşkil edecek deneylerde, temsili numunenin alımında kullanılacak cihazlar, uygulanacak yöntem ve hükümleri kapsamaktadır (TSE, Şubat 2010).

Numunenin şantiyede dökülen betona göre kütlesi az, yüzeyi fazla olduğundan, şantiyedeki betona göre daha çok nem ve ısı kaybına uğrar. Şantiyede dökülen betonlara ortalama 7 gün bakım (kür) yapılırken, numune betonlara 28 gün boyunca bakım (kür) yapılmaktadır. Bunun nedeni şantiyedeki betonların beton numunelerinden büyük olmasıdır. Büyük beton kütleleri dış etkilere karşı daha korunaklıdır. Ancak, betona şantiyede yeterli kür yapılmazsa, beton dayanım kaybına uğrar.

- Numune alınırken, numunenin beton harmanının tamamını homojen bir şekilde temsil etmesine dikkat edilmelidir.
- Numune, alındıktan hemen sonra taşınmamalı, üzeri ıslak bez ve naylonla örtülerek veya kür havuzunda 1 gün süreyle bekletilmelidir. Kür havuzunda tutulan numunelerle, dışarıda tutulan numuneler arasında dayanım açısından 3 kata varan farklar oluştuğu saptanmıştır.
- Her numune, ayrı harmandan alınmalıdır.
- Deneyler için gerekli olacağı tahmin edilen miktarın en az 1,5 katı miktarda taze beton numunesi alınmalıdır.
- Numune alma tarihi ve zamanı kaydedilmelidir. Gerektiğinde taze beton sıcaklığı ve ortam sıcaklığı da kaydedilmelidir.
- Numune alma ve numuneleri taşımanın her safhasında beton, kirlenmeye, bünyesine su alma, su kaybetme ve sıcaklık değişimlerine karşı korunmalıdır.

Bu deneyde sekiz farklı betondan dokuzar tane olmak üzere 72 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin üçü 7 günlük, altısı da 28 günlük basınç deneyleri için kullanılmıştır. Numunelerin kodları, karıştırma oranları Çizelge11’de görülmektedir.

**ÇİZELGE 11:** Sekiz farklı beton numunesinin kütlece karıştırma oranları

	C30	KUL34,5	KUL52	KUL69	C25	KUL78	KUL104	KUL156
<b>ÇİMENTO MİKTARI (KG)</b>	345	310	293	276	293	293	293	293
<b>KÜL MİKTARI (KG)</b>	0	34,5	52	69	0	78	104	156
<b>SU MİKTARI* (KG)</b>	230	230	230	230	230	230	230	230
<b>AGREGA MİKTARI (KG)</b>	1720	1716	1713	1711	1765	1687	1662	1610

\* : Agregada içerisindeki nem miktarına göre ayarlanması gereken su miktarları agregada içerisindeki nem çok az olduğundan sabit tutulmuştur.

Çizelge11’de görülen C30 ve C25 numuneleri şahit numuneler olarak Bolu Çimento fabrikasının reçetelerine göre hazırlanmıştır. KUL34,5, KUL52 ve KUL69 numuneleri taban külünü çimento yerine kullanarak hazırlanmış numunelerdir. Bu

numuneler ile külün betonda bağlayıcılığa katkısının tespiti hedeflenmiştir. Agregamiktarları karışımın hacim ayarlaması yapıldığından değişiklik göstermiş olup farkların ufak olması sebebi ile deneylerde herhangi bir etkisinin olmadığı varsayılmıştır.

Yapılan ilk grup deneylerinde KUL34,5 ve KUL52 numunelerinin referansları olan C30 numunesine en yakın değerleri verdiği görülmüştür. Karışım miktarlarına bakıldığında ise KUL52 numunesinin karışım miktarlarının Bolu Çimento Fabrikası reçetelerinden C25 beton reçetesinde bulunan çimento ve agregamiktarlarına yakın olduğu görülmüştür. Bu sebeple yeni bir deney yapılması uygun görülmüştür. Bu deneyde agregayere değişik miktarda kül karıştırılarak KUL78, KUL104 ve KUL156 numuneleri hazırlanmıştır. Bu karışımlar hazırlanırken de agrega, ağırlık olarak kül kadar azaltılmış daha sonra hacim ayarlaması yapılırken ufak ağırlık farkları oluşmuştur. Bu deneyde numunelerin içerisindeki agregave külün toplam ağırlıkları arasındaki fark az olduğundan agreganın deneylere herhangi bir etkisinin olmadığı varsayılmıştır.

### 3.2.2. Numune hazırlama

**ŞEKİL 5:** 15cmX15cmX15cm ölçülerinde beton numune alma kalıpları



- Beton numuneleri, kalıplara yüksekliği 10 cm'yi geçmeyen, eşit tabakalar halinde doldurulur. 15 veya 20 cm'lik küpler iki, 15/30 cm'lik silindirler üç tabakada doldurulmalıdır. Bu çalışmada 15 cm'lik küp 2 tabakada doldurulmuştur.

- Sıkıştırma çubuğunun darbeleri, kalıp en kesit alanına eşit şekilde dağıtılır. İlk dökülen tabakanın sıkıştırılmasında çubuğun kalıp tabanına sertçe çarpmasına, diğer tabakaların sıkıştırılması sırasında da, bir önceki tabakaya fazla girmemesine dikkat edilmelidir.
- Her tabaka, sıkıştırma çubuğu ile en az 25'er defa şişlenmelidir. Sıkıştırma sonrasında, kalıbın dış kenarlarına, sıkıştırma çubuğu darbelerinden geriye kalan boşluklar doluncaya kadar tokmak ile hafifçe vurulmalıdır.
- Kalıbın üst yüzeyinden taşan fazla beton, çelik mala veya perdah malasına kesme hareketi yaptırılarak alınmalı ve beton yüzeyi dikkatlice düzeltilmelidir.
- Numuneler, zarar verilmeden, görünür ve kalıcı şekilde etiketlenmelidir. Numune kayıtları titizlikle saklanmalıdır.

### **3.2.3. Numunelerin Saklanması**

- Numuneler, alındıkları yerden taşınmadan, kalıp içerisinde (16 saatten az, 3 günden fazla olmamak üzere) yeterli sertliğe ulaşuncaya kadar, dış etkilerden, şoktan titreşimden ve kurumadan korunmalıdır.
- Numuneler,  $20 \pm 2$  °C veya sıcak iklimlerde  $25 \pm 2$  °C sıcaklıkta, rüzgardan ve nem kaybından korunacak bir ortamda (ıslak bez ve plastik örtü altında veya kapalı bir kasada) tutulur.
- Sertleşmiş deney numuneleri ıslak kum veya ıslak talaş içinde saklanabilir veya içerisinde su bulunan sızdırmaz plastik kalıp içerisine konulabilir. Bu çalışmada numuneler su havuzunda korunmuşlardır.
- Beton numuneleri, kalıptan çıkartıldıktan sonra, deney yapılıncaya kadar,  $20 \pm 2$  °C sıcaklıktaki su içerisinde (veya % 95 nemli ortamda) kür görmelidir.

### **3.2.4. Sıcaklık deneyi**

Sıcaklık deneyi yapılırken ölçüm cihaz elektrodu karıştırılıp -beton içerisindeki reaksiyonun başlaması için- 10-15 dakika bekletilmiş taze betonun içerisine batırılır. Ölçüm cihazından 2 değer okunur. Bu değerlerden biri betonun iç sıcaklığını verirken diğer değer dış ortam sıcaklığını göstermektedir.

Taze betonun karıştırılıp dökme aşamasındaki sıcaklığı betonun kalıplara dökülme ve sertleşme aşamasında önem arz eder. Standart en düşük beton sıcaklığını +5°C iken en uygun beton döküm sıcaklığı 15-20 °C olarak kabul edilebilir.

#### Sıcak havanın taze betona etkileri:

- Karışım suyu artar. Bu durum taşıma maliyetlerini etkiler.
- Çökme değeri kaybı daha fazla olur. Betonun akışkanlığı kullanım alanına göre uygun olmayan duruma gelebilir.
- Beton ısı yükselir. Beton prizini daha kısa sürede alır.
- Plastik büzülme çatlakları artar. Özellikle su yapılarında sızıntıya neden olacağından bu durum kabul edilemez.
- Hava sürüklenmiş betonlarda hava miktarı zor kontrol edilir.

#### Sıcak havanın sertleşmiş betona etkileri:

- İlk günlerde dayanım hızlı artar ancak 28 günlük mukavemetleri daha düşük olur.
- Daha çok su katıldığından gözenekli ve su geçirimsizliği yüksek bir beton elde edilir.
- Beton soğuduktan sonra sıcaklık farkı olacağından betonun çatlama eğilimi artar.

#### Alınması gereken önlemler:

- Hidratasyon ısı düşük çimentoların kullanılması,
- Betonu oluşturan malzemelerin soğutulması,
- Katkı maddelerinin kullanılması,
- Suyun buharlaşarak kaybolmasını engelleyecek önlemler alınması,
- Direk güneş ışığının betonla temasının kesilmesi,
- Kolonların ıslak çuvalla sarılması,

-Kürlemenin mümkün olan en kısa sürede başlatılması,

-Rüzgar etkisinin azaltılması,

-Priz geciktirici kimyasal katkıların kullanılması (İnt, Çimsa, 2010)

### **3.2.5. Slump (Çökme) Deneyi**

Bu çalışmada TS EN 12350-2 numaralı Türk Standardı prosedürleri gereğince slump (çökme) deneyi yapılmıştır (TSE, Temmuz 2010).

Bu deneyde taze beton, kesik huni şekilli kalıp içerisine sıkıştırılarak doldurulur. Kalıbın yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütesindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır.

Çimento hamurundan kısa sürede olumsuz etkilenmeyen ve 1,5 mm veya daha kalın metalden yapılmış olan, içi boş, kesik huni şeklindeki kalıbın iç yüzeyi ile taban plakası yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir ve kalıp, yatay konumdaki taban plâkası üzerine yerleştirilir.

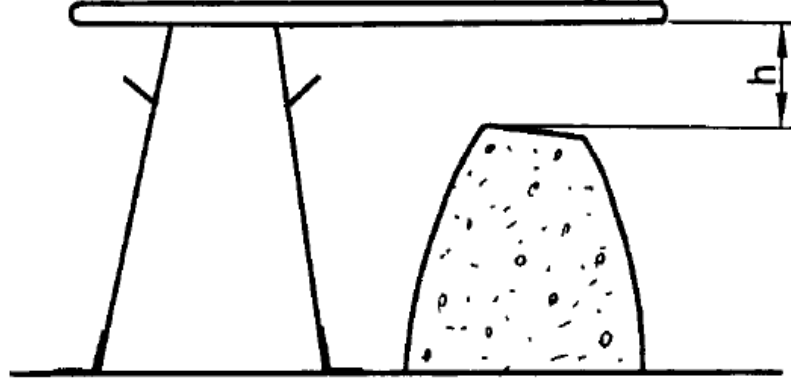
Kalıp, betonun doldurulması esnasında, iki ayak basma parçasına basılarak taban plakasına sıkıca sabitlenir. Taze beton, kalıba eşit kalınlıkta üç tabaka halinde ve her tabakanın sıkıştırılmış durumdaki kalınlığı, kalıp yüksekliğinin yaklaşık olarak 1/3 ü olacak şekilde doldurulur. Doldurma esnasında her tabaka, (600 ± 5) mm uzunlukta ve (16 ± 1) mm çapında, ucu yuvarlatılmış, daire kesitli düz çelikten yapılmış olan sıkıştırma çubuğu ile 25 defa şişlenerek sıkıştırılır. Sıkıştırma çubuğu darbeleri, her tabakanın yüzey alanına düzgün dağılmalıdır.

Kalıp, el tutamaklarından tutularak, düşey şekilde yukarıya doğru çekilerek alınır. Kalıbın çekilme işlemi 5 - 10 saniye arasındaki sürede tamamlanmalı, kalıp sabit hızda çekilmeli, bu esnada beton kütesine yanal hareket veya burulma hareketi yaptırılmamalıdır.

Tüm deney işlemi, betonun kalıba doldurulmaya başlanılmasından, kalıbın çekilerek alınmasına kadar herhangi bir kesinti olmaksızın 150 saniyede tamamlanmalıdır.

Kalıbın alınmasından hemen sonra, kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütlelerinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi ( $h$ ) betonun slump değeridir. (Şekil 6)

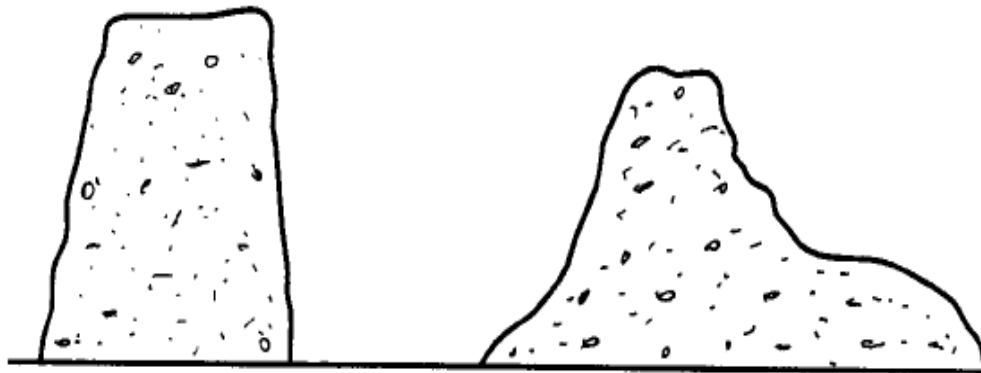
**ŞEKİL 6:** Çökme deneyinde “ $h$ ” değerinin ölçülmesi(TSE, Nisan 2002)



Deney, ancak taze beton çökmesinin düzgün şekilde gerçekleşmesi halinde geçerli olur. Düzgün çökme, Şekil 7(a)'da gösterildiği gibi, beton kütlelerinin deney sonunda, bütün olarak ve simetrik şekilde kalmasını ifade eder.

Numunenin Şekil 7(b)'de gösterildiği gibi kayması halinde, yeni numune kullanılarak deney tekrarlanmalıdır. Düzgün çökme meydana gelen deneyde, çökme değeri ( $h$ ), en yakın 10 mm'ye yuvarlatılarak kaydedilir.

**ŞEKİL 7:** Düzgün çökme ve kayma meydana gelmiş geçersiz çökme (TSE,Nisan2002)



a) Düzgün çökme

(b) Kayma meydana gelmiş çökme

### 3.2.6.Kırma Deneyi

- 7 veya 28 günlük yaşları dolan kayıt altındaki beton numuneleri kür havuzundan çıkarılır.
- Çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki ıslaklık süzülüp kuruyana kadar numuneler yaklaşık 2 – 3 saat oda sıcaklığında bekletilir veya kuru bir havlu ile silinir. Eğer beton numuneleri silindir ise başlıklama yapılarak kırıma hazır duruma getirilir.
- Numuneler, beton test presinin basınç başlıklarına göre merkezi şekilde titizlikle yerleştirilmelidir.
- Beton test presinin çalıştırma ve kullanma talimatına göre kırım gerçekleştirilir.

**ŞEKİL 8:** Beton basınç deneyinin gerçekleştirildiği kırma cihazı



- Kırım sonlandığında maksimum yük ve dayanım değerleri Beton Numuneleri Günlük Basınç Dayanımı Deney Formuna ve oradan da bilgisayar ortamındaki Beton Analiz Defteri'ne kaydedilir ve kayıt altına alınır.

- Basınç dayanımı ( fcc ) aşağıda verilen eşitlik kullanılarak  $N/mm^2$  (veya  $kg/cm^2$ ) cinsinden hesaplanır:

$$F_{cc} = \frac{F}{A_c}$$

F: Deney Presinde Kırılma anında okunan maksimum yük (N veya kg)

A<sub>c</sub>: Numune Kesit alanı ( $mm^2$  veya  $cm^2$ )

- İkinci numunenin kırılması için ilk numune test presi içinden alınır, ikinci numune yerleştirilir ve aynı şekilde kırılma devam edilir.

### 3.2.7. Elektron Mikroskobu ile Görüntüleme

Çok küçük bir alana odaklanarak yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışan Taramalı Elektron Mikroskobu veya SEM (Scanning Electron Microscope), Manfred von Ardenne öncülüğünde 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. En sık kullanıldığı biçimiyle, yüzeyden yayılan ikincil (secondary) elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli (topografik) yapısıyla ilişkili bir görüntü oluşturur.

**ŞEKİL 9:** Taramalı elektron mikroskobu (Çelik, 2009)



Taramalı elektron mikroskobu araştırması normal beton ile kül katkılı betonlar arasında yapısal farklılıklar olup olmadığını belirlemek, varsa bu farklar ve betonun fiziksel özellikleri arasında fonksiyonel bir ilişki kurmak için yapılmıştır. Taban külü içeren beton numuneleri ve taban külü ayrı ayrı kurutulmuş ve daha sonra üzerleri altın kaplama ile kaplandıktan sonra taramalı elektron mikroskop analizi yapılmıştır.

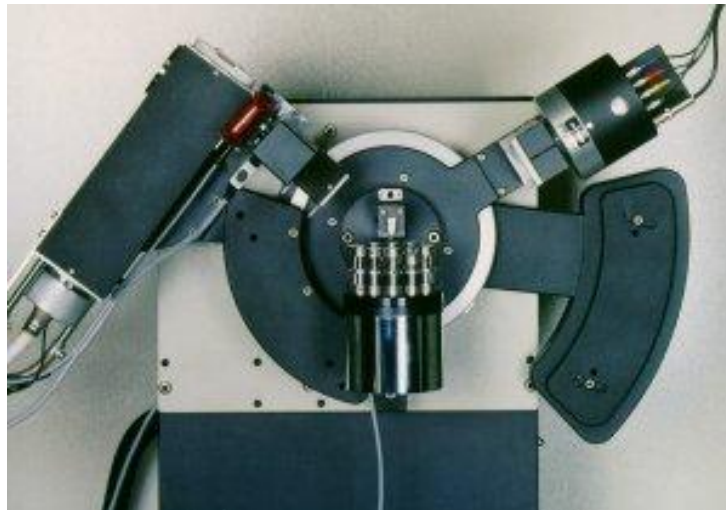
SEM deneyleri Hacettepe Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında yapılmış, CarlZeiss EVO50 EP mercekli cihaz kullanılmıştır (ÇELİK, 2009).

### 3.2.8.XRD Spektrometresi

X-Ray Diffraction (XRD) spektroskopisi olarak bilinen X ışın kırınımı ile malzemenin içerik tayini deneyi; X-ışını denilen Ultraviyole ışıktan daha kuvvetli fakat Gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. X-Ray Diffractometer denilen aletler ile yapılan bu karakterizasyonda örnek türüne göre değişik uygulamalar görülmektedir. Ayrıca dedektör ve ışın doğası da önemli etkenlerdir.

Çalışma prensibi; örneğe X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplaması şeklindedir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analizlenebilmektedir.

### ŞEKİL 10: XRD cihazı (Çelik, 2009)



Şekil 10'da ışını üreten sol üst başlık ile dedektör (sağ üst) birbirine V şeklinde bir açıyla bağlanmıştır. Bu açı değişebilmekte olup orta hazne örnek yüklemesi için kullanılmaktadır.

Karışık ışın sinyallerini çözümlleyen ve hangi frekansta ne şiddette titreşim olduğunu belirlemeye yarayan "Fourier Dönüşüm" devriminden sonra XRD makineleri de oldukça profesyonelleşmiştir. Önceleri her açıyı ayrı ayrı analizleyip toplu değer sunan makineler şimdi geniş açıları çok dar zamanda ve uygun çıktı ile verebilmektedir.

Deney için öncelikle numuneler öğütülmüştür. Öğütülen numuneler toz halinde XRD cihazına sokularak içerik analizi yapılmıştır. XRD deneyleri Hacettepe Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında yapılmış, Rigaku D/Max 2200 PC cihazı kullanılmıştır. (ÇELİK, 2009)

### **3.2.9. TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) deneyi**

Uçucu kül, cüruf ve taban külü insan ve çevre sağlığına zarar veren, suda çözülebilen ağır metaller içeren bir maddedir (N. ALBA,1997). Ancak uçucu külün içerdiği ağır metaller taban küllerine göre daha kolay çözünebildiği için, uçucu küllerin kullanımının kontrol edilmesi gerekmektedir (A.KİDA, 1996). Çalışmamızda suya ağır metal bırakma ihtimali daha az olan taban külü kullanılmasına rağmen çalışmanın çevre ve insan sağlığına etkilerinin olup olmadığını anlamak için numunelerimize TCLP deneyi uygulanmıştır.

TCLP deneyi katı atıkların depolanmasının tehlikeli olup olmadığını belirlemeye yarayan bir deneydir. Deney atık depolama sahalarını temsil eden ortam oluşturarak yapılır. Atık depolama sahalarında bulunan atıklar yağmur ve diğer sıvılarla temas ederler. Bu temas sonucunda sıvılar zamanla asidik özellik kazanır. Asidik özelliği olan sıvılar atıkların bünyesinde bulunan zararlı, tehlikeli içeriği çözerler. Çözünen materyaller yer altı suyuna veya başka bir yolla doğaya salınarak insan ve çevre sağlığına zarar verirler.

Bu çalışmada TCLP deneyinin mantığından yola çıkılarak, külü betonda agrega veya çimento yerine kullandığımızda insan ve çevre sağlığına zarar verip vermeyeceği araştırılmıştır.

150mmX150mm boyutundaki numuneler önce balyoz daha sonra kırıcı yardımı ile ufalanır. Uflanan numunelerden elek yardımı ile 9,5mm'den küçük 8mm'den büyük parçalara ayrılır. (Şekil 11)

500ml saf suya 5,7ml asetik asit karıştırılarak çözelti hazırlanır. Hazırlanan asetik asit çözeltisinin pH'ı 3 olacaktır.

8 numuneden 25'er gram alınarak 500ml çözelti ile bir beherde bekletilmeye başlanır. 18 saat boyunca saat başı iletkenliği ve pH'ı ölçülerek takip edilir (Şekil12).

**ŞEKİL 11:** Kırılmış kül numuneleri



**ŞEKİL 12:** Asit çözeltilisinde bekletilen numuneler



Daha sonra pH ölçümleri yapılmış çözeltiler, içerisine beton tarafından bırakılmış maddelerin tespiti amacıyla ODTÜ Merkez Laboratuvarında ICP-MS cihazına sokulmuştur.

## 4.SONUÇLAR

### 4.1. Kül Analiz Sonuçları

01.04.10 VE 16.04.10 tarihlerinde tehlikeli atık yakma tesisinden çıkan küllerden her gün ufak numuneler alınarak karıştırılmıştır. Çizelge12’de karıştırılan külün analiz sonucu görülmektedir. Sonuçlara bakıldığı zaman bertaraf etmek üzere beton içerisinde kullanmış olduğumuz kül Çevre ve Orman Bakanlığının “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde” Ek 11A da bulunan Atıkların Düzenli Depo Tesislerinde Depolanabilme Kriterlerine göre tehlikeli sınıfında olduğu görülmektedir. (T.A.K.Y.Md.11-14)

**ÇİZELGE 12:** Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek11A tablosuna göre yapılan Taban Külü Analiz Sonuçları

		Üretim tarih aralığı:			01.04.10	16.04.10
ATIKLARIN DÜZENLİ DEPO TESİSLERİNE DEPOLANABİLME KRİTERLERİ (TAKY / EK 11 A)						
Parametre/Numune	Analiz yöntemleri	İnert atık	Tehlikesiz atık	Tehlikeli atık	kül analiz	
Arsenik ( As mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,05	0,05 - 0,2	< 0,2 - 2,5	0,05	
Baryum (Ba mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 2	2 - 10	< 10 - 30	0,18	
Kadmiyum (Cd mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,004	0,004 - 0,1	< 0,1 - 0,5	0,002	
Krom (Cr mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 - 7	0,03	
Bakır (Cu mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,2	0,2 - 5	< 5 - 10	0,02	
Cıva (Hg mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,001	0,001 - 0,02	< 0,02 - 0,2	0,00	
Molibden (Mo mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 - 3	2,3	
Nikel (Ni mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,04	0,04 - 1	< 1 - 4	0,03	
Kurşun (Pb mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 - 5	0,02	
Antimon (Sb mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,006	0,006 - 0,07	< 0,07 - 0,5	0,07	
Selenyum (Se mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,01	0,01 - 0,05	< 0,05 - 0,7	0,10	
Çinko (Zn mg/l)	TS EN 12506, ICP	≤ 0,4	0,4 - 5	< 5 - 20	0,05	
Klorür (Cl mg/l)	TS EN 12506, İYON C	≤ 80	80 - 1500	< 1500 - 2500	6500	
Florür (F mg/l)	TS EN 12506, İYON C	≤ 1	1 - 15	< 15 - 50	6,0	
Sülfat (SO4 mg/l)	TS EN 12506, İYON C	≤ 100	100 - 2000	< 2000 - 5000	8000	
Çözünmüş Organik Karbon (mg/l)	TS EN 13370, TOK	≤ 50	50 - 80	< 80 - 100	48	
Toplam Çözünen Katılar (mg/l)	TS EN 13657	≤ 400	400 - 6000	< 6000 - 10000	212	
Toplam Organik Karbon (mg/kg)	DIN 38409-113-85 veya TS 12089 EN 13137	≤30000 (%3)	50000 (% 5)- pH ≥ 6	60000 ( %6)	0	
LOI - Kızdırma Kaybı (mg/kg)				10000 (%10)	96,54	

Molibden ve selenyum parametrelerinde tehlikeli atık limit aralığında görülen kül, klorür ve sülfat parametrelerinde ise tehlikeli atık limit aralığını da aşarak özel atık sınıfına girmiştir. Bu nedenle söz konusu külün yönetmeliklerce belirlenmiş standartlardaki tehlikeli atık deponi sahalarında depolanması uygun olmamaktadır. Diğer tehlikeli atıklarla depolanamayan kül; özel, diğer atıklardan ayrılmış lotlarda depolanmak zorundadır. Özel depolanması gereken kül bertaraf edilme, depolama alanı, depolama alanının yönetmeliklere uygun hale getirilmesi ve nakliye gibi birçok maliyeti de beraberinde getirir.

Tabanı geçirimsiz depolarda bekletilen kül bağlayıcı özelliği sebebiyle sertleşerek farklı bir forma girmektedir. Sertleşen kül daha sonra hiçbir amaçla kullanılamamaktadır. Herhangi bir işleme tabi tutulmadan depolanan kül miktarı zamanla artmakta ve önemli bir problem halini almaktadır.

## **4.2. Taze Beton Deney Sonuçları**

Değişik oranlarda taban külü karıştırılarak oluşturulan beton prizlenmeye başlamadan bazı deneylere tabi tutulmuştur. Bu analizler betonun kullanım alanları için uygun olup olmadığını belirlemeye yarar. Bu tezde taze beton deneyleri olarak sıcaklık ve çökme deneyleri yapılmıştır.

### **4.2.1.Sıcaklık Deney Sonuçları**

Çimento, agrega, su ve taban külünün homojen bir karışımı olan beton hazırlandıktan sonra sertleşmeden sıcaklık deneyine tabi olur. Bu deneyimizde beton sıcaklığı genel olarak 23-25°C arasında ölçülmüştür.

**ÇİZELGE 13:** Taze beton numuneleri sıcaklık deney sonuçları

	<b>C30</b>	<b>KUL34,5</b>	<b>KUL52</b>	<b>KUL69</b>	<b>C25</b>	<b>KUL78</b>	<b>KUL104</b>	<b>KUL156</b>
<b>SICAKLIK</b>	<b>24°C</b>	<b>25°C</b>	<b>23°C</b>	<b>24°C</b>	<b>25°C</b>	<b>25°C</b>	<b>25°C</b>	<b>24°C</b>

**ŞEKİL 13:** Taze beton numunelerinin sıcaklığının ölçülmesi



Beton sıcaklığını betonun hazırlandığı ortam sıcaklığı, kullanılan ekipmanların sıcaklığı ve betonun içerisindeki tepkimelerin açığa çıkardığı enerji etkiler.

Beton sıcaklığının 18°C yi aşmaması tercih edilmekle birlikte, 15-25°C arası sıcaklık beton dökümü için uygun aralık kabul edilmektedir. 25°C yi aşan durumlarda ise beton dökümünden önce ve sonra önlemler alınması gerekmektedir. Çünkü sıcak beton çabuk prizlendiği için kullanım alanında kıvam problemlerine ve bol su ihtiyacına, sertleştiğinde ise hava boşluklarına, derin çatlakların ve zayıf noktaların oluşmasına neden olur. Bu çalışmada beton sıcaklıkları üst sınırlara yaklaştığı için beton hazırlanması sırasında priz geciktiriciler gibi katkıları kullanılabilir. Ayrıca beton döküldükten sonra betonun suya doyması sağlanmalı, güneş ışığını önleyici tedbirler alınmalıdır.

#### 4.2.2. Slump (Çökme) Deney Sonuçları

Çökme deneyi taze betona yapılan deneylerden biridir. Bu deney taze betonun çökme ve akışkanlık özelliklerinin nasıl olduğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır.

**ŞEKİL 14:** Çökme deneyinde huniyi çekme yöntemi



**ŞEKİL 15:** Çökme deneyinde çökme miktarının ölçülmesi



Yapılan çökme testi sonucu tüm numunelerin çökme değeri K3 kıvam sınıfında çıkmıştır. Bu sonuç bize tüm numunelerin normal demir donatılı, ince mastar gerektirmeyen, baraj, fore kazık gibi büyük kalıplı yapılarda vibratör yardımı ile kullanılabilceğini göstermektedir. Ancak KUL78, KUL104 ve özellikle KUL156 K3 kıvam sınıfının alt limitlerine yakın durumdadır. Bu nedenle sıcak havalarda veya beton nakliyesinin uzak olduğu döküm sahalarında kıvam artıcı kullanılmalıdır. Aksi takdirde beton döküm sahasına ulaşmaya kadar daha koyu bir kıvam alacak uygulamada kullanılması zorlaşacaktır. Özellikle KUL156 karışımının kıvamı diğerlerine göre daha az olduğundan kalıpsız şevli uygulamalarda kullanılması uygundur.

**ÇİZELGE 14:** Numunelerin çökme deney sonuçları

	C30	KUL34,5	KUL52	KUL69	C25	KUL78	KUL104	KUL156
<b>ÇÖKME (cm)</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>10</b>

### 4.3. Sertleşmiş Beton Analiz Sonuçları

Prizini almış belli oranlarda kül karıştırılarak oluşturulan 54 numune ve 18 adet referans numune kırma, elektron mikroskobu ile inceleme, XRD Spektrometre ve TCLP analizi işlemlerine tabi tutulmuştur.

#### 4.3.1. Kırma deney sonuçları

İnşaat sektöründe sertleşmiş betonun dayanıklılığını belirleyen en önemli deney kırma deneyidir. Uygulamada test edilen beton hacimleri çok büyük olduğundan alınan numuneler dış etkenlerden fazla etkilenmemiş nizami olmaktadır. Ancak laboratuvar ortamındaki numuneler dış etkenlerden çabuk etkilenmektedir. Bu nedenle uygulamada en doğru sonucu 7 günlük kırma sonuçları verirken laboratuvar ortamındaki denemelerde 28 günlük kırma işlemi daha gerçekçi sonuçlar verir. Bu çalışmada 72 test numunesinin 24 tanesi 7 günlük kırma testine tabi tutulurken 48 tanesi 28 günlük kırma testine girmiştir. Prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilen 7 günlük kırma deney sonuçları Çizelge15'de görülmektedir.

**ÇİZELGE 15: 7 günlük basınç dayanım deney sonuçları**

7 Günlük Deney	C30	KUL 34,5	KUL 52	KUL 69	C25	KUL 78	KUL 104	KUL 156
Sonuç Ortalaması (N/mm <sup>2</sup> )	21	17,7	19,6	16,9	19,5	19,4	16,2	11,3
Seri1	20	16,6	19,3	16,9	19,7	19,8	16,7	9,3
Seri2	22,7	19,5	19,9	17	19	18,9	15,3	15,3
Seri3	20,3	17	19,6	16,8	19,8	19,6	16,6	9,3

Çizelge15'de görüldüğü üzere 7 günlük numunelerin kırma sonuçlarında külün çimento yerine kullanıldığı KUL34,5, KUL52 ve KUL69 numunelerinde C30 (referans) numunesine en yakın sonucu KUL52 numunesi vermiştir.

Külün agrega alternatifi olarak kullanıldığı KUL78, KUL104 ve KUL156 numunelerinde C25 numunesine kıyasla doğrusal bir azalma görülmektedir. 7 gün sonunda külün miktarı arttıkça dayanıklılık azalmaktadır.

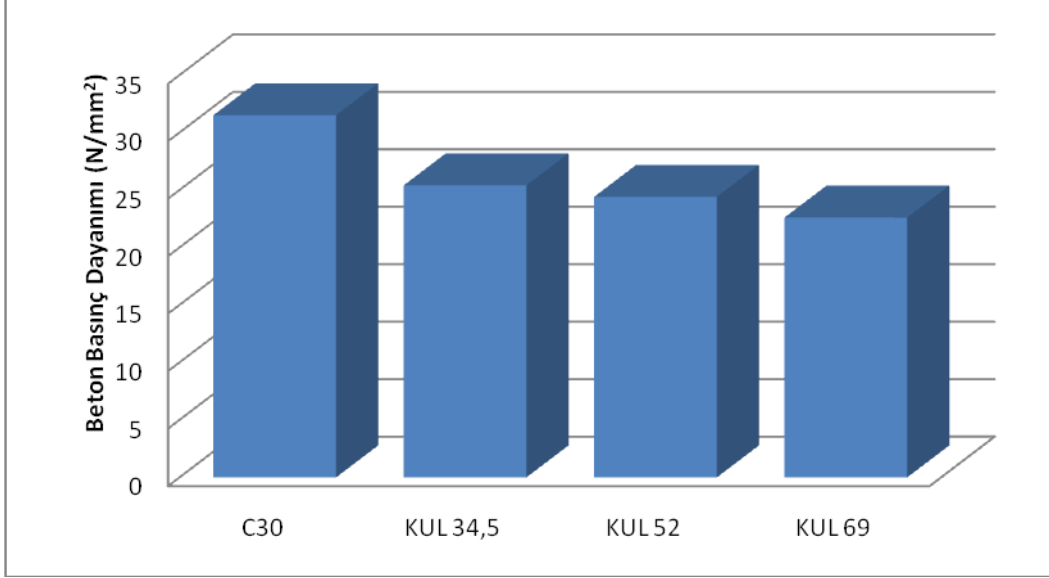
**ÇİZELGE 16: 28 Günlük basınç dayanım deney sonuçları**

28 Günlük Deney	C30	KUL 34,5	KUL 52	KUL 69	C25	KUL 78	KUL 104	KUL 156
Sonuç Ortalaması (N/mm <sup>2</sup> )	31,5	25,4	24,4	22,6	26,3	24,6	25,3	23,2
Seri4	31	25,2	24,6	22,3	26,2	24,3	25,2	23,9
Seri5	31,8	26	24,8	22,2	25,8	24,7	25,5	22,8
Seri6	33,4	26,1	24,7	22,6	26,1	24,4	25	24,5
Seri7	30,8	25,4	24	22,4	26,3	24,2	25,4	22,7
Seri8	31,7	24,9	24,2	22,6	26,6	24,9	25,4	22,4
Seri9	30,5	25	24	23,2	26,6	24,9	25,3	22,8

Çizelge16'da görüldüğü gibi 28 günlük deney sonuçlarında referans numunelerimiz olan C30 ve C25 basınç standartları olan 30N/mm<sup>2</sup> ve 25 N/mm<sup>2</sup> değerlerini sağlamış durumdadır.

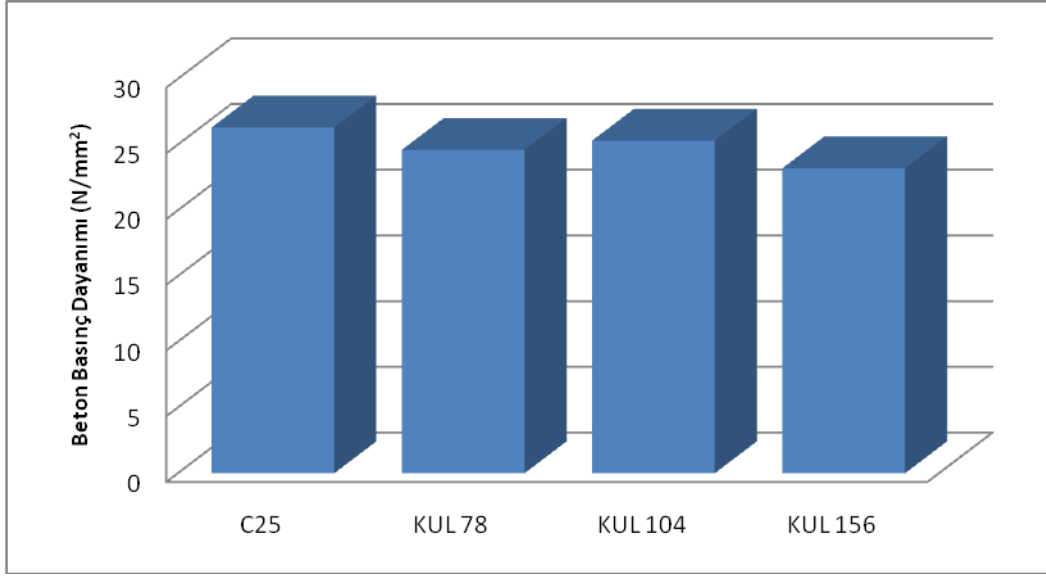
KUL34,5, KUL52 ve KUL69 numuneleri C30 beton karışım oranları göz önüne alınarak hazırlandığından C30 numunesinin basınç dayanımıyla kıyaslandığında doğrusal bir azalma görülmektedir. Bu 3 numune de C30 standart dayanımını karşılayamamaktadır. Sadece KUL34,5 numunesi C25 standart dayanımını karşılamaktadır.

**ŞEKİL 16:** Taban külünün çimento yerine kullanıldığı numunelerin basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması



KUL78, KUL104 ve KUL156 numunelerine bakıldığında ise en iyi sonucu KUL104 numunesinden alındığı görülmektedir. Bu numuneler C25 beton karışımları temel alınarak agrega yerine karıştırıldığı için KUL104 karışımının C25 beton sınıfı olarak kullanılmasının mümkün olduğu görülmektedir. Daha önce başka araştırmacıların yaptığı çalışmalara bakılarak bağlayıcı özelliği bulunduğu bilinen külün agrega yerine kullanılması sonucu basınç değerinin standartları yakalamasının mümkün olduğu görülebilir.

**ŞEKİL 17:** Taban külünün agrega yerine kullanıldığı numunelerin basınç dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması



Tüm numuneleri kıyasladığımızda ise karışımında daha fazla çimento bulunan KUL34,5 numunesi az bir farkla KUL104 numunesinden daha iyi sonuç vermektedir. En kötü sonuç da çimento oranı en az olan KUL69 numunesinden elde edilmiştir. KUL69 numunesini kül içeriği en fazla olan KUL156 numunesi takip etmektedir.

**ŞEKİL 18:** Tüm numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım test sonuçları



Diğer taraftan 7 gün ile 28 günlük basınç dayanımı farklarına bakıldığında KUL156 en yüksek farka sahip konumdadır. Diğer numuneleri incelediğimizde ise yine kül içeriği çok olan KUL104 numunesi basınç dayanım farkı sıralamasında 2. Sırada yer almaktadır. Her ne kadar KUL34,5 numunesi 3. sırada yer alsada bu sonuçlar bize külün betonun 7 gün için prizini almasını geciktirdiğini göstermektedir.

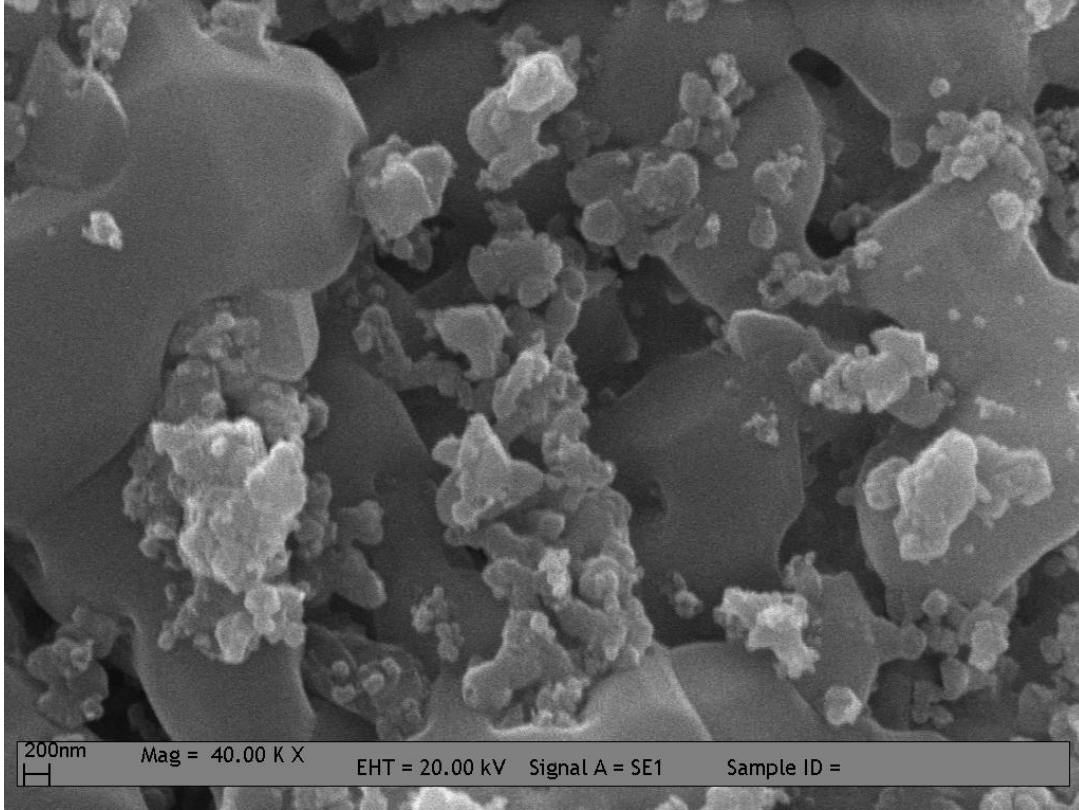
**ÇİZELGE 17: 7 ve 28 günlük basınç dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması**

	C30	KUL 34,5	KUL 52	KUL 69	C25	KUL 78	KUL 104	KUL 156
<b>7 Günlük Sonuç Ortalaması (N/mm<sup>2</sup>)</b>	21	17,7	19,6	16,9	19,5	19,4	16,2	11,3
<b>28 Günlük Sonuç Ortalaması (N/mm<sup>2</sup>)</b>	31,5	25,4	24,4	22,6	26,3	24,6	25,3	23,2
<b>Basınç Dayanım Artışı (%)</b>	50	43,5	24,5	33,7	34,9	26,8	56,2	105,3

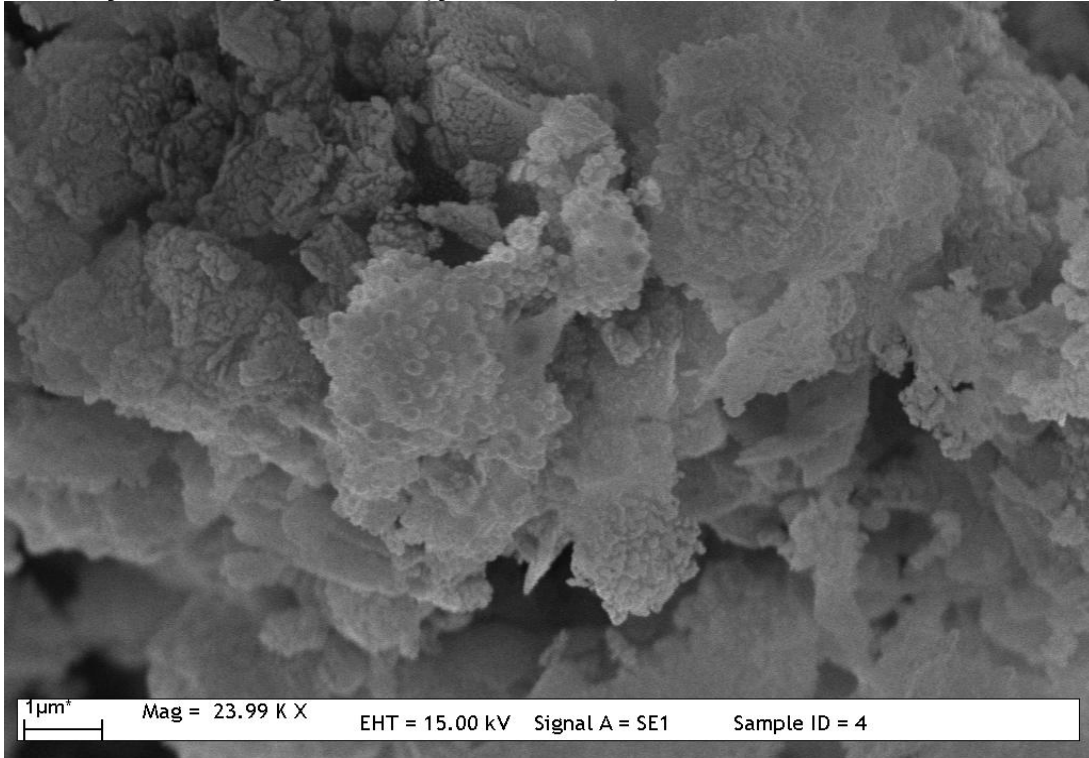
#### 4.3.2. Elektron mikroskobu ile görüntüleme sonuçları

Şekil 19'dan görüldüğü gibi külü elektron mikroskobunda 40.000 kat büyüttüğümüzde kalsit parçalarının arasında karbonat türleri görülmektedir. Külün içerisinde bulunan kalsit aynı zamanda agreganın da çimentonun da içerisinde bol miktarda bulunmaktadır. Şekil20'de Sertaç Çelik'in 2009 yılında atıksu arıtma tesisi çamurunun külünü bertaraf etmek amacıyla yaptığı çalışmada kullanmış olduğu külün görüntüsünü görmekteyiz. Çamur külü tehlikeli atık yakma tesisinden çıkan taban külünden farklı olarak daha az gözenek barındırıyor. Bir sonraki şekilde ise Kore Chungnam üniversitesinde Seung Bum Park tarafından yapılan çalışmadaki kömürün yakılması sonucu ortaya çıkan taban külünü görmekteyiz. Bu kül ise yine tehlikeli atık yakma tesisi taban külü gibi kalsit parçaları içerirken, daha küçük porlar içerdiğinden beton içerisinde kullanım verimi daha fazla olmaktadır.

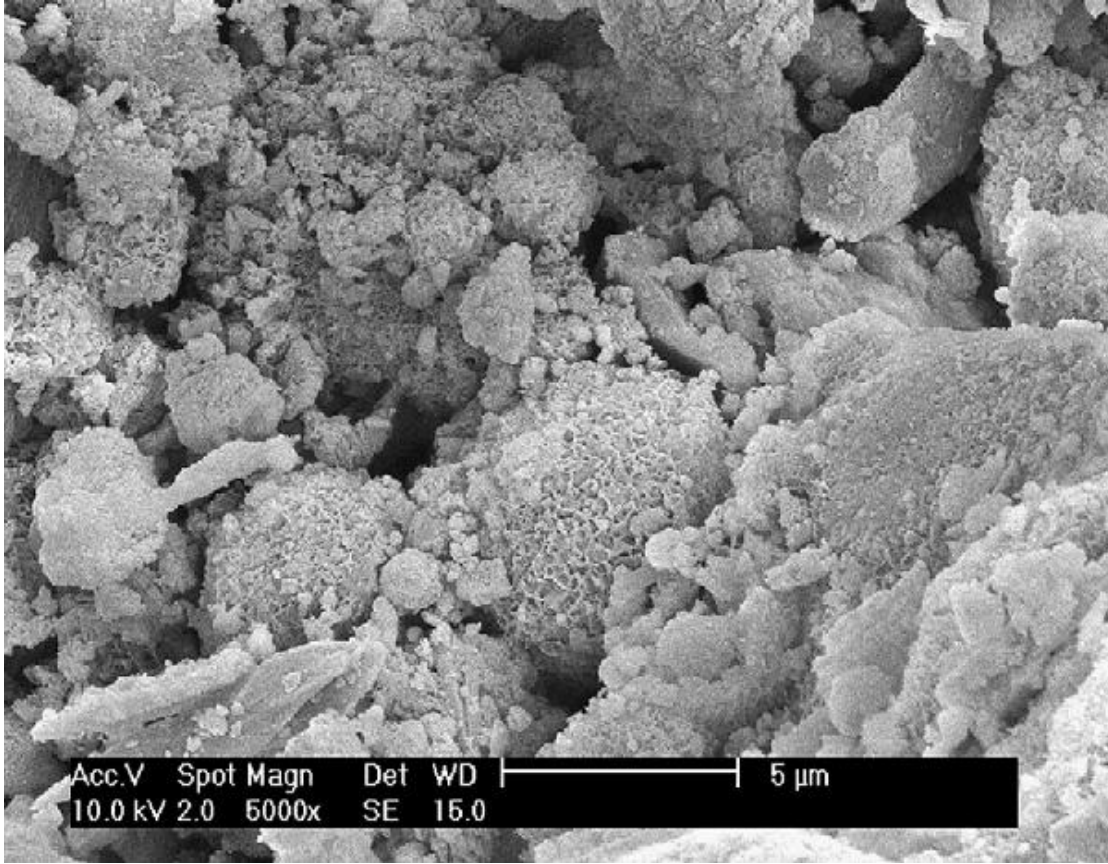
**Şekil19:** Taban külünün Elektron Mikroskopunda 40.000kat büyütülmüş görüntüsü



**Şekil20:** Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmada kullanılan atıksu arıtma çamur külü görüntüsü (ÇELİK, 2009)



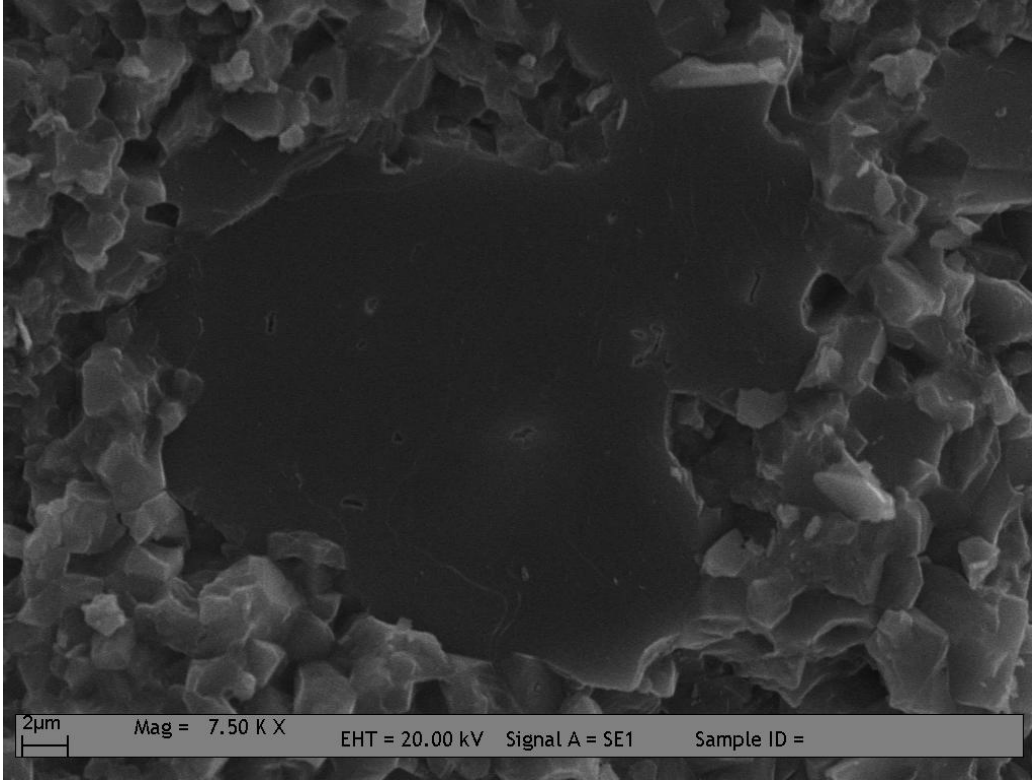
**Şekil21:** Daha önce Seung Bum Park Kore Chungnam Üniversitesinde yapılan termik santral (kömür santrali) taban külünün görüntüsü(SEUNG, 2008)



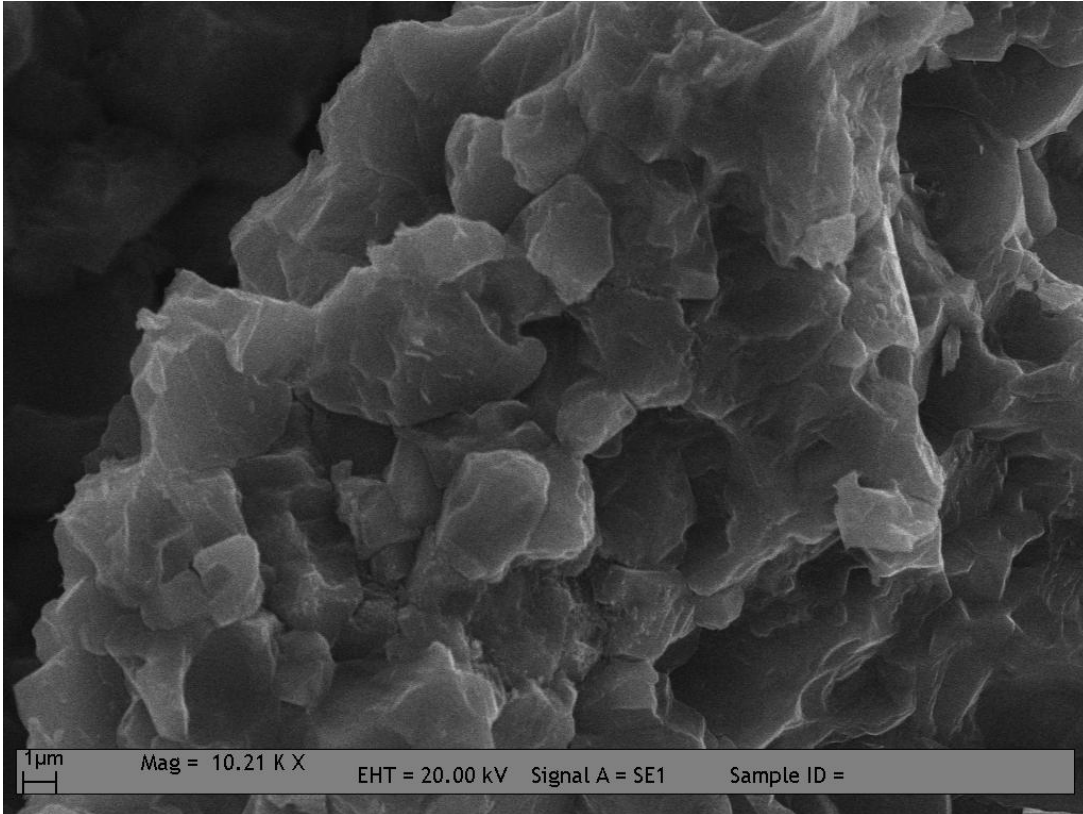
Şekil 22’de karıştırılmasından 45 gün sonra, C25 numunesinin görüntüsünde büyük bir parça görülmektedir. Bu parça üzerinde yapılan XRD analizinde %92,89 oranında kalsiyum bulundurduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç parçanın kalsit olduğunu göstermektedir. Kalsit parçası kalsiyum silikat ile diğer kalsit parçalarına tutunmuş durumdadır. Aynı durum şekil23’deki C30 numunesinin görüntüsünde de görülmektedir.

Şekil 25’te KUL34,5 numunesinin elektron mikroskobundaki görüntüsünde kül parçacıkları agrega aralarında sıvanmış şekilde görünmektedir. Şekil28’de ise KUL69 numunesinin görüntüsünde öbeklenmiş olarak görülen bir madde vardır. Yapılan XRD deney sonuçlarına göre madde %65,46 oranında kalsiyum içerirken, %17 civarında silikon ve %3 oranında titanyum içermektedir. Sonuçlara bakıldığında öbeklenmiş maddenin kül olduğu anlaşılmıştır.

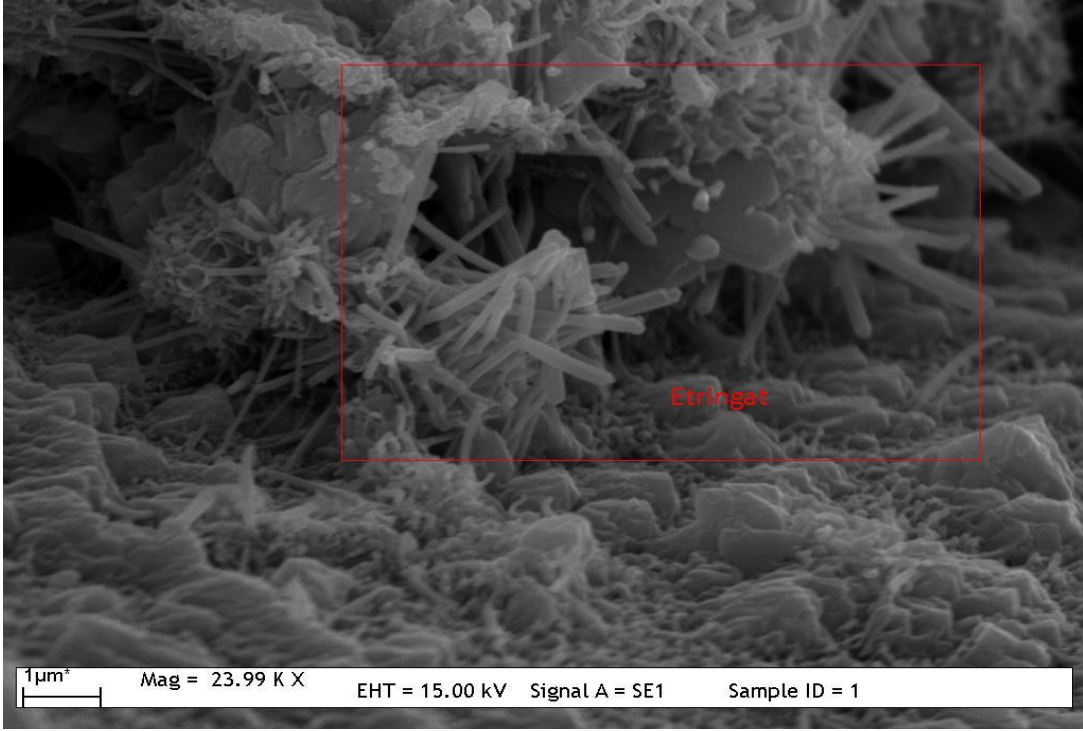
**Şekil22:** C25 numunesinden bir görüntü



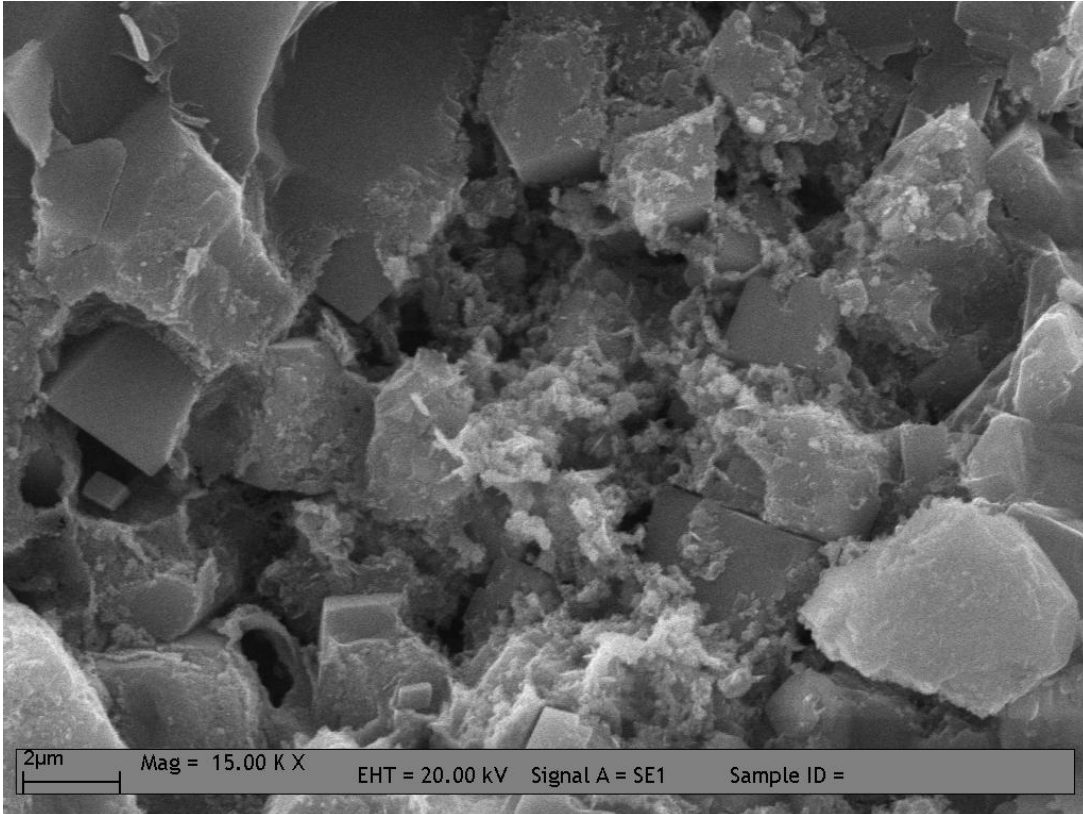
**Şekil 23:** C30 numunesinin Elektron mikroskop görüntüsü



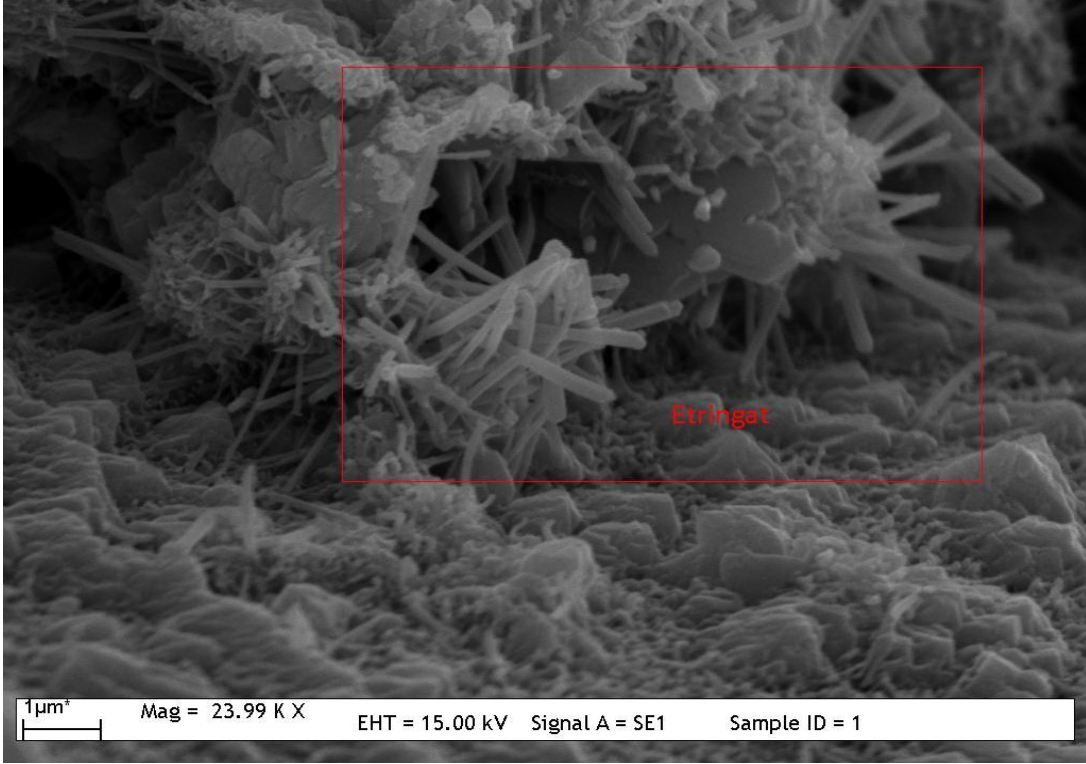
**Şekil 24:** Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmadaki c30 referans beton numunesinin görüntüsü



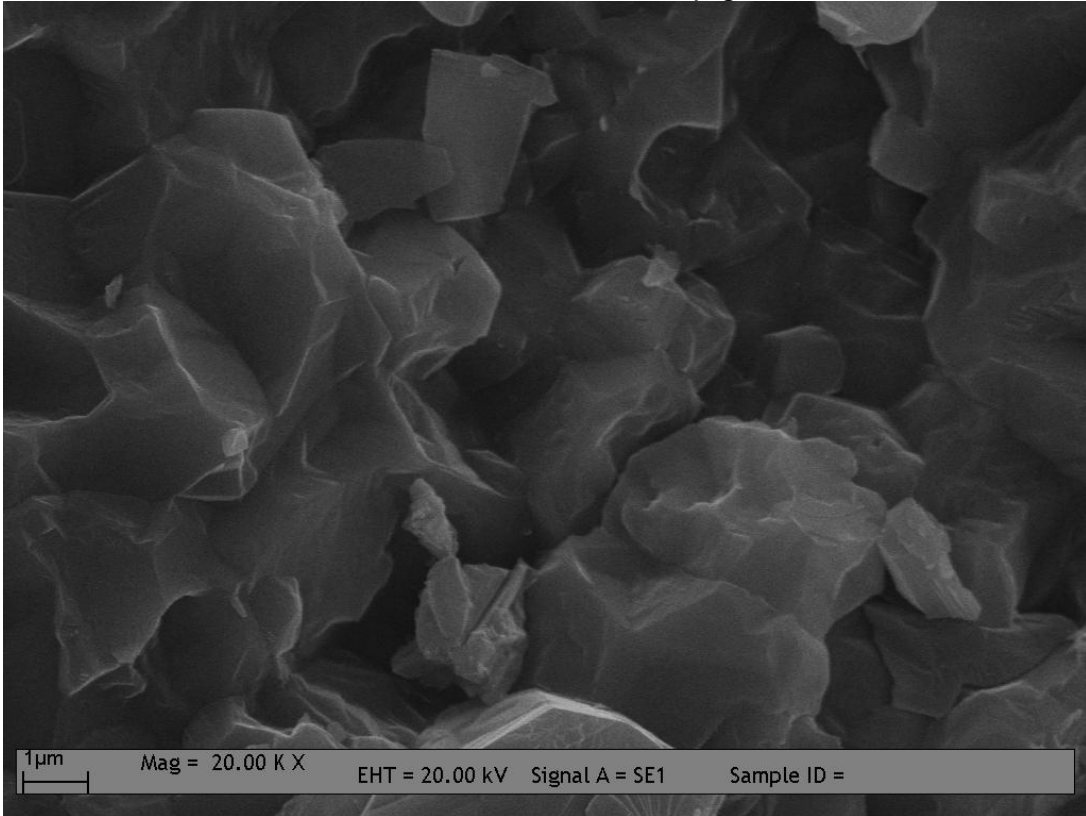
**Şekil 25:** KUL34,5 numunesinin Elektron mikroskop görüntüsü



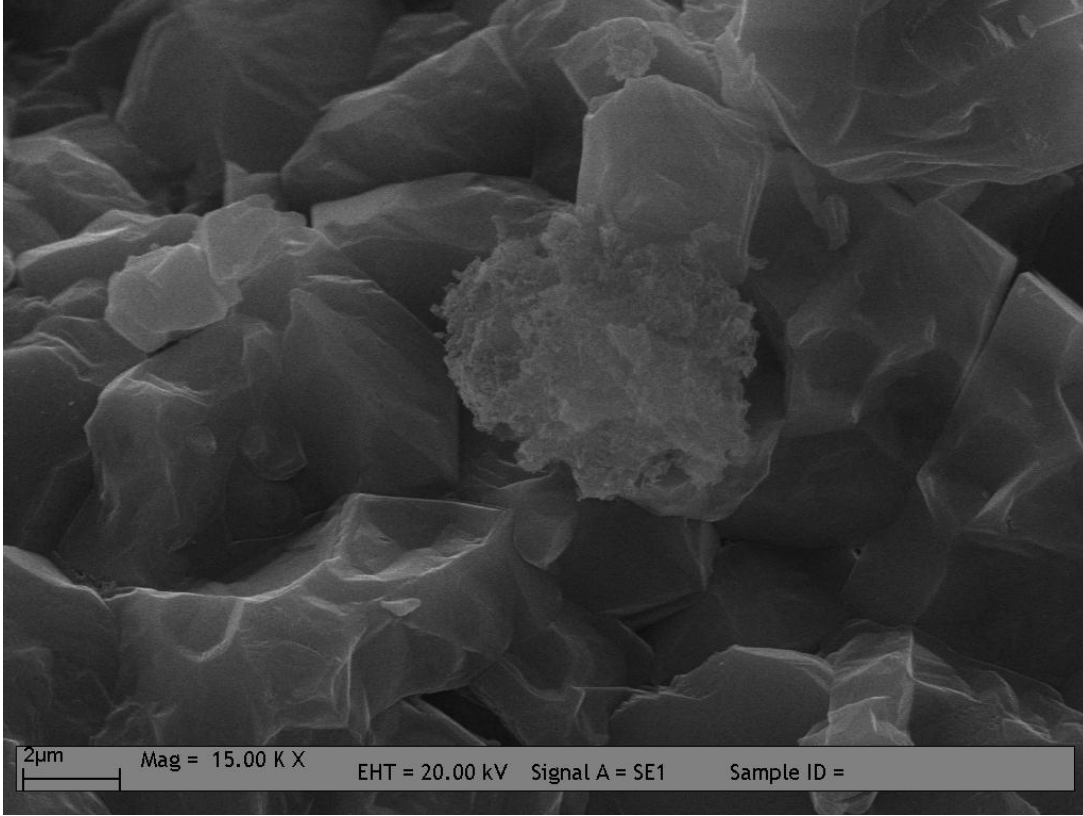
**Şekil 26** : Daha önce Sertaç Çelik tarafından yapılan çalışmada çimento içeriği %15 azaltılmış yerine 1,5 kat kül konulmuş beton numunesinin görüntüsü



**Şekil 27:** KUL52 numunesinin Elektron Mikroskop görüntüsü



**Şekil 28:** KUL69 numunesinin Elektron mikroskop görüntüsü

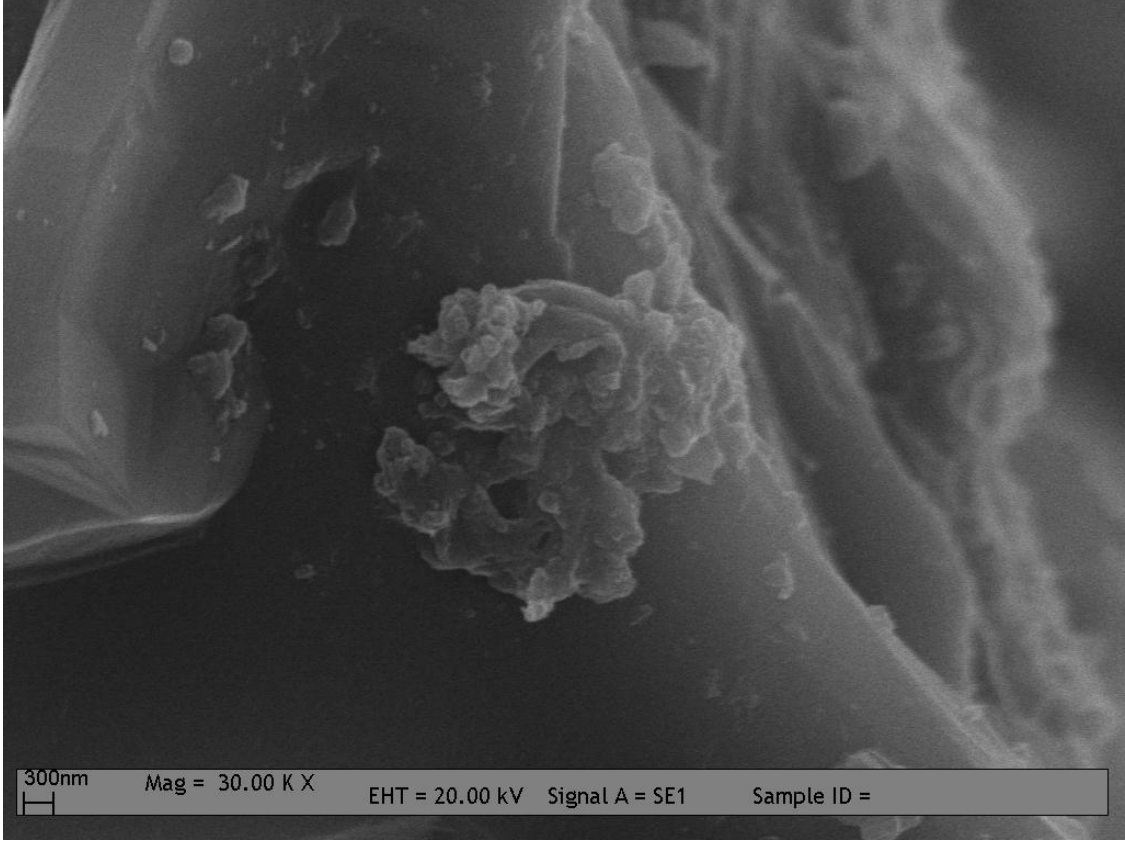


Şekil 29'daki KUL78 numunesinde kül parçacıkları agrega üzerine sivanmış olarak görülmektedir. Şekil 30'daki görüntüde sol altta görülen beyaz bölgede yapılan XRD analizine göre görüntünün %54,5 kalsiyum, %2,7 titanyum ve %10 civarı silikon içeren küle ait olduğu anlaşılmıştır.

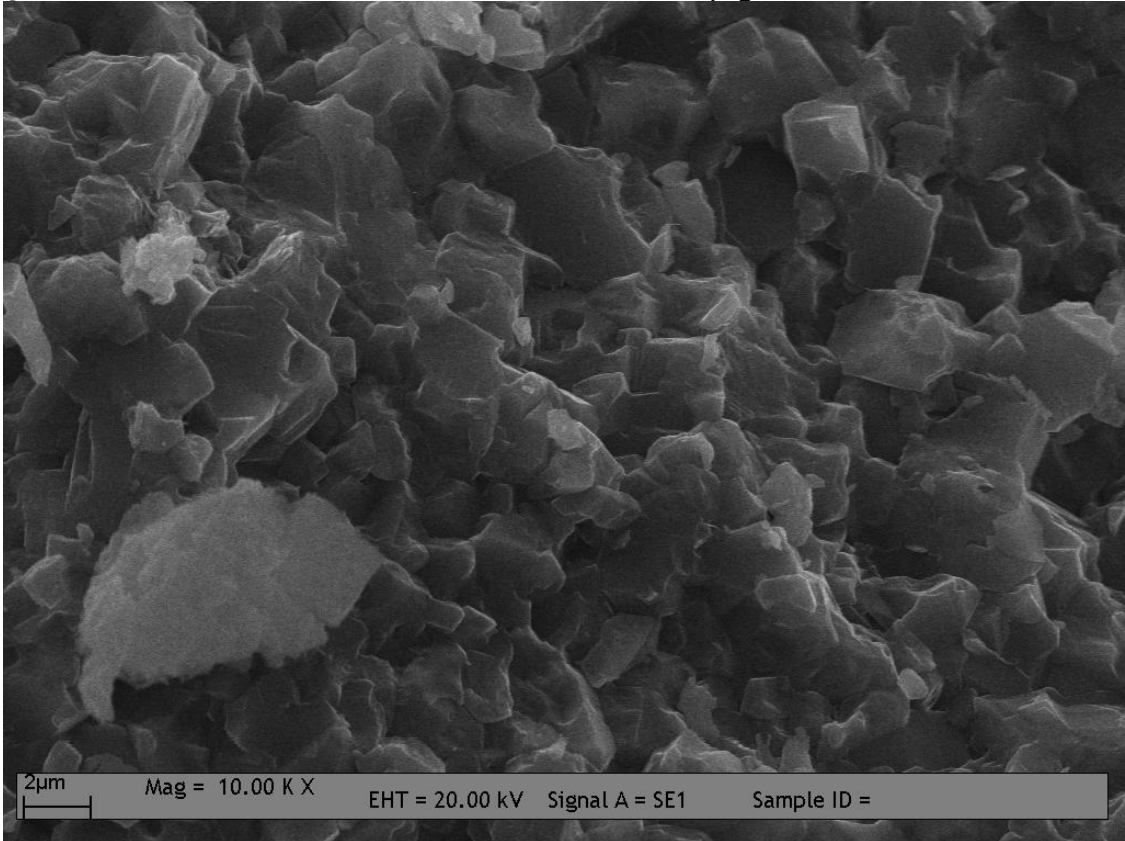
Şekil 31'de KUL156 numunesinin görüntüsünde alt bölgede beyaz olarak görünen külün, içerik olarak silikon ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 32'deki örnekteki kül ise titanyum ağırlıklıdır.

Sonuç olarak görüntülerden anlaşıldığı üzere; taban külü beton içerisinde uçucu külün yaptığı gibi bağlayıcı bir görev üstlenmemiş, farklı bir biçimde agregaya sivanmıştır. Bu durum bize basınç dayanım testlerindeki dayanım azalmasını açıklamaktadır. Ancak bağlayıcı olmayan kül, agregaya sivanarak agreganın yüzey alanını genişletilmiş, çimentonun bağlayıcılık verimini artırmıştır.

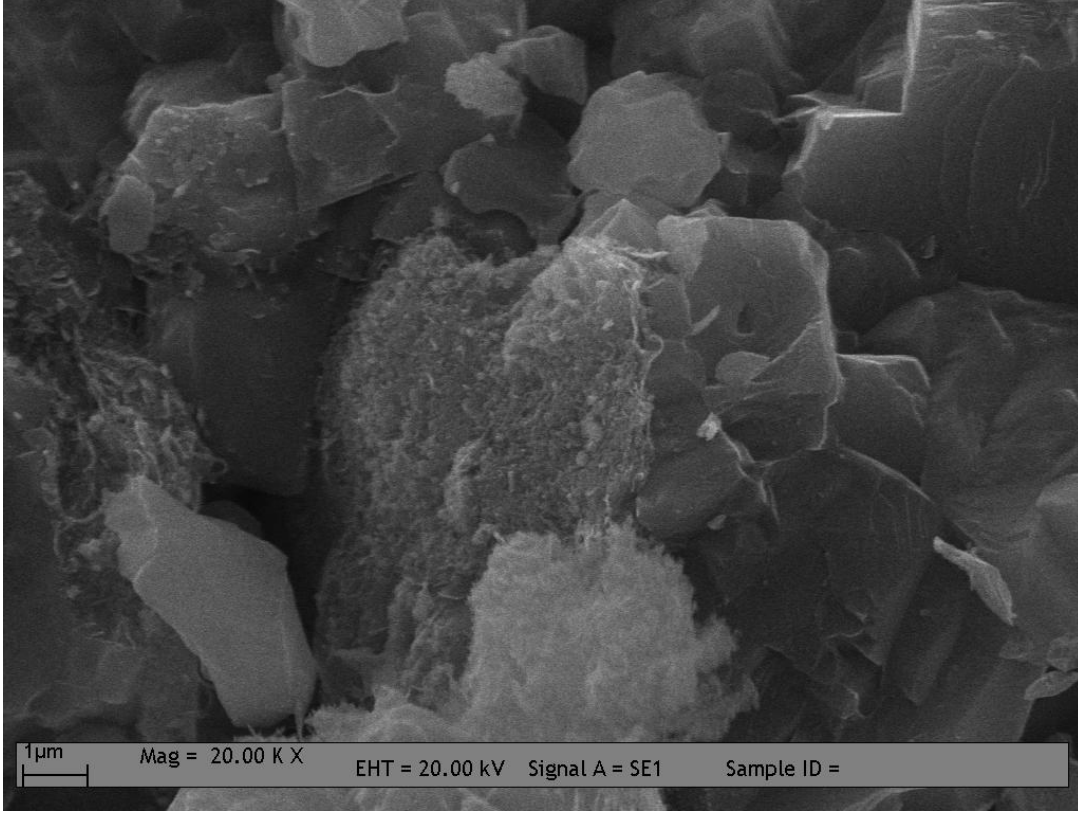
**Şekil 29:** KUL78 numunesinin Elektron Mikroskop görüntüsü



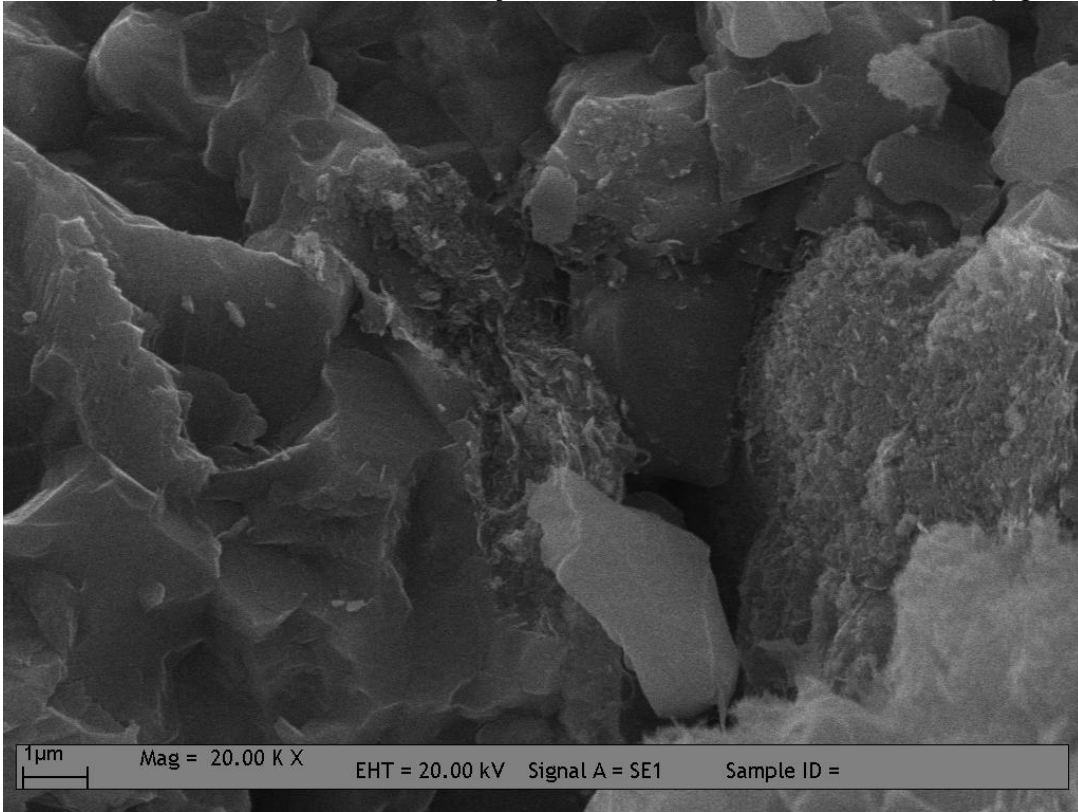
**Şekil 30:** KUL104 numunesinin Elektron Mikroskop görüntüsü



**Şekil 31:** KUL156 numunesinin Elektron Mikroskop görüntüsü



**Şekil 32:** KUL156 numunesinin başka bir noktadan Elektron Mikroskop görüntüsü



### 4.3.3. XRD Spektrometre Deney Sonuçları

Külün içerisinde bulunan bileşiklerin hiçbir numunede aynı olmadığı Çizelge 18’de görülmektedir. Aynı bileşikler içeren numunelerde ise bileşik miktarlarının değişimi belirli bir sisteme sahip değildir. Bu sonuç bize temin edilen külün içeriğinin yakılan atıkla değişebileceğini göstermektedir.

Tehlikeli atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan taban külünün beton içerisinde kullanılması için öncelikle yakma sistemine giren atıkların belirli bir tarifeye sisteme sokulması gerekmektedir. Bu tarife çıkan külün yapısını inceleyerek ortaya çıkarılmalıdır. Ayrıca çıkan taban külü belirli ölçülerde depolanıp harmanlanarak nizami bir kül kütlesi elde edilmelidir. Betonda kullanılacak olan külün içeriği her seferinde X ışını toz kırınım deneyi ve tehlikeli atık analizi ile belirlenip ona göre karıştırılmalıdır. Sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için başka bir çalışma ile külün içeriğine göre beton basınç dayanımının ve betonun sağlığa etkilerinin nasıl değiştiğinin de araştırılması gerekmektedir.

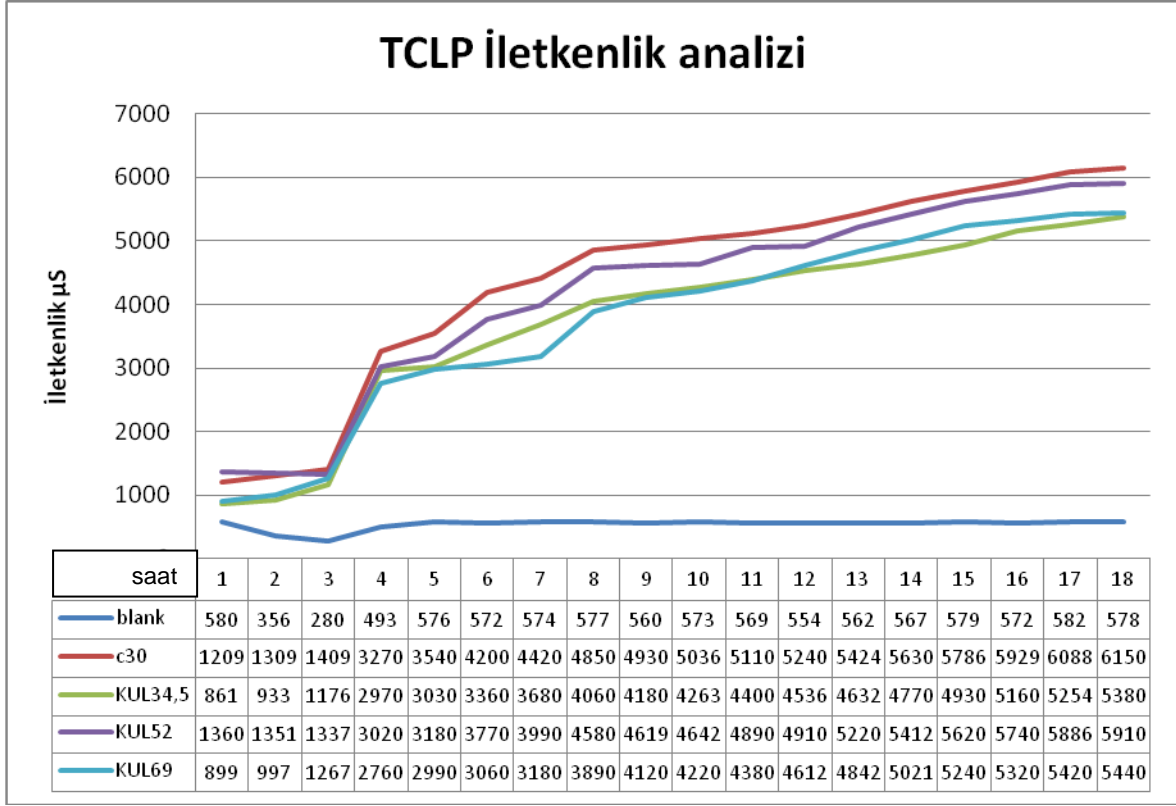
**ÇİZELGE 18:** XRD Deney sonuçları

	C25	C30	KUL 34,5	KUL 52	KUL 69	KUL 78	KUL 104	KUL 156
Calcite	99		87	94		100		
Calcite,magnesian					88		93	72
Calcium Cadmium Carbonate			37	94			100	
Calcium Carbonate		50			98			
Copper titanium	10	10	10	9	10	10	10	7
Chalcopyrite					18			
HP, Sn-Tin-II			5					
Magnesium Calcium Carbonate	83	50	7	5		82		
Aluminum Titanium	7	7	7	7	7	7	7	5
Iron Germanium Hafnium							15	
Tetrahedrite				20				
Molybdenum Nitride		3			5		5	3
Copper Silicide		5			5			5
Vanadium Oxide		5					5	5
Magnesium NitrideFluoride	5		3					
Calcium manganese oxide	5				5	7	7	5
Zirconium Oxide Deuteride	7	7	9	10		9	10	7
Erbium Germanide			7					
Strontium tin(IV) borate				56				56
Zirconium Oxide				9	9	5		
Neon				7				

\*Birimler ışın kırınım yüzdesi olarak verilmiştir.

#### 4.3.4.TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) deney sonuçları

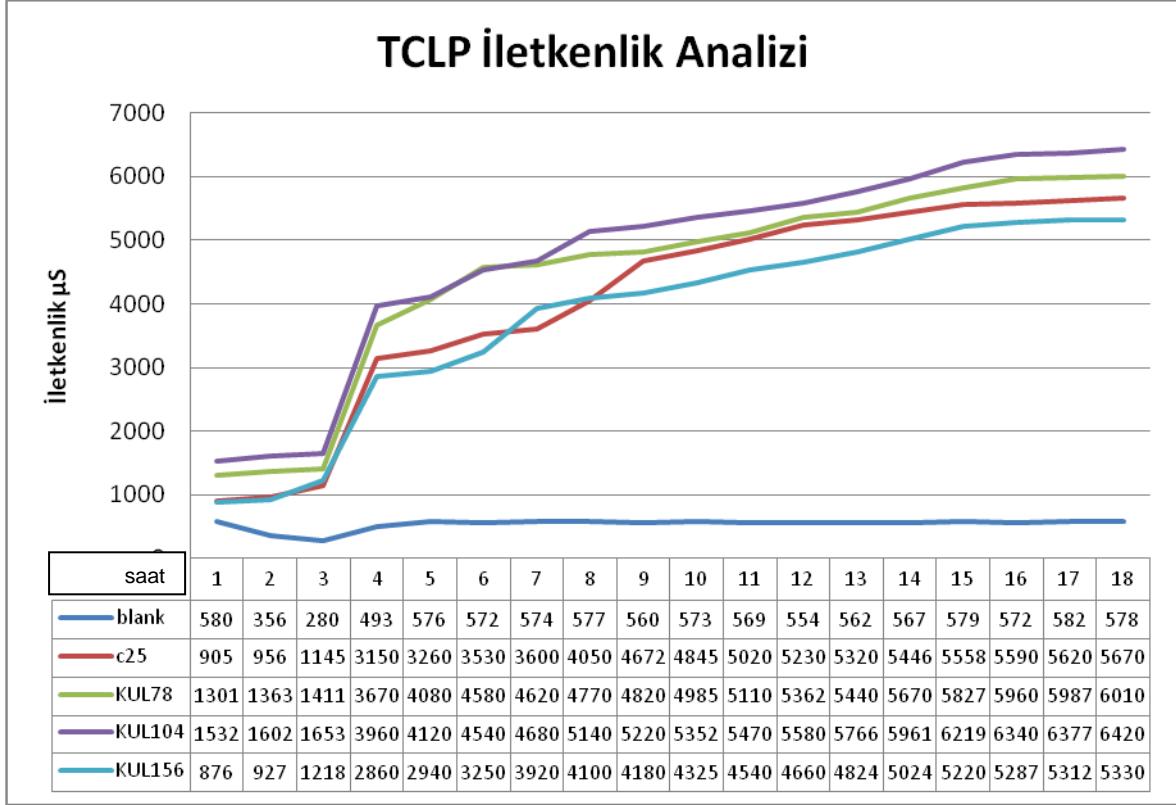
Şekil 33: C30 referans grubu TCLP iletkenlik eğrileri



Şekil 33 ve şekil 34’de görüldüğü gibi tüm numunelerin iletkenlik değişimi “blank” numunesine göre zamanla artış şeklindedir. Bu artış betonun içerisinde bulunan klorür ve florürün çözültüye geçmesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan deneylerde C30 ve C25 numunelerinin de iletkenlik değerinde aynı artışı yapması; bu salınımın betonun standart bir özelliği olduğunu göstermektedir. Ancak kullanılan taban külünün içerisinde bulunan ve tehlikeli atık standartlarını aşan parametrelerden klorür, florür ve sülfat bu artışta etkili olmuştur.

Beton içerisinde bulunan klorun fazlalığı betonun içerisindeki demir donatının korozyonuna sebep olmaktadır. Bu nedenle kül içerikli beton statik yükü fazla uygulamalarda kullanılmamalıdır. Sertleşmiş betonda sülfatlar kalsiyum alimünatlarla reaksiyona girerek genleşmeye neden olur. Bu nedenle zaman içinde betonda parçalanmalar ve ayrışmalar oluşur. Aynı problem deniz suyunun veya sülfat içeren atıksuyun temas ettiği betonlarda da görülür. Bu duruma önlem için sülfata dayanıklılığı sağlayan beton katkıları kullanılabilir.

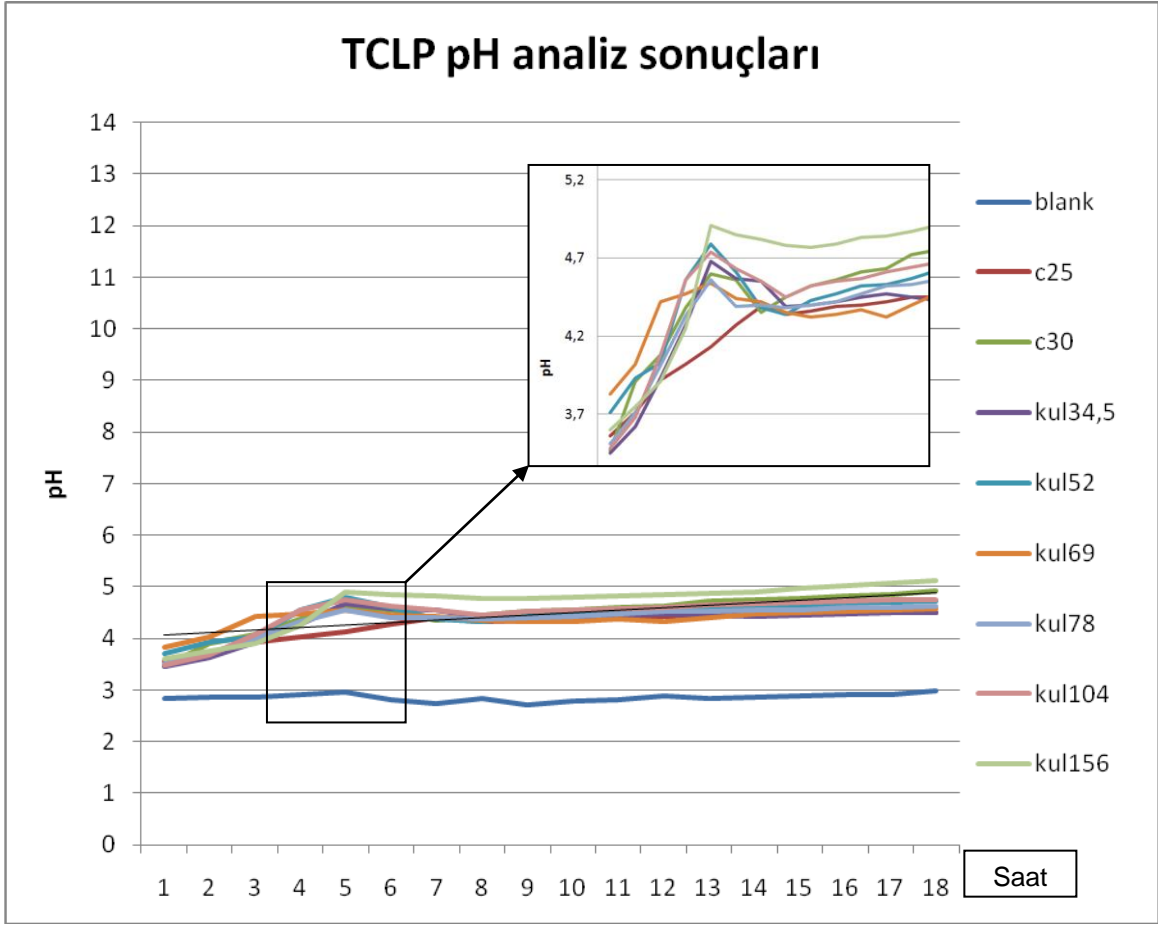
Şekil 34: C25 referans grubu TCLP iletkenlik eğrileri



ÇİZELGE 19: TCLP deneyi 18 saatlik pH ölçüm sonuçları

saat	BLANK	C 25	C 30	KUL 34,5	KUL 52	KUL 69	KUL 78	KUL 104	KUL 156
1	2,83	3,56	3,47	3,45	3,71	3,83	3,51	3,48	3,60
2	2,85	3,71	3,91	3,62	3,93	4,02	3,71	3,68	3,75
3	2,87	3,92	4,08	3,93	4,03	4,42	4,01	4,08	3,91
4	2,92	4,02	4,38	4,27	4,56	4,47	4,33	4,56	4,25
5	2,95	4,13	4,60	4,68	4,79	4,54	4,56	4,74	4,91
6	2,82	4,27	4,56	4,57	4,61	4,44	4,39	4,63	4,85
7	2,75	4,39	4,35	4,55	4,38	4,42	4,40	4,55	4,82
8	2,83	4,34	4,45	4,39	4,34	4,35	4,38	4,45	4,78
9	2,72	4,36	4,52	4,40	4,43	4,32	4,40	4,52	4,77
10	2,78	4,39	4,56	4,42	4,47	4,34	4,42	4,55	4,79
11	2,80	4,40	4,61	4,45	4,52	4,37	4,47	4,57	4,83
12	2,88	4,42	4,63	4,47	4,53	4,32	4,52	4,61	4,84
13	2,84	4,45	4,72	4,45	4,57	4,40	4,53	4,64	4,87
14	2,86	4,45	4,75	4,43	4,62	4,47	4,56	4,67	4,91
15	2,89	4,47	4,77	4,46	4,63	4,49	4,55	4,69	4,97
16	2,92	4,49	4,83	4,48	4,68	4,53	4,59	4,72	5,02
17	2,92	4,49	4,86	4,49	4,69	4,55	4,60	4,74	5,08
18	2,99	4,50	4,93	4,49	4,72	4,57	4,62	4,75	5,12

**Şekil 35:** Numunelerin bekletildiği asit çözeltisinin 18 saatlik pH sonuç grafiği



TCLP deneyinde çözelti numunelerine yapılan pH ölçüm sonuçları Çizelge 19'da verilmiştir. Aynı sonuçları Şekil 35'deki grafikten de incelediğimizde tüm beton numunelerinin pH değerini ilk 5 saatte hızla yükselttiği görülmektedir. Bunun nedeni betonun yüzeyinde bulunan çimento ağırlıklı tabaka içerisindeki kalsitin asit ile tepkimeye girmesi olarak gösterilebilir. Bu reaksiyon mutfakların mermer tezgahlarına limonun yaptığı etkinin aynısıdır.

5. saatten sonra beton yüzeyinde kütle kayıpları meydana gelir, geriye agregalar kalır. Agreganın içerisinde bulunan kalsitle asitin tepkimesi daha yavaş olur bu nedenle bu safhadan sonra pH daha yavaş yükselir.

C30 ve C25 numunelerine kıyasla, diğer numuneler pH'ı daha hızlı nötralize etmiştir. Bu durum beton içerisinde bulunan külün içerisindeki kalsitin asitle daha çabuk tepkimeye girdiğini göstermektedir. Ancak kül içeren numunelerde kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir.

TCLP prosedürünün son basamağı olan içerik analizi için sadece basınç dayanımı en iyi olan KUL104 numunesi ve numunenin bulunduğu grup ICP-MS cihazı aracılığıyla element analizine sokulmuştur. Çizelge 20'deki ICP-MS analiz sonuçlarına baktığımızda ise kül miktarı arttıkça beton numunelerinin çözeltiye bıraktığı element miktarının arttığını görmekteyiz.


Kadmiyum, molibden ve çinko elementlerinde sadece KUL104 numunesinin Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Ek 11-a da bulunan tabloya kıyasla tehlikesiz atık sınıfına girdiği görülmektedir.

Kurşun element değeri KUL78 ve KUL104 numunelerinde tehlikesiz atık sınıfına girerken, taban külü içeren numunelerin üçünde de nikel salınımı tehlikesiz atık sınıf limitleri içerisinde çıkmıştır.

Sonuç olarak taban külü karıştırılan numunelerin karıştırılan kül ile doğru orantılı olarak salınım miktarlarında artış olduğu görülmektedir. Ancak bu artış yönetmeliklerce belirlenen sınırlarda tehlikesiz konumunda bulunmaktadır. Başka bir şekilde yorumlamak gerekirse; taban külü kullanılan betonun insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyecek herhangi bir zararı bulunmamaktadır.

**ÇİZELGE 20:** ICP-MS analiz sonuçları

Örnek Element	C25	KUL 156	KUL 78	KUL 104	İnert	Tehlikesiz	Tehlikeli
As (µg/L)	4.42±0,12	4.31±0,29	5.34±0,29	5.88±0,27	≤50	50-200	<200-250
Ba (µg/L)	218.30±0,05	258.34±3,18	280.25±2,54	260.21±1,47	≤2000	2000-10000	<10000-30000
Cd (µg/L)	0.28±0,01	0.79±0,03	3.53±0,10	9.18±0,14	≤4	4-100	<100-500
Cr (µg/L)	22.96±0,58	23.74±0,11	36.72±1,70	39.69±0,65	≤50	50-1000	<1000-7000
Cu (µg/L)	27.75±0,29	34.27±0,15	52.53±1,01	107.35±0,17	≤200	200-5000	<5000-10000
Mo (µg/L)	1.27±0,04	1.70±0,01	20.79±0,36	67.81±1,60	≤50	50-1000	<1000-3000
Ni(µg/L)	36.52±0,50	43.07±0,73	52.21±1,85	62.13±1,79	≤40	40-1000	<1000-4000
Pb (µg/L)	2.93±0,05	5.62±0,12	76.64±0,55	241.55±1,11	≤50	50-1000	<1000-5000
Sb (µg/L)	0.60±0,02	0.53±0,01	1.19±0,13	2.02±0,06	≤6	6-70	<70-500
Se (µg/L)	-	-	4.21±0,36	7.88±0,16	≤10	10-50	<50-700
Zn (µg/L)	75.93±0,14	96.79±2,15	277.72±4,74	539.10±6,09	≤400	400-5000	<5000-20000

 Tehlikesiz atık limitlerine giren ölçümler

## **5.GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER**

Çevre kirliliğinin önemli sebeplerinden biri olan katı atıkların yakma yoluyla bertaraf edilmesi sonucu çıkan taban külleri de kirlilik nedenidir. Çalışmanın sonuçlarını değerlendirirken kullandığımız malzeme alternatifinin taban külü olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan deneylerde taban külünü çimento yerine kullanmanın beton basınç değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Ancak burada çalışmanın asıl amacının taban külünün bertaraf edilmesi olması sebebi ile konuyu farklı açıdan değerlendirmek gerekir. Diğer taraftan külün agrega yerine belirli oranlarda kullanıldığında beton basınç değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Çökme deneyinde tüm kül numuneleri referans numunelerin çökme aralığında kalmıştır.

TCLP sonuçlarına bakıldığında ise beton numunelerinin iletkenliği arttırdığı görülmüştür. Ancak taban külü kullanılan beton numunelerinin standart beton numunelerinden farklı bir iletkenlik artışı yapmadığı görülmüştür. ICP-MS element analizlerine göre taban külü kullanılan numunelerin salınımlarında artış olduğu gözlemlenmiş ancak bu salınım değerlerinin hiç biri Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek11-a tablosuna göre tehlikeli sınıfına girmemiştir.

Tüm bu deney sonuçları göz önünde bulundurularak çalışma; külün çimento veya agrega yerine kullanıldığında sağladığı ekonomik avantajlar ve ortaya çıkan yeni kullanım alan önerileri olmak üzere iki ayrı başlıkta değerlendirilmelidir.

### **5.1.Maliyet Avantaj Analizi**

Külün çimento alternatifi olması durumunda bize sağladığı ekonomik avantaj; külün bertaraf maliyeti ve betonda kullanılmayan çimentonun maliyetinin toplamından kül içeren betonda kullanılması gereken katkı maddelerinin maliyetinin çıkarılması sonucu bulunur.

**ÇİZELGE 21: 1 Ton kül 1 ton çimento yerine kullanıldığında edilecek kar**

Kül Bertaraf Bedeli	+465	TL/Ton
Kül Nakliye Bedeli	+ 60	TL/Ton
Çimento Maliyeti	+ 80	TL/Ton
Çimento Nakliye Bedeli	+ 24	TL/Ton
Beton katkısı	- 58	TL/Ton
<b>TOPLAM:</b>	<b>571</b>	<b>TL/Ton</b>

\*Kül bertaraf ve nakliye bedeli Petkim ile İzaydaş arasında yapılan protokolden çimento ve çimento nakliye bedeli Bolu çimento tarifesiinden alınmıştır.

En iyi sonucu veren KUL34,5 numunesini baz aldığımızda yaklaşık 29m<sup>3</sup> beton üretmek için 1ton kül kullandığımızda 1 ton çimento kazanmış oluruz. Çizelge21'den de görüldüğü gibi 29m<sup>3</sup> beton üretiminde çimento yerine %10 kadar kül kullandığımızda 571TL avantaj sağlamaktayız. Başka bir deyişle beton metreküpünde 19,7TL gibi önemli bir avantaj sağlamış oluruz. (Bu hesaplamalara külün depolanması için gerekli olan alan bedeli, kül ve çimentoyu taşıyan araçların aşınma payı göz ardı edilmiştir.)

**ÇİZELGE 22: 1 Ton kül 1 ton agregaya yerine kullanıldığında edilecek kar**

Kül Bertaraf Bedeli	465	TL/Ton
Kül Nakliye Bedeli	60	TL/Ton
Agrega Maliyeti	5	TL/Ton
Agrega Nakliye Bedeli(100km)	13	TL/Ton
Beton katkısı	- 19,2	TL/Ton
<b>TOPLAM:</b>	<b>523,8</b>	<b>TL/Ton</b>

Çizelge22'den görüldüğü gibi 1 ton külü agregaya yerine kullandığımızda 523,8TL avantaj sağlamış olmaktadır. Külü agregaya yerine kullanarak hazırladığımız numunelerden en iyi sonucu veren KUL104 numunesini ele aldığımızda 1 ton kül kullanmak için 9,6m<sup>3</sup> beton karışımı hazırlamak gerekmektedir. Dolayısıyla 1 m<sup>3</sup> betonda 54,56TL kar elde edilir. Külü agregaya yerine kullandığımızda basınç dayanım, sıcaklık ve çökme deneylerinde betonun kullanımına engel bir durum olmadığı belirlenmiştir.

## 5.2.Kullanım Alan Önerileri

Tüm beton numunelerinin çökme deney sonuçlarına baktığımızda uygulamada kullanım açısından herhangi bir sakınca görülmemektedir. Ancak basınç dayanım deney sonuçlarına baktığımızda C30 beton karışım reçeteleri baz alınarak hazırlanan KUL34,5, KUL52 ve KUL69 numunelerinin sonucu beklenenin aksine C30 standartlarını yakalayamamaktadır. Diğer taraftan C25 beton karışım reçetesine göre hazırlanan KUL78, KUL104 ve KUL156 numunelerinden KUL104 numunesi C25 basınç standartlarını yakalamış durumdadır.

KUL104 numunesi inşaat sektöründe C30 beton şartı olan özel yapılar dışında her yerde katkı karıştırılarak kullanılabilir. Bunun dışında çalışmada yer alan tüm beton çeşitleri briket yapımında, grobeton dökümü ve karo taşı gibi malzemelerin hazırlanmasında kullanılabilir. Taban külü kullanılan beton standart C20 sınıfı betondan daha fazla klorür içerdiğinden demire zarar vermemesi için ancak sülfata dayanıklılık katkı maddesi kullanılarak C20 betonunun kullanılabileceği her yerde kullanılabilir. Külün betona, katkılı olsa da donatı içerisindeki demire, dolaylı olarak insan ve çevre sağlığına zararının olup olmadığı ancak yapılacak pilot tesislerin uzun yıllar denetilmesi ile anlaşılabilir.

Sonuç olarak KUL104 karışımı basınç dayanımı, kıvam sınıfı ve maliyet açısından incelendiğinde standart C25 betonlarından bir farkı olmadığı görülmüştür. Ek olarak KUL104 betonunun maliyeti standart C25 betonlardan çok daha azdır.

Yapılan çalışmalar atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan küllerin beton içerisinde kullanılmalarının bazı olumsuz sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Bu nedenle aynı konuda yapılacak çalışmalarda kullanılacak külün karakteri iyice belirlenmeli farklılıklar çıkmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Küldeki karakter farklılıklarına engel olmak için kül uygun hacimlerde alınıp homojen oluncaya kadar karıştırılmalıdır. Ayrıca daha sonra yapılacak çalışmalarda kül karıştırma oranları daha küçük artışlarla değiştirilerek daha kesin sonuçlar elde edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- ADEDİBU AA. Gelişmiş Ülkelerdeki Katı Atık Kompozisyonunun Ve Dağılımının Belirlenmesi, Environmentalist Dergisi, 1985;5(2):123–7
- AGAPITIDIS, I., Frantzis, I., 1998. Yunanistan'daki Evsel Atık Yönetimi için Uygun Stratejiler, Atık Yönetim ve Araştırma Birimi, s244–252
- ALYANAK, İbrahim, Türkman Ayşen, 1995, "İzmir'de Tehlikeli ve Zararlı Atıklar ve Bertarafı", İzmir'in Çevre Sorunları, İzmir Ticaret Odası Yayınları, s.277
- ANNEGRETE, B., 2001. Atık Üretim Miktarını ve Atık Yönetimini Etkileyen Faktörler, Katı Atık Teknolojileri ve Yönetimi Dergisi, Sayı 27, s156–162
- A. KİDA, Y. Noma, T. Imada, 1996, "Chemical speciation and leaching properties of elements in municipal incinerator ashes", Çin Çevre Bakanlığı Atık Yönetimi Yayını s 527–536
- BAI, R., Sutanto, M., 2002. Singapur'da Atık Yönetim Uygulamaları, Atık Yönetim Birimi Yayını, s557–567.
- BEIJING, 1997, Çin Standart Yayınları 2. Basım, Çin Çevre Kalitesi ve Komtaminasyon Birimi
- Belediye Atık İstatistikleri,2008, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni Sayı:50 Mart 2010 – www.tuik.gov.tr
- Bolu Çimento, Agrega Tane Dağılımı İnce Madde Tayini Formu, 01.06.2010 tarihli Bolu Çimento Ar-Ge F\_8\_04 no'lu Elek Analiz Raporu
- BULUT, Ömer Engin, 1995, "Tıbbi Atık Yönetimi", <http://www.arnil.net.tr/~bdo/atik.html>
- CANDAR, Güler, 2003, "Atık Yönetim Uygulamasında Adım Adım", 3. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi <http://www.das.org.tr/kitap2003/11.htm>.

- CHAABAN M.A., 2001, Hazardous waste source reduction in materials and processing technologies, Malzeme Teknolojileri Dergisi, Sayı 119, s336
- C.C. WILES, 1996, "Municipal solid waste combustion ash: state-of-the-knowledge", Hazardous Materials 47 dergisi, s325–344.
- C.S. KİRBY, J.D. Rimstidt, 1993, " Mineralogy and surface properties of municipal solid waste ash", Çevre Bilim ve Teknolojileri Dergisi, Sayı 27, s652–660.
- ÇELİK, Ş.Sertaç, 2009, "Susuzlaştırılmış Aktif Çamurun İnşaat Sektöründe Hammadde Olarak Kullanım Potansiyelinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, 89s
- D.W. CHA, 1999, "The status of Fly Ash and FGD-Gypsum recycling of KEPCO", Uluslararası Yüksek Performanslı Beton Sempozyumu, s. 245–270.
- ERDOĞAN, İrfan, Ejder, Nazmiye, 2003, "Bilimde Tanımlama ve Tanımla Gelen Sınırlamalar: Atık Yaklaşımı ve Çed Örneği", <http://media.ankara.edu.tr~erdogantanimlama.htm>
- ERDOĞAN, T.Y., 1993, Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, s. 1-8, Ankara.
- ERNST & Sohn, 1994, Abfallwirtschaft Abfalltechnik Siedlungsabfälle Derleyen: O. Tabasaran, Berlin
- FADEL M, Findikakis AN, Leckie JO., 1997, Katı Atık Deponi Sahalarının Çevresel Etkileri, Atık Yönetimi Dergisi, Sayı 50, s25.
- GENÇ, Ümit, 2001, "Sanayide Atık Yönetimi", Çevre ve Sanayi Semineri, Kocaeli, s.66
- GUNTHER F., & Heilig, G. K., 1997, Nüfus Artışı ile Birlikte Artan Su Kaynakları ve Atık Deponi Saha İhtiyacı, RSLPT (Royal Society of London Philosophical Transactions), s869–888.

HJELMAR, O., 1996, Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues, Hazardous Materials 47 Dergisi 47, s345–368.

HMSO (Her Majesty's Stationery Office),1993, Pollution Control, Aspect of Britain, London,s.60.

HOCKETT D, Lober DJ, Pilgrim K., 1995, Avrupa Birliđinin Güney Batısındaki Ülkelerin Kiři Başına Ürettikleri Evsel Katı Atıkların Çözömlenmesi, s17

HOPPER, J.R., Yaws, C.L., Ho, T.C., Vickhailak, M., 1993. Atık Yönetim Sisteminde bazı Noktalarda Değişiklik Yaparak Atık Minimizasyonunun Sağlanması

HUI-SHENG Shi, Li-Li Kan, 2008, “Leaching behavior of heavy metals from municipal solid wastes incineration (MSWI) fly ash used in concrete” Çin Şangay Tongji Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

H.K. KİM, H.K. Lee, 2010, Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete

J.A. STEGEMANN, J. Schneider, B.W. Baetz, K.L. Murphy, 1995, “Lysimeter washing of MSW incinerator bottom ash”, Waste Management and Research 13, s149–165.

J. JUN, P. Hao, X.Y. Tang, 2004, “An inventory of potential PCDD and PCDF emission sources in the mainland of China”, Organo Halogen Compd. s852– 858.

J. PERA, L. Coutaz, J. Ambroise, and M. Chababbet, 1996, Use Of Incinerator Bottom Ash In Concrete

Internet: Atık Yönetimi, 2010, Çevre Online  
<http://www.cevreonline.com/atik2/atikyonedir.htm>

Internet: Beton Bileşenleri, 2010, Kalite Kontrol <http://www.kalitekontrol.org/beton-bilesenleri.html>

Internet: Geri Dönüşüm, 2010, in Wikipedia  
[http://tr.wikipedia.org/wiki/Geri\\_d%C3%B6n%C3%BC%C5%9F%C3%BCm](http://tr.wikipedia.org/wiki/Geri_d%C3%B6n%C3%BC%C5%9F%C3%BCm)

Internet: Kül, 2010, in Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCI>

Internet: Tehlikeli Atık Türleri, 2008, in Greenpeace OWP, [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)

Internet: Sıcak Hava Koşullarında Beton Dökümü, 2010,  
[http://www.cimsa.com.tr/upload/data/file/sicak\\_havada\\_beton\\_dokumu.pdf](http://www.cimsa.com.tr/upload/data/file/sicak_havada_beton_dokumu.pdf)

IZAYDAŞ, (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.), 2009 faaliyet raporu ([www.izaydas.com.tr](http://www.izaydas.com.tr))

KARAHAN, Okan, 2006, “Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 274s.

KINNAMAN TC., 2005, Neden Katı Atıklar Geri Kazanılmalıdır? Ekonomik ve Politik Analizler, <http://www.bepress.com/bejeap/topics/vol15/iss1/art5>

LAGREGA, Michael D., 2001, “Hazardous Waste Management”, Second Edition, McGrawHill

MİNİSTRY OF ENVIRONMENT (Korea), 2006, The status of waste generation and treatment in 2005

MİNİSTRY OF COMMERCE, Ministry of Environment, Industry and Energy (Korea), 2005, “Act on the promotion of saving and recycling of resources”

N. ALBA, S. Gasso, T. Lacorte, J.M. Baldasano, 1997, “Characterization of municipal solid waste incineration residue from facilities with different air pollution control systems”, J. AirWaste Manage. Assoc., s1170–1179.

OECD Environmental Data COMPENDIUM 2006-2008 ([www.oecd.org](http://www.oecd.org))

ROBERT A. Bohm, David H. Folz, Thomas C. Kinnaman, Michael J. Podolsky, 2009, Evsel Katı Atık Bertaraf Maliyetleri ve Geri Kazanım Programları, Tennessee Üniversitesi Ekonomi Bölümü, ABD

- SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape), 1990, Atıklar için Teknik Kurallar, Bern
- SAKLICA, Ali Rıza, 2007, "Petkim Atık Yakma Tesisi" Ekoloji magazin 16.sayı
- SEUNG Bum Park, Young Il Jang\*, Jun Lee, Byung Jae Lee, 2008, "An experimental study on the hazard assessment and mechanical properties of porous concrete utilizing coal bottom ash coarse aggregate in Korea", Kore Chungnam Ulusal Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümü, s305-764
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı 14 Mart 2005 Tarihli Resmi Gazete Sayı:25755 T.A.K.Y. (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği), madde11-14.
- T.C. Başkanlığı Türkiye'de Atık Yönetimi Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi Performans Denetimi Raporu Ocak 2007([http://www.sayistay.gov.tr/rapor/perdenrap/2007/2007-1\\_AtikYonetimi/2007-Atik\\_Yonetimi\\_Raporu.pdf](http://www.sayistay.gov.tr/rapor/perdenrap/2007/2007-1_AtikYonetimi/2007-Atik_Yonetimi_Raporu.pdf)).
- TENİKLER, Gökhan, 2007, " Türkiye'de Tehlikeli Atık Yönetimi Ve Avrupa Birliği Ülkeleri İle Karşılaştırmalı Bir Analiz", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, 491s.
- TOPBAŞ, Mümtaz Turgut, 1998, Çevre Kirliliği T.C.Çevre ve Orman Bakanlığı a.g.e., s.59.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 1975, Standart No: TSE 639, "Uçucu Küller- Çimentoda Kullanılan"
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 1985, "Beton Karışımları Hesap Esasları",19s
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Mart 2002, Standart No: TS EN 197- 1, "Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri"
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Nisan 2002, Standart No: TS EN 12350-2 "Beton- taze beton deneyleri- bölüm 2: çökme (slamp) deneyi",s3
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Nisan 2005, Standart No: TS EN 206- 1 A1, "Beton Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk Standardı"

- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Ocak 2008, Standart No: TS EN 450-1+A1, “Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri”
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Mart 2008, Standart No: TS EN 450-2, “Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 2: Uygunluk değerlendirmesi”
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Şubat 2010, Standart No: TS EN 196-7, “Çimentodan numune alma ve numune hazırlama yöntemleri”
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Temmuz 2010, Standart No: TS EN 12350-2 , “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi”
- TÇV, (Türkiye Çevre Vakfı), 1995, “Türkiye'nin Çevre Sorunları, Ankara” a.g.e., s.446-457.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1992, 1990 Yılı Verileri ile Evsel Nitelikli Katı Atıkların Karakterizasyonu, Washington
- VEHLOW, 1996, “Simple, reliable and yet efficient-modern strategies in waste incineration”, Uluslar arası Teksas Üniversitesi, s144–160.
- WEBER E.J., Mayıs 1997, Common RCRA errors and how to avoid them, Metal Finish. 95 , s52–54
- WÜRZBURG, 1994 Luft, Abfall, Lärm, Umweltrecht, Basiswissen Umwelttechnik Wasser, Dipl.-Ing. Matthias Bank Vogel Buchverlag
- Y.J. PARK, J. Heo, 2002, Vitrification of fly ash from municipal solid waste incinerator, Tehlikeli Atıklar Dergisi (Çin), sayı 91, s83–93
- ZANBAK, Caner, Tugal İtir Bayazıt, 1997, Tehlikeli Atıkların Yönetimi, Ulusal Çevre Eylem Planı Devlet Planlama Teşkilatı a.g.p. s.6-34

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer ÖLMEZ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1981

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1995-1999 Batıkent Lisesi

Lisans 1999-2005 Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

1999 Haziran- 2005 Ağustos  
T.J.K. Müşterek Bahis Personeli

2005 Ağustos – 2006 Temmuz  
Hakkari Şemdinli Samanlı Karakol Komutanlığı Tim Komutanı (Askerlik Görevi)

2006 Ağustos – 2007 Ocak  
Makro Çevre Koruma Ltd. Şti. Proje Mühendisi

2007 Ocak – 2008 Haziran  
Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre ve Orman Uzman Yardımcısı

2008 Haziran-...  
Lotus Müt. Plan. İnş. müh. ve Taş. A.Ş. Kurucu Ortak / Genel Müdür Yardımcısı