



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KATI ATIK OLAN UÇUCU KÜLÜ KULLANARAK
YAPI PANELİ ÜRETİLEBİLİRLİĞİ

HATİCE AKBULUT

Nisan 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KATI ATIK OLAN UÇUCU KÜLÜ KULLANARAK
YAPI PANELİ ÜRETİLEBİLİRLİĞİ

HATİCE AKBULUT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Nisan 2019

Hatice AKBULUT tarafından **Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR** danışmanlığında hazırlanan “**Katı Atık Olan Uçucu Külü Kullanarak Yapı Paneli Üretilirliği**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

Üye : Prof. Dr. Mustafa IŞIK (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÇELİK (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Hatice AKBULUT

ÖZET

KATI ATIK OLAN UÇUCU KÜLÜ KULLANARAK YAPI PANELİ ÜRETİLEBİLİRLİĞİ

AKBULUT, Hatice

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Nisan 2019, 75 sayfa

Bu tez çalışmasında, inşaat sektöründe katma değeri yüksek, ekonomik ve yararlı yapı panelleri üretiminde UÇK'nın kullanılabilirliği ve bu malzemelerin fiziksel-mekanik özelliklerinin tespiti amaçlanmıştır. Tez çalışmasının materyalleri Afşin-Elbistan ve İsken Sugözü Termik Santralinden temin edilen UÇK'lar, ÇİMSA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen Portland çimento, ticari tip kartonpiyer alçısı (KPA) ve kireçtir. UÇK, KPA ve kireçte gradasyon eğrisi lazer tarama yöntemi ile parçacık dane dağılım grafikleri belirlenmiştir. Tez çalışmasında %10-90 aralığında UÇK katkı oranları kullanılarak üretilen UÇK+çimento, UÇK+KPA ve UÇK+Kireç kombinasyonlarındaki yapı panellerinde mekanik ve fiziksel testlerden basınç ve eğilme dayanımı, su emme yüzdesi, birim hacim ağırlığı ve porozite testleri yapılmıştır. Tezde en yüksek basınç dayanım değerleri 28 günde %90 çimento+%10 Afşin-UÇK karışımında 61,7 MPa ve %90 çimento+%10 İsken-UÇK karışımında ise 64,05 MPa olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda endüstriyel katı atık olan UÇK'dan çimento ve KPA'nın uygun oranlarda karıştırılması ile yapı paneli üretilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Çevre, endüstriyel simbiyoz, sıfır atık, uçucu kül, yapı paneli, yeniden kullanım

SUMMARY

PRODUCIBILITY OF BUILDING PANELS FROM FLY ASH AS SOLID WASTE

AKBULUT, Hatice

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

April 2019, 75 pages

FA is a material that is suitable for reuse and widely used in the construction sector. In this thesis, it is aimed to use FA for producing building panels that are economic, beneficial with high added value in the construction sector and determine the physical-mechanical properties of them. The materials of the thesis are FAs supplied from Afşin-Elbistan and Isken Sugözü Thermal Power Plant , Portland Cement obtained from ÇİMSA Cement Industry and Trade Inc., commercial type gypsum plaster (GP) and lime. Particle distribution graphs were determined with gradation curve laser scanning method for FA, GP and lime. In this study compressive and flexural strength, water absorption, unit weight and porosity as mechanical and physical tests were made in the building panels having the combination of FA+cement, FA+GP and FA+lime in contribution ratios of 10-90%. The highest compressive strength values in 28 days were determined as 61.7 and 64.05 MPa in 90% cement+10% Afşin-FA and 90% cement+10% Isken-FA combinations, respectively. It was determined that the building panel could be produced from FA as industrial solid waste in the appropriate proportions of cement and GP contribution.

Keywords: Environment, industrial symbiosis, zero waste, fly ash, building panel, reuse

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, yapı paneli üretilirken dolgu olarak uçucu kül (UÇK), bağlayıcı olarak çimento, kartonpiyer alçısı ve kireç kullanılmıştır. Üretilen yapı panellerinde temel fiziksel-mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testlerde UÇK+çimento ve UÇK+Kartonpiyer alçı kombinasyonlarında, çimento ve kartonpiyer alçısı miktarının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Kireç+UÇK karışımında su belirleyici bir etken olmuştur.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi sırasında en büyük paya sahip olan, çalışmalarına yön veren, tezin büyük kısmında desteğini benden hiç esirgemeyen ve bana her türlü katkıyı sağlayan değerli danışmanım Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR'a en içten teşekkürlerimi takdim ederim. Yüksek lisans tez çalışmamın yapı paneli üretim aşamalarının teorik ve deneysel kısımlarında oldukça destek veren arkadaşım Gamze YILDIRIM'a ve Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Ahmet BİLGİL'e teşekkürler ederim. Laboratuvar olanaklarını sundukları için Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Merkezi Araştırma Merkezi'ne teşekkürlerimi sunarım. Tezin bilimsel içeriğine olan değerli katkılarından dolayı jüri üyeleri Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Mustafa IŞIK ve Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÇELİK'e teşekkür ederim.

Bu tezi eğitim hayatımda ve kariyerimde benden maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen babam Ali AKBULUT, annem Gülay AKBULUT, kardeşlerim ve hayat arkadaşım Hüseyin KESER'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER	7
2.1 Uçucu Kül	7
2.2 UÇK Kullanım Alanları	9
2.3 UÇK Özellikleri ve Sınıflandırılması	16
2.3.1 UÇK fiziksel özellikleri	17
2.3.2 UÇK kimyasal özellikleri	18
2.3.3 UÇK'ların mineralojik özellikleri	20
2.3.4 UÇK'ların puzolanik özellikleri	20
2.3.5 UÇK'ların kömürün tipine göre sınıflandırılması	22
2.3.6 UÇK'ların kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması	22
2.3.7 UÇK'ların yapısındaki kireç ve SO ₃ miktarına göre sınıflandırılması	23
2.3.8 UÇK'ların Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre sınıflandırılması	25
2.3.9 Sınıflandırılmayan UÇK'lar	26
2.4 Çimento	26
2.4.1 Çimento çeşitleri ve kullanım yerleri	28
2.4.2 Çimentoların genel özellikleri	28
2.5 Alçı (Jips)	29
2.6 Kireç	32
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT	34
3.1 Materyal	34
3.2 Metot	35

3.2.1 UÇK, KPA ve kireçte yanabilir madde verimi hesabı.....	36
3.2.2 UÇK, KPA ve kireçte elek analizi.....	36
3.2.3 UÇK, çimento, KPA ve kireçte sıkışık BHA deneyi.....	37
3.2.4 Yapı paneli numunelerinin hazırlanması	37
3.2.4.1 UÇK ve çimento bağlayıcı ile yapı paneli üretilmesi	38
3.2.4.2 UÇK ve KPA ile yapı paneli üretilmesi	40
3.2.4.3 UÇK ve kireç ile yapı paneli üretilmesi	42
3.2.5 Yapı panellerinde mekanik testler	43
3.2.5.1 Yapı panellerinde basınç dayanım testi.....	43
3.2.5.2 Yapı panellerinde eğilme dayanımı testi	44
3.2.6 Yapı panellerinde fiziksel testler	45
3.2.6.1 Yapı panellerinde BHA deneyi	45
3.2.6.2 Yapı panellerinde porozite belirleme deneyi	46
3.2.6.3 Yapı panellerinde su emme tayini deneyi	46
BÖLÜM IV BULGULAR.....	48
BÖLÜM V SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
KAYNAKLAR	61
ÖZ GEÇMİŞ	73
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. UÇK havuzlarının komşu sulu ekosistemler üzerine potansiyel etkileri.....	4
Çizelge 2.1. UÇK ile ilgili Türk Standartları.....	10
Çizelge 2.2. UÇK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar.....	12
Çizelge 2.3. Farklı TES'lerden temin edilen UÇK'ların kimyasal kompozisyonu.....	18
Çizelge 2.4. Türkiye'den seçilmiş TES UÇK'larının kimyasal kompozisyonları.....	19
Çizelge 2.5. Türkiye'den seçilmiş UÇK'ların bazı mineralojik kompozisyonları.....	20
Çizelge 2.6. UÇK'ların ASTM-C 618 ve TS 639'e göre puzolanik olarak kullanılabilirliğinin sınırları.....	21
Çizelge 2.7. ASTM C 618'e göre UÇK'ların sınıflandırılması.....	24
Çizelge 2.8. TS EN 197-1'e göre UÇK'ların sınıflandırılması.....	25
Çizelge 2.9. 2010 ve 2015 yılları arasında Dünya'da ülkelere göre alçı üretim miktarları.....	32
Çizelge 2.10. Türkiye'de alçı ve alçı levha üretimi.....	32
Çizelge 3.1. İsken-UÇK, Afşin-UÇK, çimento, KPA, kireç kimyasal analiz sonuçları.	34
Çizelge 3.2. Deney çalışmalarında kullanılan araç, gereç ve cihazlar.....	35
Çizelge 3.3. Yanabilir madde verimi hesabı.....	36
Çizelge 3.4. UÇK, çimento, KPA ve kireç BHA değerleri.....	37
Çizelge 3.5. UÇK'ların çimento, KPA ve kireç ile ön deneme karışım oranları.....	38
Çizelge 3.6. UÇK ve çimento karışımlarıyla üretilen yapı panelleri.....	39
Çizelge 3.7. UÇK ve KPA ile üretilen yapı panellerinin karışım oranları.....	42
Çizelge 3.8. UÇK ve kireç ile üretilen yapı panellerinin karışım oranları.....	43
Çizelge 4.1. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD test bulguları.....	50
Çizelge 4.2. UÇK+KPA karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük.....	51
Çizelge 4.3. UÇK+kireç karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD test bulguları.....	52
Çizelge 4.4. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin.....	54
Çizelge 4.5. UÇK+KPA karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin.....	56

Çizelge 4.6. UÇK+kireç karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin BHA bulguları	57
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. UÇK'ların önemli çevresel etkileri ve kullanım alanlarının şematik gösterimi	3
Şekil 2.1. TES'de üretilen yan ürün/atıklar	7
Şekil 2.2. Elektrostatik çökeltici ile kuru tabanlı bir kazan içerisinde UÇK üretimi	8
Şekil 2.3. İngiltere'deki TES'den elde edilen UÇK'ların kullanıldığı alanlar	11
Şekil 2.4. F sınıfı UÇK'nın tipik bir Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) görüntüsü	24
Şekil 2.5. SEM'de 10000 kat büyütülmüş çimento hamuru içindeki CH kristalleri ve C-S-H jelleri	27
Şekil 3.1. UÇK, KPA ve kireç elek analiz sonuçları	37
Şekil 4.1. Afşin-UÇK+çimento ve Afşin-UÇK+KPA ile hazırlanan yapı panellerinin EĞD grafiği	48
Şekil 4.2. Afşin-UÇK+çimento ve Afşin-UÇK+KPA'lı üretilen yapı paneli BSD grafiği	49
Şekil 4.3. İskenderun-UÇK+çimento ve İskenderun-UÇK+KPA'lı üretilen yapı paneli EĞD grafiği	49
Şekil 4.4. İskenderun-UÇK+çimento ve İskenderun-UÇK+KPA ile üretilen yapı panellerinin BSD grafiği	50
Şekil 4.5. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin	53
Şekil 4.6. UÇK+KPA karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin	55

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Yayılma deneyi	38
Fotoğraf 3.2. UÇK ve çimentolu yapı panellerinin kalıplara dökümü ve su tankı içinde bekletilen numuneler	40
Fotoğraf 3.3. UÇK ve KPA karışımı üretilen yapı panelleri	41
Fotoğraf 3.4. Etüvde kurutulan yapı panelleri	41
Fotoğraf 3.5. UÇK ve kireçli karışımlardan üretilen yapı panelleri	43
Fotoğraf 3.6. Yapı paneli numunelerine uygulanan BSD testi	44
Fotoğraf 3.7. Yapı paneli numunelerine uygulanan EĞD testi	45
Fotoğraf 3.8. Etüvden çıkarılan numunede kuru BHA tartımı	46

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

μm	Mikrometre
A	Kesit alanı
σ	Gerilme

Açıklama

Kısaltmalar

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
BHA	Birim Hacim Ağırlığı
BSD	Basınç Dayanımı
DK	Düşük Kireçli
EĞD	Eğilme Dayanımı
GYFC	Granüle Yüksek Fırın Cürufu
KPA	Kartonpiyer Alçısı
SE	Su Emme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TES	Termik Santral
UÇK	Uçucu Kül
YK	Yüksek Kireçli

Açıklama

BÖLÜM I

GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte endüstriyel gelişmeler hızlanmıştır. Bu endüstriyel gelişmeler insanoğlu için önemlidir; ancak faydalı yönlerinin dışında bazı olumsuz yanları da vardır. Bu olumsuz etkilerden biri endüstriyel atıklardır ve bunların depolanma zorunluluğu ekstra maliyet getirmektedir. Atık maddelerin yararlı geri kazanım mekanizmalarıyla yeniden değerlendirilmesi, çevre koruması ve ekonomik kazanım açılarından büyük bir önem teşkil etmektedir (Damar Tekin, 2014).

20. yüzyıl teknolojisinin giderek artan hammadde gereksiniminin ulaştığı nokta endüstriyel hammaddeler olmuştur. Endüstriyel hammadde kaynağı olarak geri dönüşüm ile elde edilen maddelerin yeniden değerlendirilmesi gibi bazı atık yönetimi mevzularının önemi gün geçtikçe artmaya başlamıştır. Doğal kaynakların tüketimini ve enerji maliyetlerini olabildiğince indirgemek ve çevre kirliliğini en aza indirmek amacıyla endüstriyel atıkları tekrar kullanmak, zaman geçtikçe önemi daha da artan konular haline gelmiştir (Damar Tekin, 2014).

Geçmişten günümüze kadar enerji, bir ülkenin dünü, bugünü ve yarınını inşa etmesinde temel yapı taşıdır. Ayrıca ülke refahı, istikrarı, güç ve para bakımından önemli bir role sahiptir. Ancak toplumların savaşlardan ve çevreyi kirletici hareketlerden uzak durarak enerji kazanma metotlarına doğru yönelmesi ve özen göstermesi gereklidir (Göktürk, 2015). Düşük ısı değerli ince tane boyutuna getirilen linyitler, termik santral (TES)'deki kazanlarda yakılarak ülkemiz için enerji kaynaklarından birisi haline gelmektedir. Linyit kömürleri kazanlarda yakılarak inorganik katı atık olan katı uçucu kül (UÇK) oluşmaktadır. UÇK partikül büyüklükleri 1-200 µm arasındaki atıklar cürüflardan farklıdır. Yaklaşık 1200 °C ısıda toz kömür yakılması esnasında, baca gazlarıyla birlikte hızlı şekilde sürüklenerek soğuyarak bacaların elektrofiltrelerinde tutulan, çoğunlukla 100 µm'den boyutundan küçük tanecikli UÇK'lar oluşmaktadır. Kömür tüketiminin artmasına paralel olarak enerji gereksinimi artmış, bu durumun da atık kül miktarını arttırdığı belirlenmiştir (Yazıcı, 2004; Aruntaş, 2006).

1 kWh'lık enerji üreten TES'den, hemen hemen 110 g ağırlığına gelen atık kül açığa

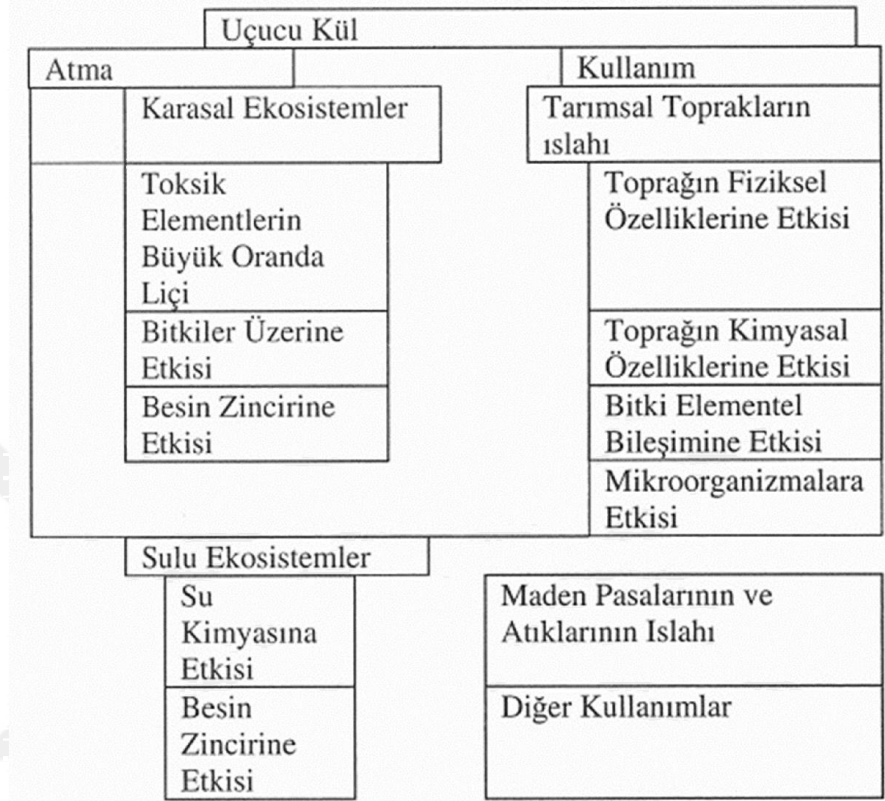
çıkılmaktadır. 1000 MW'lık bir TES'de yakılan kömür yıl içerisinde ortalama 650.000 ton UÇK ve taban külü açığa çıkarmaktadır. TES'den uzağa taşınan küller, depolanma ve çevre sorunlarına neden olmakta ve işletme, üretilen enerjinin kaybı vb. mevzularda yöntem ve ekonomik problemler oluşturmaktadır (Yazıcı, 2004). Bu atık maddenin bir bölümünün kullanımı ile bileşen olarak çimento ile diğer yapı malzemeleri uygulama alanı bulur (Iyer vd., 2001).

Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 13 milyon ton UÇK oluşur; bu durum çevre kirliliğine yol açmaktadır. Enerji gereksinimdeki artışa paralel olarak miktarı artan UÇK'nın kullanıldığı alanlar genişlemiştir ve ziraat, kimya, zemin ıslahı, türlü yapı malzemeleri yapımı gibi birçok amaç için potansiyel olarak kullanılabilir (Abdun Nur, 1961); UÇK'lar büyük ölçüde inşaat endüstrisinde kullanılır. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü beton, çimento, hafif agrega üretiminde, tuğla, dolgu yapımı ve zemin stabilizasyonunda kullanılan UÇK'nın bu sektörde değerlendirilmesine yöneliktir.

UÇK su, toprak ve havayı kirletmektedir. Külün atıldığı veya kullanıldığı ortamlarda bu olumsuz etki dikkate alınmalıdır. Kirletici potansiyeli, ortamın ve şartların özelliklerine bağlıdır. Kül partikülleri atmosferde toz kirliliğine, buldukları ortama zehirli bileşiklerin geçmesine ve pH değişimlerine neden olmaktadır. Genellikle yakıttaki zehirli ve eser elementler yüksek sıcaklıkta kısmen buharlaşır ve soğuma sırasında kül tanecikleri üzerinde yoğunlaşır. Uçucu olmayan elementler ise daha çok kül yapısında kalır (Ulubaş, 2000).

UÇK ile ilgili endişelerin en büyüğü, bu atıkların atılmasıyla sahalarında oluşan liç nedeniyle yeraltı suyundaki önemli kirlenmelerden kaynaklanır. Bu endişeler UÇK'daki As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg ve Se gibi ağır metallerin ve çözünebilir tuzların derişimlerdeki artıştan kaynaklanmaktadır (Berry vd., 1998; Theis, 1989). Ne yazık ki kül birikim alanlarının ve tarımsal toprakların tam olarak izlenmesi oldukça masraflı ve zor olduğundan bu bölgelerdeki durumu ortaya çıkaracak veriler oldukça azdır (Hjelmar 1990). Kül atımının yeraltı sularına etkisi daha çok laboratuvarlarda yapılan liçing çalışmalarıyla belirlenmektedir, fakat alanda bulunan kompleksleştiriciler ve alandaki karmaşık etkileşim ve ilişkiler nedeniyle bu çalışmaları, alan şartlarına uydurmaya çalışmak gerçeğe pek uygun olmayabilir (Murarka vd., 1993; Daniels, 1999; Sheps, 1999).

UÇK atıldığında karasal ve sucul ekosistemler üzerine olumsuz etkileri, kullanıldığında ise tarımsal toprakların ıslahı, maden pasalarının ve atıklarının ıslahı (Şekil 1.1) gibi çeşitli alanlarda kullanımı söz konusudur (Şengül, 2007).



Şekil 1.1. UÇK'ların önemli çevresel etkileri ve kullanım alanlarının şematik gösterimi (Şengül, 2007)

Kül atımının yeraltı suyu niteliği üzerindeki gerçek etkileri, küllerin fiziksel, kimyasal ve hidrojeolojik özelliklerine ve birikinti alanlarının iklimine büyük oranda bağlıdır (Kopsick, 1981).

Terkedilmiş UÇK havuzları ve kül birikim alanlarının yeşillendirilmesinin, külün ve su ve rüzgâr erozyonundan korunması, yabani hayat için doğal ortam, barınak ve daha güzel kır manzaraları yaratması gibi birçok avantajları vardır (Duggan, 1974). Bununla birlikte bu alanlardan yeniden bitki yetiştirilmesi küldeki olumsuz fiziksel ve kimyasal koşullar nedeniyle oldukça zor ve yavaş ilerler. Kül atık alanlarında bitki topluluğu oluşumunu engelleyen önemli faktörler şunlardır:

- Baştan N ve P olmak üzere genellikle temel besin bileşenlerinin eksikliği,

- Yüksek pH ve/veya yüksek derişimde çözünebilir tuzlar, yüksek B ve diğer potansiyel zararlı eser elementlerin yüksek derişimlerinin yarattığı toksiklik,
- Kül tabakalarının çimentolaşması veya sıkışması (De Vleeschauwer, 1987).

Karalarda ve havuzlarda yığılan küller, kül havuzu dış akarlarının ve yüzeyde biriken suların doğrudan ve dolaylı olarak yüzey sularına ve yeraltı sularına karışması sonucu komşu sulu ekosistemleri etkileyebilir (Çizelge 1.1) (Benson, 1985).

Çizelge 1.1. UÇK havuzlarının komşu sulu ekosistemler üzerine potansiyel etkileri (Benson, 1985)

Özellik/İşlem	Kül Atımlarının Etkisi
Bulanıklık	Artar, özellikle UÇK kül havuzu çıkış suyu su ekosistemlerine doğrudan deşarj edilirse
Sıcaklık	UÇK kül havuzu çıkış suyu su ekosistemlerine doğrudan deşarj edilirse artış olabilir
Kum birikimi	Artar, bentik organizmaları zarar verebilir
pH'I ve su bazikliği	Genelde artar, yüksek sülfatlı UÇK kül havuzu çıkış suyunda azalabilir
Su tuzluluğu	Artar
Kimyasal çözünürlük	Artar, özellikle As ve Se için
Organik maddenin bozunması	Azalar
Fotosentez	Azalar
Biyolojik oksijen ihtiyacı	Azalar
Elementlerin bio birikimi	Çoğu elementler için artar, Se için toksik seviyelere ulaşabilir
Hayvan metabolizması	Zorlanır
Yeniden hayvan üremesi	Azalar
Ölüm oranı	Artar
Türlerin çeşitliliği	Hassas türlerin kaybı azalar
Türlerin yoğunluğu	Azalar

Özellikle yeni oluşmuş UÇK alanlarında, kül üzerinde bitki yetişmesini sınırlayan faktörlerden biri de yüksek pH'dır. Bazı bazik küllerin pH'ı 12'yi geçebilir, bu da P gibi temel besinlerin ve Cu, Fe, Mn ve Zn gibi ana eser elementlerin eksikliğine neden olur. Bazik küller, As, Se ve V gibi çözünürlükleri pH'a bağlı ve gerekli olmayan (nonessential) bazı eser elementlerin bitkide artarak birikimine neden olabilir (Mattigod, 1990; Naik, 1994; Wasay, 1992).

Kül yığınlarının fiziksel özellikleri de başarılı bir bitki topluluğu oluşumunu sınırlayabilir. Bazı durumlarda kül yığınlarında çimentolaşmış ve sıkışmış tabakaların

oluşumu solunumu, suyun içeriye süzülmesini ve kökün ilerlemesini azaltır (Mattigod, 1990). Organik maddelerin ve/veya toprağın küle karıştırılması bu tabakaların parçalanmasına yardımcı olabilir (De Vleeschauwer, 1987). Külün havuzlara dolduktan sonra önemli oranda puzolanik özellikler göstermesiyle oluşan çimentolaşmış tabakalar başlı başına bir problemdir.

Bitkide kül yığınlarından gelen eser element birikimlerinin hayvanlar üzerindeki potansiyel sonuçlarını belirleme çalışmaları başlıca Se elementi üzerinde yoğunlaşmıştır. Se, hayvanlar için önemli bir elementtir; fakat hayvanların günlük beslenmesinde Se'un eksik ve zehirlilik düzey aralığı dardır (Combs, 1981). UÇK üzerinde yetişen bitkilerde çoğunlukla yüksek düzeylerde Se birikmesi nedeniyle bu bitkileri tüketen hayvanlardaki potansiyel etkisini saptamak önemlidir. Bu alanlar Se eksikliği problemine yardımcı olabilir. Bununla beraber, hayvan beslemesinde Se'un eksik ve toksik düzeyleri arasındaki aralığın dışına çıkmamak için kül havuzlarında yetişen bitkilerdeki Se düzeyleri ve onların hayvanlarca tüketimi yakından izlenmelidir (Kumar, 1996).

Kül yığınlarının fiziksel özellikleri de başarılı bir bitki topluluğu oluşumunu sınırlandırabilir. Bazı durumlarda kül yığınlarında çimentolaşmış ve sıkışmış tabakaların oluşumu solunumu, suyun içeriye süzülmesini ve kökün ilerlemesini azaltır (Mattigod, 1990). Organik maddelerin ve/veya toprağın küle karıştırılması bu tabakaların parçalanmasına yardımcı olabilir (De Vleeschauwer, 1987). Külün havuzlara dolduktan sonra önemli oranda puzolanik özellikler göstermesiyle oluşan çimentolaşmış tabakalar başlı başına bir problemdir (Duggan, 1974).

Kömür külü eser miktarda olmak üzere birçok zehirli element içermektedir. Bunlar topraktan bitkiler aracılığıyla taşınmakta veya süzülme yoluyla toprak ve yüzey sularına geçebilmektedirler. TES'den kaynaklanan UÇK içerdiği zehirli elementlerin su kaynaklarına sızması, küllerin bertaraf yöntemleriyle ilgili çalışmalar açısından büyük önem taşımaktadır. TES'de, UÇK sularının alıcı ortamlarda termal etki yapması, su ekolojisini değiştirmekte ve çevreye zarar vermektedir (Ulubaş, 2000).

Yapı paneli yük taşımayan, hafif agregalı betonlardan, standart veya özel boyutlarda ve belli normlarda üretilebilen düzgün yüzeyli plakalardan yapılabilir; dış duvarı bitmiş

binaların iç kısmında ve zeminden duvara kadar her bölümde kullanılabilir.

Bu tez çalışması, endüstriyel katı atık olan UÇK'ların değerlendirilmesi ve yeniden kullanım alanının genişletilmesine yönelik hazırlanmıştır. Tezde UÇK kullanımı ile piyasa değeri olan ve ekonomik yapı paneli üretimi amaçlanmış, çevrenin korunmasına ve ülke ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

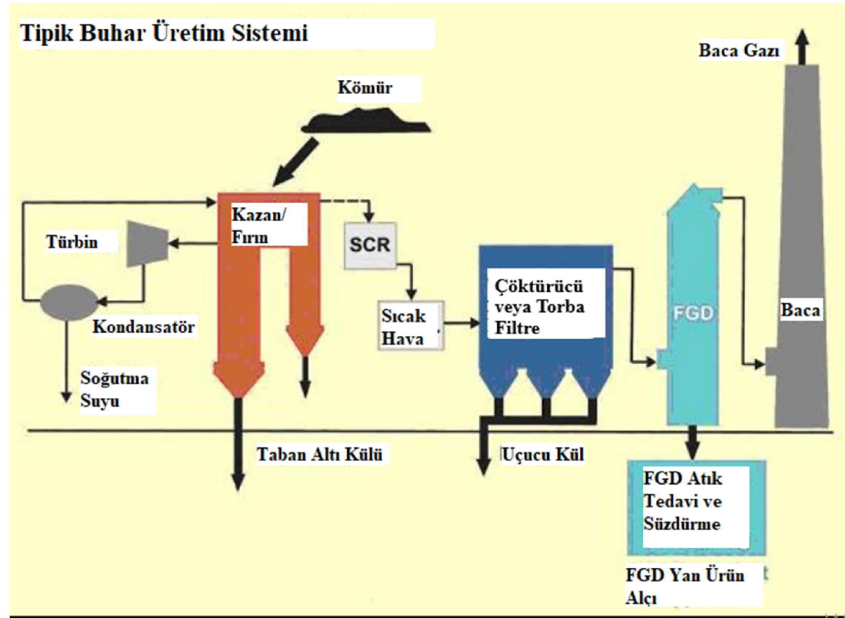


BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1 Uçucu Kül

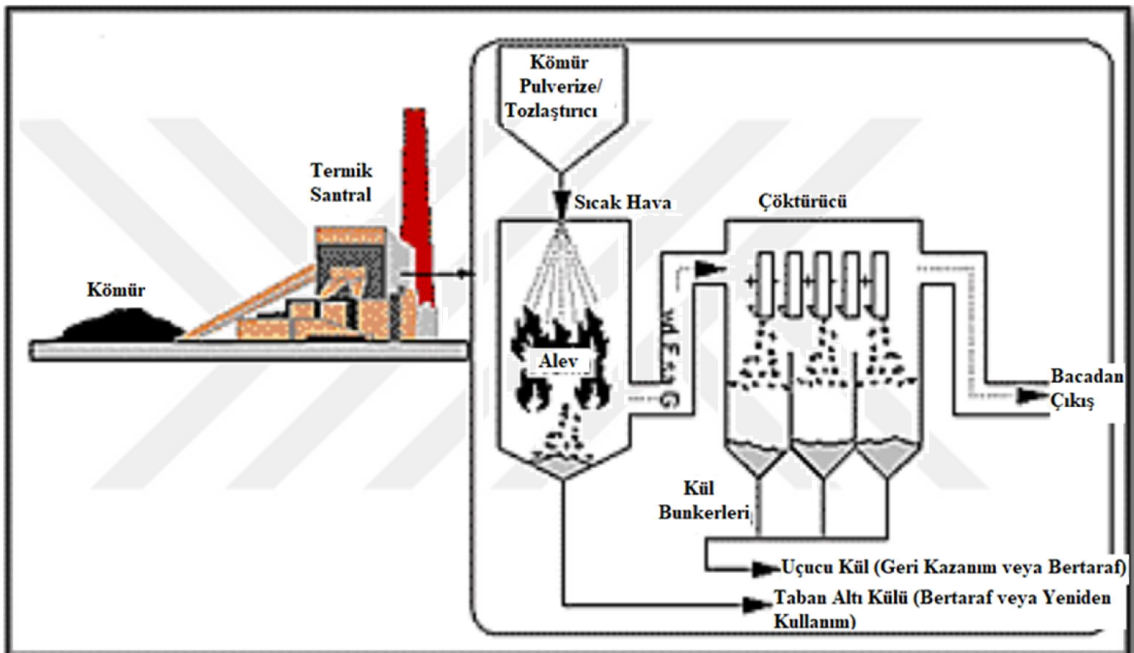
Güç üretim endüstrisinde çoğunlukla ısı ile çalışan öğütülmüş taş kömürü veya linyit kömürü kullanılır. Öğütülmüş kömürün %80'lik kısmı 75 µm inceliğe sahip olan öğütülmüş kömür elek içerisinde geçebilir. Öğütülmüş kömür tozlarının sıcak hava ile birleştirilerek yakılması için fırın içerisine gönderimi sağlanır. Yanma neticesinde bazı gazlar ve çeşitli atıklar ortaya çıkar (Erdoğan, 1993). Fırında yakılan kömürden atık olarak oluşan küllerin %75-80'i gazlar ile birlikte bacaya yükselen atık malzeme olup UÇK denir, diğer kısmı kazan altı külü olarak isimlendirilir (Damar Tekin, 2014) (Şekil 2.1); kömür yanması sırasında bir miktar cüruf da meydana gelmektedir. UÇK, TES'de kömürün içerdiği mineral maddelerin tam yanma sonucu bazı değişikliklere uğramasıyla oluşmaktadır ve bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince partikül halinde bir atıktır (Shibaoka vd., 1977).



Şekil 2.1. TES'de üretilen yan ürün/atıklar (NETL, 2006)

UÇK ya da pulverize yakıt külleri, elektrik üretilen tesislerde pulverize kömür (Şekil 2.2) ile işletilen fırınların toz tutma ekipmanlarından yararlanılarak toplanır. Küresel

şekilde olup içerisinde Al_2O_3 , SiO_2 ve Fe_2O_3 bulunur. Puzolanik maddeler gibi $Ca(OH)_2$ ile oluşturduğu tepkimede bağlayıcı olarak hidrolik özellik kazanır. Öte yandan kalıntı şeklinde olan yanmış karbon içermesi muhtemeldir; bu durum direnci düşük çimento ve betonun mukavemetini olumsuz biçimde etkiler. UÇK'ların spesifik yüzeyi ne ölçüde büyük ise reaktivitesi de yüksek olur. Çoğu UÇK için spesifik yüzey $1.000-4.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ aralığında değişiklik görülmektedir. UÇK'lar, tane boyutu $0,5-200 \mu\text{m}$ aralığında olan kül partikülleridir. Külün niteliği, özellikleri ve çimentonun yapısına bağlı olarak UÇK %30 oranda bulunur (Kökipek, 2010).



Şekil 2.2. Elektrostatik çöktürücü ile kuru tabanlı bir kazan içerisinde UÇK üretimi (Pike, 2016)

UÇK'nın üretimi ve karakteristikleri, işletim şekli, santral tipi, yanan kömürün türü, yakma şekli, kömür kompozisyonu ve yakılma yöntemi uyarınca değiştirilir (Xu, 1997; Güler vd., 2005). UÇK'nın özellikleri aynı gün içerisinde santralden yapılan yüklemelerde bile farklılık gösterebilmektedir. Heterojen özelliklere sahip olan UÇK ciddi dezavantajlar içerir; bazen geniş çaplı üretimlerde katkı olarak büyük ölçeklerde verimli olarak değerlendirilememesi önemli bir problemdir (Gikunoo, 2004). UÇK kimyasal, fiziksel, puzolanik ve mineralojik özellikleri bulunduğu bölgenin özelliklerine göre değişmektedir, hatta aynı bölgede dahi farklılıklar görülmektedir (Güler vd., 2005). Bu değişkenlik, UÇK kaynağını oluşturan kömürün değişkenliği ve türüne, yanmadan önce kömürün öğütülme (pulverizasyon) derecesine, kazanın cinsine, yanma sıcaklığına

ve diğ er işletme parametrelerine, kül uzaklaştırma ve toplama yöntemlerinin işleyişine ve özelliklerine, çevreyi koruma amacı ile kömüre eklenen katkı maddeleri gibi faktörlere ve bu faktörlerin zamana göre değişmesinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Hycnar 1983; Kefelioğlu, 1998).

Kömürün yakılma yöntemine ve yakılan kömürün çeşidine göre UÇK özellikleri farklılık gösterir. UÇK'lar genel olarak silisli ve alüminyumlu olan bileşimi nedeniyle puzolanik özellik gösterir. Linyit kömürünün yanması ile ortaya çıkan UÇK'daki kireç oranı çoğunlukla yüksek oranda olan bu cins küllerde hidrolik ve bağlayıcılık özelliği görülür (Türker vd., 2009).

Uzun vadede incelendiğinde, kül bertarafının birç ok olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Örneğin; halen kapasitesi 300 megawatt (MW)'a çıkarılmış olan Çatalağzı (TES)'den kaynaklanan UÇK'lar, bir seri siklon ve elektrostatik çöktürücüden geçirildikten sonra Karadeniz'e deşarj edilmektedir. Ancak, yapılan saha çalışmaları ve balık biyodeny sonuçları, Çatalağzı TES külleri deşarjının, balık türlerine doğrudan zarar vermekle birlikte, deniz suyu kalitesi üzerinde de marjinal bir etkisi olacağını göstermiştir (Vorres, 1984).

2.2 UÇK Kullanım Alanları

Son 25 yılda yapılan araştırmalarda UÇK'ya önemli ölçüde ilgi gösterilmiştir. Daha önce UÇK'nın genel yapısı ve özellikleri ile kullanım durumunu inceleyen çalışmalar, laboratuvar ve arazide gerç ekleştirilen analizlerle geliştirilmiş, bazı sonuçların neticesinde UÇK'nın inşaat sektörü ve yol yapımında değerlendirilmesinin TES'de oluşan atık sorununa ve bu malzemenin tesisten uzak bir yere taşınması problemine çözü m sağlayacağı anlaşılmıştır (Seals, 1977).

Dünya'da üretilen UÇK çoğunluğu dolgu alanlarına ve havuzlara yığılsa da başlıca inşaat endüstrisi olmak üzere yaklaşık %20 kadarı değerlendirilmektedir. Türkiye'de kül kullanımı çok azdır. Her yıl büyük miktarlarda kül tepelerinin oluşumu, araştırmacıları bu atıkların değerlendirilmesi için fikir üretmeye zorlamış tarım ve endüstride değerlendirme yolları aranmıştır. Bu araştırmaların çoğunluğu, tarımsal topraklar ve maden paşalarının külle ıslahı üzerine yoğunlaşır. Küllerden az da olsa

metal ekstraksiyonu ve atıksu ıslahında yararlanılmaktadır (Şengül, 2007).

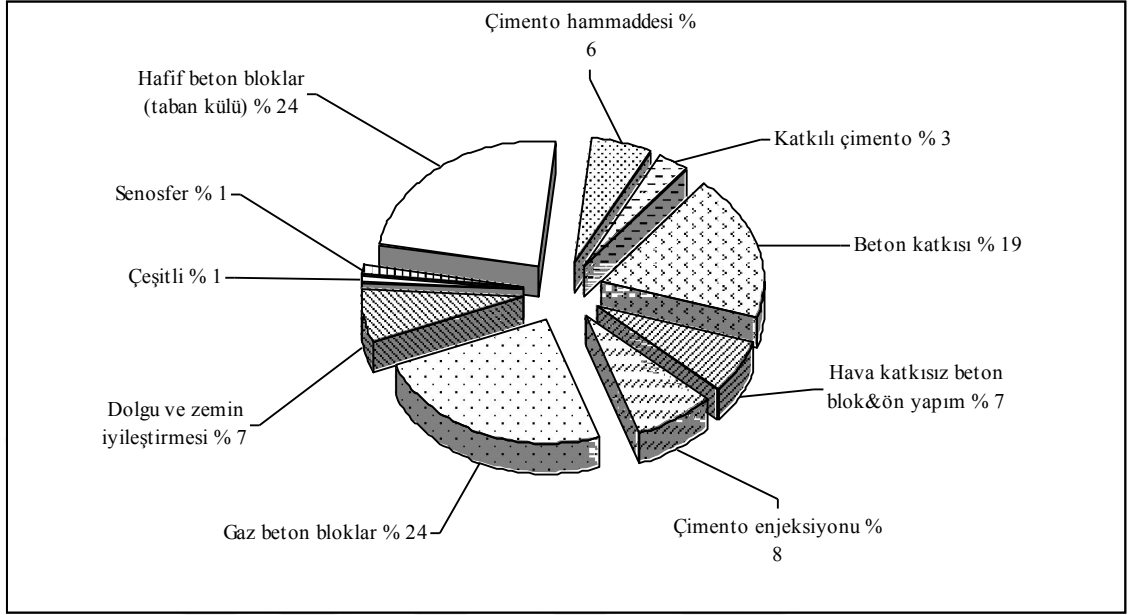
Birçok gelişmiş ülkede, çeşitli sebeplerle UÇK konstrüksiyonu (yapı) ve özellikleri zamana ve bulunduğu bölgeye göre büyük farklılık göstereceğinden, külün farklı alanlarda kullanılmasını sağlayacak standartlara gereksinim duyulacaktır. UÇK standartlarının tespit edilmesi için önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Morisson, 1970; Ovens 1979). Bu konuda ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından TS-639 “Uçucu Küller” ve TS 640 “Uçucu Küllü Çimento” standartlarından faydalanılmıştır (Çizelge 2.1) (EIE, 1979; EIE, 1982).

Çizelge 2.1. UÇK ile ilgili Türk Standartları (Aruntaş, 2006)

Standart no	Standardın adı	Açıklama
TS 639	UÇK’lar-çimentoda kullanılan	Tarifi, sınıflandırması, özellikleri, deney metotları ve kalite kontrolü
TS 640	UÇK’lı çimento	Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve deney metotları
TS EN 450	UÇK-betonda kullanılan	Özellik ve kalite kontrolü
TS EN 451-1	UÇK-Deney metodu-Bölüm 1	Serbest kalsiyum oksit tayini
TS EN 451-2	UÇK-Deney metodu-Bölüm 2	Islak eleme ile incelik tayini

Dünyada UÇK’lar çimento ve beton olarak baraj duvarları, köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonları ve diğer pek çok inşaat yapıları, tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmaları, agrega olarak otoyol, köprü ve briket yapımı, endüstride hatıl mıcır dolgu maddesi, asfalt içinde dolgu maddesi ve yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır. Örneğin Frankfurt’ta Castor ve Pollux gökdelenleri, Madrid’te 171 m yükseklikteki Picasso gökdeleninin değişik bölümlerinde %20 ile 40 arasında, Lizbon’da Caixa Gérai Depozite bankasının binasında, Danimarka’da Great Bell East köprüsünün yapımında, Finlandiya’da Permantokoski Hidroelektrik Santrali yapımında, Fransa’da Puylaurent Barajı’nda, Hollanda’da Eindhoven Havaalanı uçuş pistinde, Avusturya’da yeraltı tren yolu tünellerinde, İtalya’da yerüstü elektrik direkleri yapımında, İskoçya’da Tornes Nükleer Enerji Santrali yapımında, İngiltere’de denize yapılmış BP’ye ait 570.000 varil ham petrol depolama kapasitesine sahip yapıda, Belçika’da 43-60 m yükseklikteki 4 adet UÇK depolama kulelerinin yapımında ve İngiltere ile Fransa’yı birbirine bağlayan ve 100 yıllık kullanım için dizayn edilen hızlı

tren hattının tünel inşaatında UÇK kullanılmıştır (Ecoba, 2001). İngiltere'deki TES'den elde edilen UÇK'ların kullanıldığı alanlar Şekil 2.3'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.3. İngiltere'deki TES'den elde edilen UÇK'ların kullanıldığı alanlar (Aruntaş, 2006)

1960'lardan bu zamana kadar yapılan türlü çalışmalarda, Türkiye UÇK'larının çoğunlukla kaliteli bulunduğunu ve farklı alanlarda değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir (Kimya ve Maden Müh. Odası, 1999). Fakat bu atık malzeme, kullanıldığı alanlar, teknik ve ekonomik faydaları yönlerinden yeterince bilinmemektedir ve UÇK'ların kullanımı yaygın duruma gelmemiştir. UÇK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bu mevzuda ilerleme sağlanabilmesi için, UÇK standartlarının ve özelliklerinin belirlenmesi, taşıma, kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin araştırılması şarttır (DSİ, 1977; Kefelioğlu, 1998).

Çizelge 2.2. UÇK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar (Aruntaş, 2006)

Malzeme	Kullanım amacı/yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce, iri ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzemesi olarak
Yapı malzemeleri	Blok, duvar, panel, beton boru, gaz beton, cam, boya, plastik, seramik ve harç
Çeşitli yapılar/Uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

Afşin Elbistan, Seyitömer ve Soma TES UÇK ile yapılan adsorpsiyon işlemi ile giderilmesi başlangıç pH, çalkalama süresi ve adsorban dozuna göre incelenmiş ve UÇK etkinliği ticarete adsorban olarak kullanım alanına sahip toz aktif karbon ile karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgular fenol adsorpsiyonunda optimum pH'ın Afşin-Elbistan, Seyitömer TES UÇK ve toz aktif karbon için 5, Soma UÇK için 6 olduğunu göstermiştir. Bu optimum pH değerinde denge koşullarına 6 saatte ulaşılmıştır. UÇK (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon için denge koşullarında sırasıyla %65, % 80, %55 ve %85 fenol giderimi sağlanmıştır (Dinçyürek, 2006).

UÇK sulu çözeltideki reaktif Chemactive D Black N'i adsorplama etkinliği adsorbent dozunun ve başlangıç boyar madde konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Adsorpsiyon verilen Freundlich izotermine oranla Langmuir izotermine daha iyi uyum göstermiştir (Eren vd., 2004).

Atıksularda bulunan fosfat iyonunun UÇK yardımıyla, mikrofiltrasyon membranlar kullanılarak sulu ortamdan uzaklaştırılması araştırılmıştır. Öncelikle UÇK fosfat iyonlarını uzaklaştırabilme kapasitesini belirlemek için kesikli deneyler yapılmıştır. Fosfat konsantrasyonunun, çözeltinin ilk pH değeri ve UÇK dozunun fosfat giderimine olan etkisi incelenmiştir. Optimum pH değerinin 5-6 aralığında olduğu belirlenmiştir. 25 ve 100 mg/L fosfat konsantrasyonları için sırasıyla 2 ve 4 g/L UÇK dozu kullanıldığında yaklaşık %100 fosfat giderim verimi elde edilmiştir (Can, 2002).

Boru uzaklaştırmak için kullanılan Yeniköy UÇK, 298 K'de 24 saat boyunca kullanılan amberlit ile yakın sonuçlar göstermiştir. Yeniköy TES'dan alınan küllerdeki borat iyonlarının adsorpsiyon davranışlarının kinetik profilinin ve termodinamiklerinin

etkileri araştırılmıştır. Deneysel sonuçları, uygun koşullar altında, Yeniköy külündeki borun tutunma yüzdesinin %100'lere kadar ulaşabileceğini göstermiştir. Adsorpsiyon sonrası su kalitesi, ASTM prosedürlerine göre ölçüldüğünde çevresel standart değerlerinde bulunmuştur (Sütçü, 2005).

Kütlece %5-40 UÇK içeren formülasyonlar oluşturularak bunlardan laboratuvar ölçekli numuneler üretilen bir çalışmada fiziksel, kimyasal, mekanik testlerin yanısıra sürtünme-aşınma testleri uygulanarak en uygun formülasyon ve optimum üretim proses parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda Yeniköy ve Kemerköy TES UÇK kütlece %40 oranında dolgu olarak kullanıldığı formülasyonların incelenen ticari balatalara en yakın sürtünme-aşınma özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir (Akagündüz, 2014).

Çayırhan TES'den temin edilen UÇK yardımıyla atık sulardaki zehirli ağır metallerin uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel olarak hazırlanan ve farklı konsantrasyonlarda kurşun, çinko ve bakır metal içeren atık sulara UÇK ilave edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Metal konsantrasyonu, karıştırma süresi, tane boyu, kül miktarı ve pH gibi parametrelerin ağır metallerin sudan uzaklaştırılması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çok az miktarda baca külü kullanılması durumunda bile ağır metalin %99'lara varan oranda ortamdan uzaklaştırıldığı gözlemlenmiştir. Ağır metalin çoğu çökeltme yoluyla uzaklaştırılmıştır (Tuzcu, 2005).

Sulu çözeltilerden reactive black 5'in adsorpsiyonla giderilmesi için UÇK kullanımının uygunluğunu belirlemek amacıyla farklı koşullar altında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. UÇK tarafından reaktif black 5'in adsorpsiyonu için kesikli çalışmalar yürütülmüştür. Çalışılan parametreler başlangıç reaktif black 5 konsantrasyonu, adsorban miktarı, temas süresi ve katı/sıvı oranıdır. Reactive black 5'in UÇK tarafından adsorplanma kinetikleri de incelenmiş olup, bu amaçla ikinci derece modele uygunluğu incelenmiştir. Reactive black 5'in adsorpsiyon hızlarının ikinci dereceden hız modeline uyduğu bulunmuştur (Altunay, 2010).

Yapılan çalışmalar sonucu UÇK, baca tozu ve klinoptilolit tek başlarına kullanıldığında yeterli arıtım sağlanamadığı bulunmuş ve belli oranda kireç kullanılmasına karar verilmiştir. 50 mg/L Ni(II) metal iyonu gideriminde maksimum verimin elde edildiği

doz miktarı (0,1g kireç+0,4 reaktif)/L bulunmuştur. Bu konsantrasyonda UÇK-kireç, baca tozu-kireç ve klinoptilolit-kireç karışımları ile giderim verimleri sırasıyla %99,2, %99,6 ve %99,5 olarak tespit edilmiştir. 100 mg/L Cd(II) metal iyonu gideriminde (0,1g kireç+0,4 reaktif)/L madde ilavesi ile UÇK-kireç, baca tozu-kireç ve klinoptilolit-kireç karışımları ile maksimum giderim verimleri sırasıyla %98,3, %98,7 ve %98,5 bulunmuştur. (0,1 g kireç+0,4 reaktif) madde ilavesi ile 50 mg/L Cu(II) metal iyonu giderimi incelendiğinde, UÇK-kireç, baca tozu-kireç ve klinoptilolit-kireç karışımları ile maksimum giderim verimleri sırasıyla %98,5, %98,3 ve %98,2 bulunmuştur (0,1 g kireç + 0,4 reaktif)/L madde ilavesi ile 50 mg/L Zn(II) metal iyonu giderimi incelendiğinde UÇK-kireç, baca tozu-kireç ve klinoptilolit-kireç karışımları ile maksimum giderim verimleri sırasıyla %96,5, %96,4 ve %98,4 bulunmuştur (Çakır, 1997).

Yapılan çalışmalarda fosfat adsorpsiyonu üzerine başlangıç fosfat konsantrasyonu, UÇK konsantrasyonu, karıştırma hızı, pH, elektrolit (NaCl) ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. UÇK konsantrasyonunun artması ile fosfat giderim veriminin arttığı ve bununla paralel olarak, karıştırma hızının artmasıyla da verimin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca karıştırma hızının artmasıyla adsorpsiyonun dengeye gelme zamanının da kısaldığı gözlenmiştir. Sıcaklık artışı ile verimin arttığı tespit edilmiştir. UÇK'nın fosfat iyonunun giderimi açısından uygun bir adsorbent olabileceği anlaşılmıştır (Adıgüzel, 2001).

Evsel atıksularda UÇK koagulant olarak etkinliği alüminyum sülfat ve demir klorür gibi koagulantlarla karşılaştırılarak incelenmiştir. Deneylede; ülkemizdeki dört farklı TES'den (Afşin, Yeniköy, Çatalağzı ve Seyitömer) temin edilen farklı kimyasal bileşimlere sahip UÇK örnekleri kullanılmıştır. UÇK'lara yapılan pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemlerinde etkin mekanizmanın, pH ve UÇK kimyasal bileşimine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. UÇK'nın koagülant olarak etkinliği kalsiyum içeriğinin artmasıyla artmaktadır (Sarı vd., 2000).

Çimento yapımında kullanılan hammaddeler CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ olmak üzere başlıca dört bileşiği içerirler. UÇK'da bu bileşiklerden değişik oranlarda mevcut olduğundan, çimento üretiminde kullanılmaktadırlar. Puzolanik özelliğe sahip olduğu bilinen UÇK, çimento ile birleştiğinde çimentonun hidrotasyonu sırasında ortaya çıkan

CaOH ile kimyasal reaksiyona girerek, bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Ayrıca UÇK'lar, betona uygun miktarda ilave edildiklerinde, boşlukları doldurabildiklerinden su geçirimsizliği azalır ve kimyasal maddelere dayanım artar (Totyay, 1980).

Beton yapımında değerlendirilen mineral katkıların kullanım sebebi 1970 yılına kadar ekonomik ve ekolojiktir; henüz betona olan faydalı etkisi keşfedilmemiştir. Mineral katkıların betonun geçirgenliğini ve kalsiyum hidroksiti azalttığı daha sonraki yıllarda belirlenmiştir (Mehta, 1986a). Portland çimentosuna farklı oranlarda mineral katkıların ilavesiyle betonun sülfat mukavemetini artırdığı görülmüştür (Mangat ve El Khatip, 1992; Tikalsky ve Carrosquillo, 1992). Ayrıca kullanılan çimentodaki katkı UÇK'lar klinkerizasyon, öğütme ve kurutma enerjisinde tasarruf sağlayacak, çevreye dost olacak ve ürün çeşitliliğinin artmasıyla üreticilere fayda sağlayacaktır (Tokyay ve Erdoğan, 1998; Demirbaş ve Aslan, 1999).

Betonun pek çok niteliğini iyileştirmesi ve ekonomik yarar sağlamasının yanı sıra bu atığın beton içinde kullanılması ile çevre kirliliği yaratan bu atıktan yararlı ürünler elde edilmiş olacaktır (Poon vd., 1987). Öte yandan bunların betonda kullanımı içerdikleri toksik bileşenlerin çözünerek çevreye yayılımını da önler. Bununla ilgili çok sayıda katılaştırarak-kararlılaştırma çalışması yayınlanmıştır (Agamuthu, 2001).

UÇK çok ince taneli olmaları, sertleştiklerinde yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle tuğla üretiminde kullanılabilirler. UÇK bünyesindeki karbon, tuğlaların pişirilmesi sırasında enerji tasarrufu sağlamaktadır (Manz, 1996). UÇK tuğla imalinde, yardımcı ve düzeltme malzemesi ve esas malzeme olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadırlar (Erdinç, 1995).

UÇK, kil ve feldispat ilavesi yapılarak, geleneksel (tabak, fincan vs.) ve sanatsal (vazo, süs eşyaları vs.) seramiklerin üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu alanda tercih edilmelerinin başlıca sebepleri; tane boyutunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin düşük olması ve içerdiği karbonun pişirme işlemleri sırasında enerji tasarrufuna katkıda bulunması olarak sıralanabilir. Ayrıca son zamanlarda, cam seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadırlar (Ulubas, 1998; ASTM C 618-80, 1980).

UÇK taneleri ergime sıcaklığının bir miktar altına kadar ısıtılınca, tanelerin birbirine

değdiği noktalarda kaynaşma olmaktadır. Taneler arasında kalan boşluk sayesinde hafif agrega elde edilmektedir. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregalann kullanılması ile hafif beton üretilmektedir. Bu betonlar, normal ağırlıkta betonlar kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadır (Erdinç, 1995).

UÇK, yol yapımı ve geoteknik uygulamalarda genellikle iki Şekilde kullanılmaktadırlar: dolgu malzemesi olarak ve toprak stabilizasyonunu sağlamak amacıyla temel malzemesi olarak. Diğer dolgu malzemelerine nazaran, sıkıştırıldıklarında daha düşük bir yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle tercih edilirler. Ayrıca son zamanlarda, UÇK evre geoteknolojisi uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmaktadır. Örneğin; zararlı atık veya p depolanan sahalarda sızdırmazlık sağlanması amacıyla, sıkıştırılmış kil yerine, sıkıştırılmış UÇK veya UÇK+kum karışımının kullanılması tasarlanmaktadır (Kronberg, 1981).

UÇK'ların kullanıldıkları diğer bazı alanlar aşağıda sıralanmıştır:

- Maden ocaklarında filtre olarak,
- Cam retiminde hammadde olarak,
- Gaz-beton retiminde,
- Harç yapımında,
- Isı yalıtım malzemesi olarak,
- Bataklık kurutmada,
- Metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde
- Petrol kuyusu sondajlarında ve
- Baraj yapımında (Totyay, 1980).

2.3 UÇK zellikleri ve Sınıflandırılması

UÇK'ların fiziksel ve kimyasal özellikleri, çok sayıda değişkene bağlı olarak, farklılık gösterir. Kömürün türü, yakma sistemi, öğütme inceliği, kömür kaynağı, filtre sistemi, külün kullanıldığı seviye gibi faktörlerden dolayı UÇK içindeki kimyasal bileşimin değişik olması, ortaya çıkacak kl miktarını da etkilemektedir (ksz, 2006).

2.3.1 UÇK fiziksel özellikleri

Renk

UÇK'ların rengi açık krem ile koyu kahverengi aralığında değişir. Renk, yanmamış kömür miktarı, nem ve demir içeriği fazla olan taneciklerden etkilenir (Joshi ve Nagaraj, 1987). Linyit UÇK'nın, taş kömürü UÇK'ya nazaran rengi daha koyudur. İyice yakılmış UÇK'nın, iyice yakılmamış UÇK'ya göre rengi açıktır. İyice yakılmamış küle koyu renk veren yakılmamış karbon taneciğidir (Erşan, 1996). Demir oksit miktarının yüksek oluşu koyu siyah renge yakındır.

Tane şekli ve boyutu

UÇK'ların tane şekli kömürdeki öğütülme derecesine ve kömürün kimyasal özelliklerine göre farklılık gösterir. UÇK'nın inceliği kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır, bacadan çıkan kısım azaldıkça incelik artar (Güler vd., 2005). Taş kömürü UÇK'ları genellikle linyit küllerine oranla daha ince yapıdadır. Aynı zamanda UÇK'ların bacalarda tutulma yüzdesi ne kadar fazla olursa incelik de o oranda artar, yani elektro filtrelerin ileri teknolojiye oluşu UÇK'ların daha ince olmasını sağlar. Elektro filtrelerde tutulan UÇK'lar -siklonlarda tutulanlara oranla- daha ince tanelidirler. UÇK parçacıklarının tane çapı 1-150 µm arasında değişme gösterir; ancak genellikle %75'inden fazlasının çapı 45 µm'den küçük boyutlardadır (Baradan vd., 2012).

Yoğunluk

UÇK'ların yoğunluğu içindeki alüminat, silikat, demir ve yanmış karbon miktarıyla değişiklik gösterir. Demir içeriğinin fazla oluşu UÇK yoğunluğunun artmasına, fazla miktarda silikat, alüminat ve yanmamış karbon içermesi ise UÇK'nın daha düşük yoğunlukta olmasına nedendir. Yoğunluğu etkileyen başka bir faktör de UÇK'nın minerolojik yapısıdır. İçi dolu UÇK'ların yoğunluğu daha yüksek iken süngerimsi tanelerden oluşanlar daha düşük yoğunluğa sahiptir. Genellikle UÇK'ların yoğunluğu 2,1-2,7 g/cm³ aralığındadır. UÇK'nın inceliği yoğunluğun yüksekliği ile alakalıdır. İnce küller, kaba küllere göre daha fazla yoğunluk artışına neden olurlar (Sevim, 2003).

Karbon miktarı

Nitelikli yanmalı TES'lerde miktarı çok az olan tam yanmamış karbon bulunmaktadır; yeni santral türlerinde ise bu madde %3'ün değerinin altındadır. UÇK'nın karbon miktarı yanma kaybından düşük bulunmalıdır (Yılmaz, 1992). Karbon tanelerinin boyutu genellikle diğer tanelere oranla nispeten daha büyüktür. Linyit kömürünün yanması neticesinde elde edilen külün CaO bileşeni fazladır; fakat Fe₂O₃ bileşeni taş kömürünün yanması sonucu elde edilen UÇK'ya oranla daha düşüktür. Linyit kömüründen çıkarılan UÇK'nın yanmamış karbon miktarı düşüktür (Damar Tekin, 2014).

2.3.2 UÇK kimyasal özellikleri

Yanan kömürün tipi, kömür içinde bulunan maddelerin miktarı, yanmanın etkinliği ve sürekliliği, vb. faktörler UÇK'nın kimyasal özelliklerini etkiler (Öksüz, 2006). Farklı TES'lerden temin edilen UÇK'ların kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.3'de örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3. Farklı TES'lerden temin edilen UÇK'ların kimyasal kompozisyonu (Çakır, 1999)

Kimyasal İçerik	F S K (CaO<%10)	C S K (CaO>%10)
SiO ₂	43,60-64,40	23,10-50,50
Al ₂ O ₃	19,60-30,10	13,30-21,30
Fe ₂ O ₃	3,80-23,90	3,70-22,50
CaO	0,70-6,70	11,50-29,01
MgO	0,90-1,70	1,50-7,50
Na ₂ O	0-2,80	0,40-1,90
C (kızdırma kaybı)	0,40-7,20	0,30-1,90

S: Sınıf, K: Kül

Kimyasal yapı

UÇK'nın içerdiği bileşenler başlıca silika (SiO₂), alümina (Al₂O₃), demir oksit (Fe₂O₃) ve kalsiyum oksit (CaO) olup bu bileşenlerin miktarları UÇK türüne göre farklılık göstermektedir (Gikunoo, 2004, Türker vd., 2003). UÇK içeriğinde olan karbon miktarı, kömürün türüne ve yanma işlem şekline bakılarak farklılıklar görülmektedir (Güler vd., 2005). Ayrıca magnezyum oksit (MgO) ve kükürt trioksit (SO₃) gibi alkali oksitler de UÇK'da minör bileşen şeklinde yer almaktadır. UÇK'da silika %25-60, alümina %10-

30, demir oksit %1-15 ve kalsiyum oksit %1-40 oranlarında ana oksitler yer almaktadır. Değişik değerler UÇK türünü karakterize ederler (Türker vd., 2003). Bununla beraber farklı bölgelerden temin edilen kömür, UÇK'ın kimyasal yapısında oluşan değişikliklerin görülmesini sağlar. Bu duruma karşın UÇK'ın temel bileşenleri SiO₂ ve Al₂O₃'dür (Satapathy., 2000; Matsunaga vd., 2002).

UÇK'nın %85'inden fazlası SiO₂, Al₂O₃, CaO ve Fe₂O₃'den oluşmaktadır; aynı zamanda oksitlere ek olarak oranı düşük olan magnezyum oksit (MgO) ve kükürt trioksit (SO₃) ve alkali olan bileşikler de içerir. UÇK filtre bacalarından toplanırken külün önemli bir bileşeni olan yanmamış karbon partikülleri de toplanır. Bununla birlikte Ti (titanyum), P (fosfor), Be (berilyum), Mn (mangan) ve Mo (molibden) olarak bileşen şeklinde bulunur (Erdoğan, 2006). UÇK'ların kimyasal kompozisyonları Türkiye'den seçilmiş TES'ler için Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye'den seçilmiş TES UÇK'larının kimyasal kompozisyonları (Aruntaş, 2006)

Bileşim (%)	A	Çt	T	Çh	TS 639 sınırları	ASTM	
						F sınıfı	C sınıfı
SiO ₂	27,40	56,80	58,59	49,13	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,80	24,10	21,89	15,04	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5,50	6,80	9,31	8,25	-	-	-
S+A+F	45,70	87,70	89,79	72,42	>70	>70	>50
CaO	47,00	1,40	4,43	13,20	-	-	-
MgO	2,50	2,40	1,41	4,76	<5	<5	<5
Na ₂ O	0,30	3,00	0,24	2,20	-	<1,5	<1,5
K ₂ O	-	-	1,81	1,76	-	-	-
SO ₃	6,20	2,90	0,41	3,84	<5	<5	<5
Kızdırma kaybı	2,40	0,60	1,39	0,72	<10	<12	<6

A: Afşin, Çt: Çatalağzı, T: Tunçbilek, Çh: Çayırhan

Asit etkisi

UÇK'ların kimyasal ve mineralojik yapısına göre asit etkisi de farklılık gösterir. Seyreltilmiş olan asit içinde UÇK'ların çözünürlüğü en yüksek %15'tir. Genellikle asitlerin etkisi çok azdır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 1979).

2.3.3 UÇK'ların mineralojik özellikleri

Mineralojik analizlerde UÇK içinde bulunan silisyumun bir bölümünün kuvars kristali, bir bölümünün alüminat ile birleşen mullit, geri kalan kısmının yapısının ise camı şekilde olduğu tespit edilmiştir. Demirin kısmen manyetit (Fe_2O_4) ve hematit (Fe_2O_3) bileşeninden geri kalan kısmının ise camı yapıya sahip olduğu saptanmıştır. UÇK'ların %66-88'i camı yapıda, %70-88'i SiO_2 ve Al_2O_3 geri kalan bölümü ise demir, magnezyum, kalsiyum, potasyum, sodyum ve titanyumdan oluşmaktadır (Joshi ve Nagaraj, 1987).

DK-UÇK'lardaki camı faz miktarı, YK-UÇK'lardan daha fazladır. DK-UÇK'larda mineral faz olarak camı faz, mullit ($Al_6Si_2O_{13}$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_2O_4), kuvars (SiO_2) vb. içerirken YK-UÇK'larda sayılanlara ilave olanlar serbest kireç (CaO), anhidrit ($CaSO_4$), trikalsiyum alüminat ($Ca_3Al_2O_6$), plajiyoklaz, gehlenit ve feldspat gibi kalsiyum silikatlar içermektedir (Tokyay, 1993). Çizelge 2.5'de Türkiye'den seçilmiş UÇK'ların bazı mineralojik kompozisyonları sunulmuştur.

Çizelge 2.5. Türkiye'den seçilmiş UÇK'ların bazı mineralojik kompozisyonları (Aruntaş, 2006)

Mineral %	UÇK					
	A	Çt	Se	So	T	Y
Mullit	1,01	18,10	1,20	4,30	8,80	6,01
Kuvartz	4,50	10,90	5,60	5,10	13,90	22,40
Manyetit	0,80	0,20	2,50	0,60	4,10	2,90
Hematit	4,01	0,10	6,01	2,01	3,01	7,01
Anhidrit	12,20	-	9,30	7,40	-	-
Serbest CaO	18,60	0,70	5,50	9,80	0,90	1,01
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Camsı ve amorf faz	~30	~70	~50	~50	~70	~35

A: Afşin, Ç: Çatalağzı, Se: Seyitömer, So: Soma, T: Tunçbilek, Y: Yatağan

2.3.4 UÇK'ların puzolanik özellikleri

Baca gazları ile sürüklenen UÇK'lar, hava ile temas ederek ani soğutma ile puzolanik özelliğe sahip olurlar (Bayazıt, 1980; Alataş, 1996).

UÇK'lar genellikle kendi içerisinde bağlayıcılık özelliğe sahip değildirler; fakat suyun bulunduğu ortamlarda kireç ile birleştiklerinde puzolanik malzeme özelliği kazanarak bağlayıcılık özelliğine sahip olurlar. UÇK'ların puzolanik özellikleri kireç ve su bulunan bir ortamda zamanla artış gösterir. UÇK'un inceliğine ve bileşimine göre puzolanik özellikleri değişiklik gösterir. Amorf yapıdaki SiO₂ ve Al₂O₃ bileşiklerinin miktarının artması puzolanik etkiyi artırır; UÇK'un içindeki alkali oksitlerin, CaO ve SO₃'ün puzolanik özelliğe etkisi tam olarak belirlenememiştir. UÇK içerisindeki yanmamış karbon miktarının fazla olması puzolanik etkinin düşmesine sebep olur; külün içindeki yanmamış karbon boşluklu bir yapıya sahip olduğundan dayanımı düşüktür ve karışım suyu gereksinimini artırır. Puzolanik malzeme olarak UÇK'ların kullanılabilirliği, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. UÇK'ların mineral bileşimleri dışında yakılan kömür kazanının çalışma sistemi, yanmadan önceki kömürün öğütme inceliği ve kömüre hava kirliliğini önlemesi amacıyla katılan katkı maddeleri UÇK'nın puzolanik aktivitesini etkiler. UÇK'nın inceliği ve sıcaklığı, tepkime hızını pozitif yönde etkiler. UÇK kullanımından önce fiziksel ve kimyasal özelliğinin yanına ek olarak puzolanik özelliğini belirlemek üzere TS 639'a uygun olarak puzolanik aktivite deneyi yapılmalıdır.

Çizelge 2.6. UÇK'ların ASTM-C 618 ve TS 639'e göre puzolanik olarak kullanılabilirliğinin sınırları (Tokyay, 1993)

Kimyasal Bileşik	ASTM C618 (%)		TS 639 (%)
	F	C	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	Min. %70	Min. %70	Min. %70
MgO	Max. %5	Max. %5	Max. %5
SO ₃	Max. %5	Max. %5	Max. %5
Na ₂ O+K ₂ O	Max. %1,5	Max. %1,5	-
Nem	3 (max.)	3 (max.)	3 (max.)
Yanma Kaybı	Max. %12	Max. %6	Max. %10

Çizelge 2.6'da UÇK'ların ASTM-C 618 ve TS 639'e göre puzolanik olarak kullanılabilirlik sınırları verilmiştir. Bu aktivite çimento ve UÇK ile harç dökülerek tespit edilir. UÇK'nın puzolanik özelliğinin varsayımla durumu ise UÇK'lı karışımın sadece çimento ile yapılan karışımın sonucunun dayanımının en az %70'i değerinde bir sonuç vermesini gerektirir (Anonim, 1975. TS 639; Alataş, 1996).

2.3.5 UÇK'ların kömürün tipine göre sınıflandırılması

Linyit UÇK'sı

Linyit UÇK'sının özelliği suyu absorplaması, görülen yoğunluğu ve spesifik yüzeyi şeklinde adlandırılabilir. Kömürün granülometrisi ve spesifik yüzey ezilme boyutuna bakılarak değişiklikler gösterir; bu nedenle her ülkede ve santralde farklıdır (Baradan vd., 2012).

Taş kömürü UÇK'sı

UÇK, genel olarak taş kömüründen 3-1000 µm inceliğinde ve tamamen kuru olarak elde edilir (Bayazıt, 1980; Alataş, 1996). UÇK'lar için çok sayıda sınıflandırma yapılmıştır; lakin UÇK'ların elde edildiği kömürün jeolojik geçmişi ve alındığı seviyeler bile UÇK'nın özelliklerini etkilemektedir. Sınıflandırılan birtakım UÇK'lar birçok sınıfın özelliğini üstlenirken bazı sınıflar ise hemen hemen kendi başlarına bir sınıf oluşturacak şekilde kendilerine özgü özelliklere sahiptirler. Bazı araştırmacılar UÇK'ların sınıflandırılmasının yanlış olacağı kanaatindedir ve her UÇK'nın kendi sınıfını oluşturabileceğini düşünmektedirler (Öksüz, 2006).

2.3.6 UÇK'ların kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

UÇK'ların sınıflandırılmasında, temel olarak kimyasal bileşenlerin yüzdesine bakılarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları göz önüne alınır (Görhan vd., 2009). Kimyasal yapıları bakımından ise UÇK'ları dört ana sınıfta ayırmak mümkündür.

Siliko-Alüminalı UÇK'lar

Siliko-alüminalı UÇK'ların kimyasal yapılarının önemli bir bölümü (%80-90) SiO₂(silis)tir ve bir miktar Al₂O₃ ortaya çıkmaktadır; kireç ile birlikte sulu ortamlarda çok iyi bir bağlayıcı oluşturmaktadır. Bu UÇK'lar -içerisindeki toprak alkali ve alkali element oksitlerinin sebebiyle- camsı ve tane boyutu çok ince yapıda olan ve çoğunlukla taş kömüründen elde edilmişlerdir (Özdemir, 2007).

Siliko-kalsik UÇK'lar

Siliko-kalsik UÇK'ların yapılarındaki temel oksitler SiO₂ (silis) ve CaO (kireç)'dir ve zayıf bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Fakat CaO ölçüsü olabildiğince yüksektir. Bazı durumlarda ilave kirece gerek kalmayarak, kendiliğinden bağlayıcı oluştururlar (Özdemir, 2007).

Sülfo-kalsik UÇK'lar

Sülfo-kalsik UÇK'ların yapısının büyük bir bölümü SO₃ ve CaO'den meydana gelmektedir. Bu UÇK'lar da siliko-kalsik UÇK'lar gibi sulu ortamlarda kendiliğinden sertleşebilmektedirler. Bazı tip linyitlerin UÇK'ları bu sınıfa girmektedir. Fakat her taş kömürü UÇK'nın siliko-alüminalı ve her linyit UÇK'nın sülfo-kalsik bir kül olmadığı belirtilmektedir. Örneğin, bir taş kömürü UÇK'da, silis ve alümina oranı düşük ve kireç oranı yüksek olabilir (Özdemir, 2007).

2.3.7 UÇK'ların yapısındaki kireç ve SO₃ miktarına göre sınıflandırılması

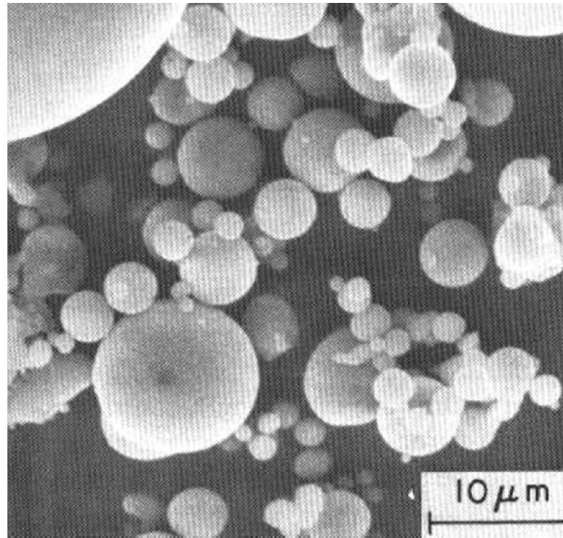
SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (S+A+F) toplamı %70'in üzerinde olan ve çoğunlukla taş kömürden temin edilen silika alüminalı UÇK'lar, kömür olarak linyitten temin edilen S+A+F toplamı %50-70 aralığında oluşan ve silika ile kireç miktarı çok olan silika kalsit UÇK'lar, yine linyitten temin edilen S+A+F toplamı ise %50 oranının üstünde olan ve diğer değerlerine fazla SO₃ ve CaO ihtiva edilen sülfo kalsit UÇK'lar vardır (Aitcin, 1986).

UÇK'lar ASTM C 618 standardına bakarak F ve C sınıfına ayrılır (Çizelge 2.7). F sınıfı, kömür olarak bitümden üretilen ve toplamı SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ ve yüzdesi %70'den fazla olan UÇK'lardan oluşmaktadır. CaO yüzdesinin %10 değerinin altında olması ile düşük kireçli (DK) şeklinde isimlendirilir. Sınıfı F olan UÇK'lar, puzolanik özelliktedirler (Şekil 2.4). Sınıfı C olan UÇK'lar ise, linyit kömür ya da yarı-bitümlü kömürlerden üretilir ve toplam SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Sınıfı C olan UÇK'lar CaO>%10 olması ile oluşan küller yüksek kireçli (YK) UÇK olarak isimlendirilir. Sınıfı C olan UÇK'lar, puzolanik özelliklerinin yanına ek olarak bağlayıcılık özelliğine sahip küllerdir (ASTM C 618, 2000).

UÇK'lar TS EN 197-1'e standardına göre oluşturulan sınıflandırma, silissi (V) ve kalkersi (W) olarak iki grupta gösterilir. Sınıfı V olan UÇK'lar genellikle puzolanik özellikli küresel şekilde olan taneciklerden meydana gelir, çok ince toz halindedir, temel olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'ten oluşan, kalan kısmı ise demir oksit ve diğerleri bileşenleri içeren küllerden oluşur. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının ise %25'den fazla olması lazımdır. Sınıfı W olan küller, puzolanik ve/veya hidrolik özellikte olan bir ince toz halinde temel olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den, kalan kısmı ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerden oluşur. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10 ve reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir (TS EN 197-1, 2002).

Çizelge 2.7. ASTM C 618'e göre UÇK'ların sınıflandırılması
(Erdoğan, 2003; Ün, 2007)

Sınıf	Tanım
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$ bitümlü veya antrasit (parlak kömürden çıkarılan UÇK). Sahip olduğu özellik sadece puzolanik olmasıdır.
C	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$ kömür olarak linyitten elde edilen UÇK. Kireç (CaO) içeriği %10'dan fazla olabilir (YK-UÇK). Puzolanik ve bir miktar bağlayıcı özelliğine sahiptir.



Şekil 2.4. F sınıfı UÇK'nın tipik bir Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) görüntüsü
(Mehta, 1986b)

Kireç (CaO) ve sülfat (SO_3) miktarına bakılarak yapılan sınıflandırma durumuna göre, temel yapısı siliko alüminatlardan oluşan ve çoğunlukla taş kömür içerisinde çıkarılan

UÇK'lar siliko alüminöz UÇK'lar tanımlanmaktadır. Çoğunlukla kömür çeşiti olan linyitten çıkarılarak ve diğer kömürlere oranı ile daha yüksek miktarda SO₃ ve CaO içeren UÇK'lar sülfokalsik UÇK'lar, kömür çeşidi olan linyitten çıkarılan kireç ve silika miktarı yüksek UÇK'lar ise silikokalsik UÇK'lar şeklinde isimlendirilirler (Açıkgöz, 2008). Bu sınıflandırmalara ek olarak külün içeriğinde bulunan CaO miktarına göz önünde tutularak sınıflandırma da gerçekleştirilebilmektedir. UÇK'ların aktivitesine göre bu sınıflandırma gerçekleştirilmekte ve UÇK'un aktivitesi CaO içeriği ile adlandırılmaktadır. UÇK'lar aktivitesine göre;

- Çok düşük aktiviteli küller: CaO < %3,50
- Düşük aktiviteli küller: %3,50 < CaO < %7
- Aktif küller: %7 < CaO < %14
- Çok aktif küller: CaO > %14

olarak dört değişik şekilde sınıflandırma yapılmıştır (Yazıcı, 2004).

2.3.8 UÇK'ların Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre sınıflandırılması

Reaktif silika ve alüminadan oluşmuş CaO miktarı %5'in altında, reaktif SiO₂ miktarı ise %25'in üstünde olan UÇK'lar V sınıfı küller olarak tanımlanırlar. Reaktif CaO, reaktif SiO₂ ve alüminadan oluşan, reaktif CaO miktarı %5'in üstünde olan UÇK'lara ise W sınıfı UÇK'lar olarak adlandırılır. Çizelge 2.8'de TS EN 197-1'e göre UÇK'ların sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.8. TS EN 197-1'e göre UÇK'ların sınıflandırılması (Türker vd., 2009)

Sınıf	Tanım
V	Genellikle puzolanik özellikler içeren küresel tanecik şeklinde oluşan ince bir toz halinde bulunur; esas olarak reaktif SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ 'den oluşur. Bu küllerde reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.
W	Puzolanik ve/veya hidrolik özelliklere sahip ince bir toz halinde olan; temel olarak reaktif kireç (CaO), SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ 'den oluşur. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan daha fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

2.3.9 Sınıflandırılmayan UÇK'lar

TES'deki yanma sisteminin heterojen olmasından kaynaklanan ve tam olarak kimyasal yapıda bulunmayan küller bulunmaktadır ve sürekli olarak kimyasal yapıları değişkenlik gösterir. İçeriğindeki CaO miktarına göre UÇK'lar: (1) CaO miktarı %10'dan az olan DK-kalsiyum içerikli UÇK'lar, (2) CaO miktarı %10'dan fazla olan YK-kalsiyum içerikli UÇK'lar olarak ikiye ayrılır (ASTM-C 618, 1991).

2.4 Çimento

Çimento, kalker ve kilin belli ölçülerde karıştırılması ve 1300-1500 °C aralığında pişirilmesi neticesinde klinker oluşur. Klinkerin -minör katkı maddesi eklenerek- çimento değirmenlerinde öğütülmesi neticesinde toz halini almasıyla, suyun etkisi ile sertleşerek bağlayıcılık özelliği kazanan esas yapı malzemesidir. Hidrolik bağlayıcı maddelerle oluşan çimentolar, suyla karıştırılarak oluşan hamur şekline getirilmesinin ardından hava ve su ile yavaş yavaş sertleşmesiyle suni taş halini alır (URL-2, 2017).

Kalker, kil, alçı taşı ve silisli kum çimento içerisindeki ana maddelerdir. Çimento bileşimini ayarlamak için FeO₂ eklenir. Çimentonun türüne bakarak %3-6 oran aralığında alçı taşı eklendikten sonra öğütülme işlemi yapılır. Bu durumun sebebi, ilk sertleşen durumu olan çimento yani priz zamanının ayarlanmasıdır. Çimentonun ham maddesi olan kil ve kalker, doğada içerisinde kimi zaman iki bileşik bir arada bazen de ayrı ayrı olarak bulunabilir. Çimentonun ham maddeleri ayrı şekilde temin edilirse, bu iki ham maddenin hesabı ve oranlarının sağlanması ile yüksek kalitede çimento ayarlanmalıdır (URL-2, 2017).

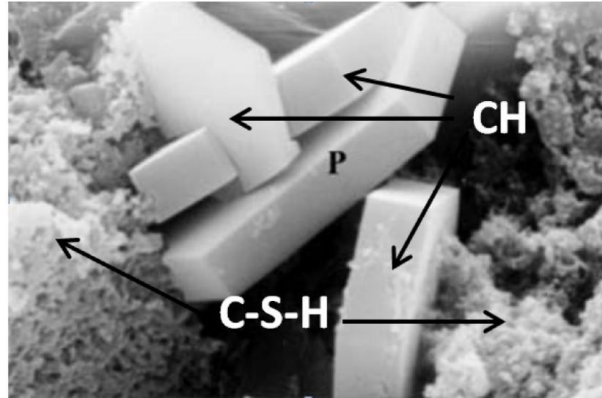
Öğütme inceliği ve alçı miktarı çimento klinkerini yani kimyasal bileşimini etkilerken, büzülmesiyle genişleme durumu çimentonun mukavemetine etki eder. Çimento klinkerin öğütülme durumu sırasında sıcaklık 120 °C'nin üstünde olduğunda dayanım değerinde düşüş meydana gelir. Bu işlem sonucunda, çimento için kullanılan beton veya çimento harcı en fazla 5 dakika içerisinde katılaşmaya başlayarak sertleşir (URL-2, 2017).

Çimento ham maddeleri yüksek sıcaklıkta pişirilir. Pişirilme sırasında kalkerin ayrışması sonunda kireç, kilin ayrışması sonucunda ise kil minerallerine bağlı olarak

silis, alüminyum ve demir oksit açığa çıkar. Açığa çıkan bu öğeler -asit ve bazik durumlarına göre- birbirleriyle birleşerek Portland çimentolarının ana bileşenlerini oluştururlar (URL-2, 2017).

Mineral katkıları (UÇK, yüksek fırın cürufu, doğal puzolan, silis dumanı gibi) çeşitli faydaları nedeni ile hazır betonda kullanılmaktadır. Mineral katkıların hidrasyon sürecine ciddi etkileri vardır (Kosmatka, 2006).

Karıştırma süreci, mineral katkı yüksek miktarda kalsiyum (özellikle C_3A formunda) ihtiva ediyorsa ve yeteri miktarda sülfat kaynağı yoksa betonda erken (ani) priz görülür. Bu da istenmeyen bir durumdur. Kızdırma kaybı (LOI) derecesi yüksek olan UÇK'lar yanmamış karbon (C) ihtiva ederler ve bu element hava-sürükleyici katkıların emilmesine neden olur (Kosmatka, 2006; Mehta, 2006). Sonuçta, hava-boşluk sistemi istenen düzeyde gerçekleşemez. Bu da önemli problemlere neden olur. Mineral katkıları genel olarak akışkanlık için daha az suya ihtiyaç duyarlar (Kosmatka, 2006). Uyku (taşınma-yerleştirme) sürecinde, silikatlar yavaş bir şekilde çözülmeye ve kalsiyum (Ca^{+}) ve hidroksil (OH^{-}) iyonları oluşmaya başlar (Kosmatka, 2006). Sertleşme sürecinde, mineral katkılarda bulunan silikatlar çimento reaksiyonu sonucu oluşan CH ile reaksiyona girip C-S-H meydana getirirler (Şekil 2.5) ve bu C-S-H oluşumu ile beton dayanımı kazanır.



Şekil 2.5. SEM’de 10000 kat büyütülmüş çimento hamuru içindeki CH kristalleri ve C-S-H jelleri (Kosmatka, 2006)

Bu reaksiyonlar çok yavaş olduğu için sonuçları hemen değil daha uzun bir süre sonucunda görülür. Bu nedenle, puzolanik madde ihtiva eden betonlarda dayanım

kazanma durumu çok daha uzun süre devam etmektedir. Priz başlama süresi gecikebilir, işlenebilirlik süresi uzayabilir; hidrasyon sonucu oluşan ısı miktarı düşer, hidrasyon reaksiyonu süresi uzar, erken dayanım kazanma hızı düşer (Kosmatka, 2006). Soğuma süreci, hidrasyonun yavaş devam etmesi nedeniyle ısı çıkış zaman oluşumu grafiğinde görülen zirve (pik) seviye daha düşük olur. Bunun sonucu büzülme daha az olur ve çekme gerilmesi daha düşük seviyede kalır. Ancak, puzolanik maddeler daha geç hidrate olduğu için ilki kadar olmasa da ısı açığa çıkışında ikinci bir pik nokta meydana gelir (Kosmatka, 2006). Yoğunlaşma sürecinde, uzun vadede mineral katkılarda bulunan silikatlar çimento reaksiyonları sonucu oluşan CH ile reaksiyona girip C-S-H (Şekil 2.5) meydana getirmeye devam eder. Dayanım kazanma başlangıçta düşük olabilir ama zamanla artmaktadır. Düşük miktarda kalsiyum içeren yüksek fırın cürufu (YFC) ve UÇK betonun alkali reaktivitesini düşürür. Bunun nedenleri puzolanik malzeme olarak karışımın alkali muhtevasını (alkalin özelliği olan CH miktarı düşer), beton geçirimsizliğini ve karışımdaki CaO/SiO₂ oranını düşürmeleridir (Kosmatka, 2006). Çimento üretiminde açığa çıkan sera gazı emisyonları dünya ısısını yükselterek küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir.

2.4.1 Çimento çeşitleri ve kullanım yerleri

Genellikle çimentolar, ana malzemelerine (bileşenlerine) göre isimlendirilirler. Çoğunlukla çimentolardan istenilen seviyede faydalanabilmek için kullanılması gereken yerlerin özelliğine bakarak çimento seçilmesi (sülfatlı zeminler veya su ile temas eden inşaatlarda sülfata dayanıklı çimento kullanılması, kütle betonlarda ise hidrasyon ısısı düşük çimento kullanılması gibi) gerekmektedir (URL-2, 2017).

2.4.2 Çimentoların genel özellikleri

Çimentolar, kullanıldığı yere göre değişik özellik görülebilir, çimentonun içerisindeki kimyasal ile kullanıldığı alanın ortam ve kimyasal etkisine maruz kalır. Örneğin bir çimento normal bir binada için kullanılmaya uygun, fakat denizde kullanımı uygun olmayabilir (URL-2, 2017).

Çimentonun dayanım kazanması 3 durum neticesinde oluşur:

- Su ile çimento arasındaki kimyasal reaksiyon hidratasyon olayıdır.
- Çimento hamurunun sertleşme derecesi katılaşma olayıdır. Çimentonun prizlenme süresini tespit etmek için kullanılan cihaza Vikat aleti denir.
- Katılaşma olayı, çimentonun hamurunun mekanik etkilere karşı koyabilme özelliğidir (URL-2, 2017).

2.5 Alçı (Jips)

Alçıtaşı değişik yerlerde farklı saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayaç, bünyesinde %20 civarında kimyasal olarak bağlanmış su içerir. Öğütülüp ısıtıldığında bünyesindeki suyun yaklaşık 3/4'ünü kaybeder ve genel adıyla kalsine alçı ya da Plaster of Paris denilen bir yapıya dönüşür. Kalsine edilmiş olan bu alçı tekrar su ile karıştırıldığında plastik veya akışkan bir kütle halini alır, isteğe göre kalıplanabilir/şekillendirilir (Anonim, 2005). Alçının hazırlanmasında kullanılan temel hammadde alçıtaşıdır. Doğada bulunan jipsti ya da anhidrit olarak rastlanan, Ca^{+2} , SO^{-4} iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde bazen su bulunan mineral topluluğuna -mineral farklılığına bakılmaksızın- alçıtaşı denilmektedir. Alçıtaşı doğada 6 şekildedir: Anhidrit, bassanit, jips, albatr, ipek jipsi ve selenit (Koçak, 2010). Alçının sahip olduğu başlıca özellikleri yanmazlık, ısı yalıtımı, hafiflik, işleme ve onarım kolaylığı, yüzeye nefes aldırma ve bakteri üretmemedir (URL-1, 1992).

Alçı beyaz toz halinde iken suyu absorbe ettiğinde sert bir kütle halini alır ve birtakım katkı maddeleriyle birlikte yaygın şekilde kullanıldığı alanlar oluşur. Doğal anhidrit, susuz kalsiyum sülfattır. Doğada çoğunlukla alçıtaşıyla beraber yatakladığı görülür. Kimi ülkelerdeki sülfürik asit üretimi haricinde yakın zamanlara kadar fazla bir kullanım alanı bulunmamıştır. Fakat 30 yıldan bu zamana kadar kimya endüstrisinde ve inşaat malzemelerinde öneme sahiptir (Koçak, 2010).

Türkiye’de coğrafi olarak alçı üretim tesislerinin bölgelere göre dağılımları göz önünde tutulduğunda alçı taşı rezervlerinin ülkemizin İç Anadolu, Güney ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğun, batı bölgelerinde ise nazaran az sayıda olduğu belirtilebilir. Görünür rezerv 165 milyon ton, görünür ve olası rezerv ise 1,8 milyar ton olarak tespit

edilmiştir (Gürdal, 1976).

Jipsten alçı elde edilmesi dehidratasyon işleminde 160-180 °C yüksek su buharı basıncı altında $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (jips) + ısı \rightarrow $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (alçı) + $3/2\text{H}_2$ formülü oluşur (Abrol vd., 1988; Kökipek, 2010). Böylelikle temin edilen yarım hidratlı kalsiyum sülfat, iri kristalli yapıdadır ve öğütülmesinin ardından alçı elde edilir. Alçının priz süresi 15-20 dk aralığında olup, çekme dayanımı değeri 66 kg/cm^2 , basınç dayanımı ise 560 kg/cm^2 'dir. 150 °C ısı ve atmosfer basıncı altında aynı yarım hidrat sülfat oluşması, fark edilen alçı türü olarak oluşur. Alçının çekme dayanımı 13 kg/cm^2 , basınç dayanımı 56 kg/cm^2 ve priz süresi 25-35 dk'dır. Ham alçı taşı, beyaz boya ve dolgu maddesi olarak kâğıt ve pamuklu tekstil maddelerine eklenmesinden oluşur. Çimento sanayisinde prizlenme süresinin gecikmesi, kömür tozlarında kül oranını arttırma, nikel izabesinde eritmeyi kolaylaştırma ve bira sanayinde mayalanma işlemi için kullanılır. Kimya sanayinde alçıdan yararlanılır. Alçı, sıcak yalıtım ile soğuk yalıtım özelliklerinden dolayı öncelikli malzemedir. Ayrıca yangın zamanını kısaltması ve nem oranının dengesi özellikleri ile kullanım alanı bulunmuştur (URL-1, 1992).

Alçı yapı malzemesinin diğerlerine göre üstün yönleri (Koçak, 2010);

- Alçının dökümü ve prizlenen yapı malzemesi kurumasından sonra malzemenin boyutunda değişim görülmez. Buna göre beton gibi rötre çatlaklarının bulunması ve ahşap gibi bünyesine rutubeti alıp geri verdiği durumda bile boyut ve şekil değişikliği yapmaz.
- Alçının ve alçı elemanının oluşumu, uygulama durumu, bakımı şekli kolay ve ucuzdur.
- Alçı -tam olarak bitmiş şekilde yapıya girer- ilave çaba ve ekonomik gidere gerek olmaz.
- Alçı, hazır şekilde yapı elemanı üretmeye uygun bir malzemedir. Alçının daha önceden hazırlanması duvar ve tavan kaplamaları için kolaylık sağlar. Deprem, yangın ve sel baskını gibi afet durumu olaylarında konut ihtiyacının arttığı ve karşılanmasının kısa sürede gerçekleşmesinin zorunlu olduğu durumlarda kullanmak üzere depo edilebilecek yapı elemanları hazırlanabilir.
- Alçı malzemesinden üretilen yapı elemanlarının fiziksel ve ekonomik

özelliklere sahip olması ile günümüz inşaat usullerine uygun, hızlı kuruyan hafif yapı elemanların üretimi sağlanarak yapı malzemeleri içerisinde önemli bir yer tutar.

- En az enerji kullanılarak alçı malzemesi oluşumu sağlanır, tasarım için öngörülen konfor ile estetik şartları sağlayarak çevre kirliliği yaratmayan bir malzeme oluşur.
- Doğal hammadde kaynaklarından alçı oluşumu sağlanır. Ülkede bu malzemelerin yeterli olması ve ihraç edilmesiyle ekonomiye katkı sağlanabilir.
- Malzeme üretimi büyük yatırım gerektirmez ve karmaşık teknolojili değildir.
- Hazır yapı elemanları üretimine elverişlidir ve teknolojik gelişmelere uyum sağlar.
- Standartlara uygun malzeme üretimi kolay ve pratik olarak sağlanabilir.
- Alçı malzemesi rahatlıkla işlenebilir. Bu özelliğinden dolayı tasarım ve yapım için esneklik sunar. Bu nedenle zaman içerisinde ortaya çıkabilecek olan kullanıcıların değiştirme isteği ve gereksinimleri kolay bir şekilde karşılanabilir.
- Alçı malzemesinin -kullanıldığı yere göre- BHA ayarı yapılabilir. İsteğe bağlı BHA azaltılabilir. Hafif yapı malzemesi olanın yükü, yani zemin üzerine aktarımı sağlanan yük, düşük oluşuna sebep olur. Bu özelliğiyle ekonomiye büyük ölçüde katkı sağlar. Taşıyıcı sistemli yapı elemanlarında özellikle bölücü duvarların hafif olması sağlanır ise maliyeti düşük yapı elemanını sağlamak da mümkündür.
- Alçı malzemelerinin üretilen yerlerden tesise taşınması ve uygulanması kolay olur. Dolayısı ile maliyet ve işçilik masrafı da azalır. Taşınması ve kullanılma durumu sırasında zarar görmüş yapı elemanları veya malzeme onarımı kolaydır (Eriç, 1978).

Alçının günümüzdeki yıllık üretilen miktarı 133 milyon ton'u geçmiştir. Serbest piyasa ekonomisinin hakim olduğu ülkelerdeki üretim, çok fazla sayıda üretici tarafından yapılmaktadır. Alçı üreticisi ülkelerin belli başlı üretim miktarları Çizelge 2.9 ve 2.10'da belirtilmektedir (URL-1, 1992).

Çizelge 2.9. 2010 ve 2015 yılları arasında Dünya’da ülkelere göre alçı üretim miktarları (milyon ton/yıl) (URL-1, 1992)

Ülke	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Çin	8,00	8,00	8,10	8,20	8,30	8,50
Kanada	9,90	10,0	10,0	10,1	10,2	10,4
Mısır	2,20	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Fransa	5,00	5,10	5,10	5,20	5,30	5,30
Almanya	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40
Yunanistan	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60
İran	13,0	13,0	13,1	13,1	13,2	13,2
İtalya	1,50	1,60	1,70	1,70	1,80	1,80
Japonya	6,20	6,30	6,40	6,50	6,50	6,60
Meksika	7,80	7,80	7,90	8,00	8,00	8,10
Rusya	2,70	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
İspanya	13,6	13,6	13,7	13,7	13,9	14,0
Suriye	0,50	0,50	0,50	0,50	0,20	0,20
Tayland	8,60	8,60	8,60	8,60	8,80	8,90
İngiltere	3,10	3,20	3,30	3,30	3,40	3,40
A.B.D.	22,3	22,4	22,5	22,6	22,8	22,9
Türkiye	3,40	3,40	4,00	4,10	5,50	5,70
Diğer Ülkeler	21,8	21,9	22,2	26,6	26,1	26,9
Toplam	132	133	137	138	142	144

Çizelge 2.10. Türkiye’de alçı ve alçı levha üretimi (milyon ton/yıl) (URL-1, 1992)

	2016	2017	2018 (Tahmini)
Yurt içi alçı ve alçı levha tüketimi	4,85	5,35	6,10
İhracat	0,90	0,90	1,00
Toplam	5,75	6,25	7,10

2.6 Kireç

Kireç, kireç taşının farklı sıcaklıkta pişmesiyle oluşur. Su ile karıştırılan kireç hava veya su ortamında katılaşma özelliği görülen, rengi beyaz ve bağlayıcı özellikli inorganik esaslı bir malzemedir (URL-3, 2018).

Kireç, bilinen en eski bağlayıcı malzemelerdendir. Mısır, Babil, Hitit, Finikeliler ve Persler aracılığıyla yapılarda bağlayıcı malzeme olarak hava kireci kullanmışlardır. Romalılar döneminde su kireci bulunmuş ve su içi inşaatlarda kullanılmıştır. Ayrıca Türkler puzolan kirecinin (volkanik esaslı, killi kalkerli toprak) içine öğütülmüş tuğla ekleyerek elde ettikleri karışıma Horasan harcı ismi vermişler ve yapılarında

kullanmışlardır. Bizanslılar kireci, sıva ve fresk tekniğinde kullanmışlardır (URL-3, 2018).

1576 yılında İngiliz Smeathon (Simithon), killi kireci pişirerek su kireci ve hidrolitik bağlayıcı düşüncesiyle, bu fikir hakkında önemli adımlar atmıştır. Günümüzde kireç sıva, bağlayıcı boya malzemesi (badana), gazlı beton ve plastik endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır (URL-3, 2018).

Kirecin ham maddesi olan kireç taşı, kalker ve tebeşir gibi kalsiyum karbonat veya dolomit gibi magnezyum karbonat ($MgCO_3$) kökenli kayalardan meydana gelir. Beyaz renkli kireçler (mermer kireci) kalsiyum kökenli kayalardan, esmer renkli kireçler (esmer kireç) ise magnezyum kökenli kayalardan meydana gelip dayanımı oldukça yüksektir. Kireç üretiminde, kireç taşının yakılması ve kirecin söndürülmesi olmak üzere iki temel aşama vardır (URL-3, 2018).

Kireç taşının yakılması aşamasında, kireç yataklarından çıkartılan kireç taşları belirli uzunluklarda kırılır. Kırılmış kireç taşları, dikey kireç fırınlarında (kömürle birlikte tabakalar halinde yakılarak) veya yatay döner fırınlarda (doğrudan bu fırınların içine konulup yakılarak) değişik sıcaklıklarda pişirilir. Sönmemiş kireç, kireç taşı tanelerinin ocak içerisinde 900-1000 °C'de pişirilmesiyle elde edilir (URL-3, 2018).

Kireç üretiminin ikinci aşaması ise kirecin söndürülmesidir. Kireç üretim yerinde veya inşaatın şantiyelerinde, sönmemiş kirece yeterli miktarda su ilave edilerek hidrasyon sağlanır. Sönmemiş kirecin üzerine su eklenmesiyle, eklenen suyu kaynatabilecek seviyede ısı açığa çıkar ve sönmüş kireç yani kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) çıkar. Bu işleme kireç söndürme adı verilir (URL-3, 2018).

Yapı malzemeleri içinde kireci önemli olan yönü, yapıştırıcı özelliğe sahip olmasıdır. Bu özelliğiyle kum ile oluşturulan karışımın sonucunda harç elde edilir. Kireç harcı kum, kireç ve suyun uygun miktarlarının, kolay işlenebilen plastik kıvamına gelineye kadar karıştırılmasıyla elde edilir. Harcın içindeki kireç, kum tanelerinin birbirine bağlanmasına, harcın kendi ağırlığını taşımasına ve havanın CO_2 'ini içine alarak malzemenin sertleşmesine sebep olmaktadır (URL-3, 2018).

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bu tez çalışmasının materyalleri UÇK, çimento, kartonpiyer alçısı (KPA) ve kireçtir. Tezde kullanılan ilk materyal olan UÇK, Afşin-Elbistan ve İsken Sugözü TES'den (AETES ve İSTES) temin edilmiştir. Kullanılan çimento CEM I 42,5 R tip Portland çimentodur ve ÇİMSA A.Ş. Niğde Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Çimentonun kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için herhangi bir deney gerçekleştirilmemiştir, üretici/temin edilen firmanın verileri (Çizelge 3.1) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. İsken-UÇK, Afşin-UÇK, çimento, KPA, kireç kimyasal analiz sonuçları

Elementler	Kimyasal Analiz Sonuçları (%)				
	UÇK		Bağlayıcı		
	İsken-UÇK	Afşin-UÇK	Çimento	KPA	Kireç
SiO ₂	42,1	30,46	3,59	0,40	-
Al ₂ O ₃	20,2	-	18,9	0,10	-
Fe ₂ O ₃	6,07	4,05	3,36	0,11	-
CaO	1,77	12,5	63,6	40,1	-
MgO	1,44	-	1,57	0,22	3,00
SO ₃	0,32	-	2,65	49,1	2,01
K ₂ O	3,81	-	0,40	0,02	-
Na ₂ O	0,26	0,46	0,77	-	-
CaSO ₄	-	16,52	-	-	-
CaCO ₃	-	9,30	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	2,00
Kızdırma Kaybı	3,80	-	3,59	9,95	6,00

Tezde kullanılan çimentonun başlangıç priz alma süresi 210 dk ve bitiş priz süresi ise 510 dk olarak tespit edilmiştir, yoğunluğu ise 1,4 g/cm³ dir (TS EN 196-3). KPA, Akasya Alçı Maden Üretim A.Ş. (Ak Alçı)'dan temin edilmiştir; kalsiyum sülfat kalsiyum+hemihidrat karbonat+sitrik asit içeriğine sahiptir. Beyaz renklidir ve toz şeklinde olup kokusu yoktur. “TS EN 13279-1 yapı ve sıva alçıları lifle sağlamlaştırılmış alçı ögelerine göre alçısı C1/8 CE Uygunluk Beyanı” kapsamına girer. Üreticisinden sağlanan teknik bilgiye göre 670-700 kg/m³ BHA değerine sahip, donma süresi 9-11 dk, yayılma çapı 170-200 mm, toplam su emme değeri %33,30-38,96, pH'ı

ise 7,0-7,9 arasındadır. Bu tezdeki diğer materyal olan kireç, ticari olarak satışa sunulan kireçtir.

Bu tez için temin edilen çimentonun üretici firma ve Niğde ÇİMSA A.Ş'de gerçekleştirilen UÇK, KPA ve kireç kimyasal kompozisyon analizleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Deney çalışmalarında malzemelerin kullanımı ve deneylerin gerçekleştirilmesi Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı (NOHU-İML), Merkezi Araştırma Merkezi Laboratuvarı (MAML) ve ÇİMSA A.Ş Niğde Fabrikası (ÇNF)'dan yardım alınarak yapılmıştır. Çizelge 3.2'de tezde kullanılan araç, gereç ve cihaz ayrıntılarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney çalışmalarında kullanılan araç, gereç ve cihazlar

Kullanılan Araç ve Gereçler	Kullanıldığı Yer/Laboratuvar	Kullanılan Araç ve Gereçler	Kullanıldığı Yer/Laboratuvar
Hassas terazi	NOHU-İML	Kurutma kabı (desikatör)	NOHU-İML
Etüv	MAML	Eldiven	NOHU-İML
Elek dizisi	MAML	Kırtasiye Gereçleri	NOHU-İML
Kül fırını	NOHU-İML	Pres Makinesi	NOHU-İML
40*40*160 mm (3 gözü olan) kalıp	ÇNF	Masa tipi mikser	NOHU-İML
Arşimet terazisi ve takımı	NOHU-İML	Kıvam deney setleri	NOHU-İML
Spatula, mala	NOHU-İML		

3.2 Metot

Bu tez çalışmasında Çizelge 3.1'de UÇK'ların kimyasal içeriğine göre ön testler yapılmıştır. Bu tezin materyalleri olan UÇK, KPA ve kireçte (a) elek analizi (Şekil 3.1), (b) yanabilir madde verim hesabı (Çizelge 3.3) ve (c) BHA deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra UÇK, çimento, KPA ve kireç ile UÇK+çimento, UÇK+KA ve UÇK+kireç setlerinden yapı paneli numuneler elde edilmiştir. İkinci aşamada üretilen yapı panellerine fiziksel ve mekanik testler olan (i) yayılma yöntemi ile alçı/su oranı tespit edilmesi, (ii) eğilme dayanımı (EĞD), (iii) basınç dayanımı (BSD), (iv) BHA, (v) su emme tayini ve (vi) porozite belirleme deneyleri yapılmıştır.

3.2.1 UÇK, KPA ve kireçte yanabilir madde verimi hesabı

Yanabilir madde verimi hesabı, malzemeler içerisindeki yanabilir maddelerin miktarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Öncelikli olarak krozenin darası alınmıştır. UÇK, KPA ve kireç ayrı olarak kroze (1 g) konulmuş ve 1 saat boyunca 105 °C’de etüvde bekletilmiştir. Ardından desikatörden çıkarılan bu maddeler soğumaya bırakılmış, hassas terazide tartılmış ve kül fırınında 745-750 °C’de 120 dk müddet bekletilmiştir. 24 saat sonra UÇK yeniden desikatör içerisine alınarak soğuyuncaya dek içerisinde tutulmuştur.

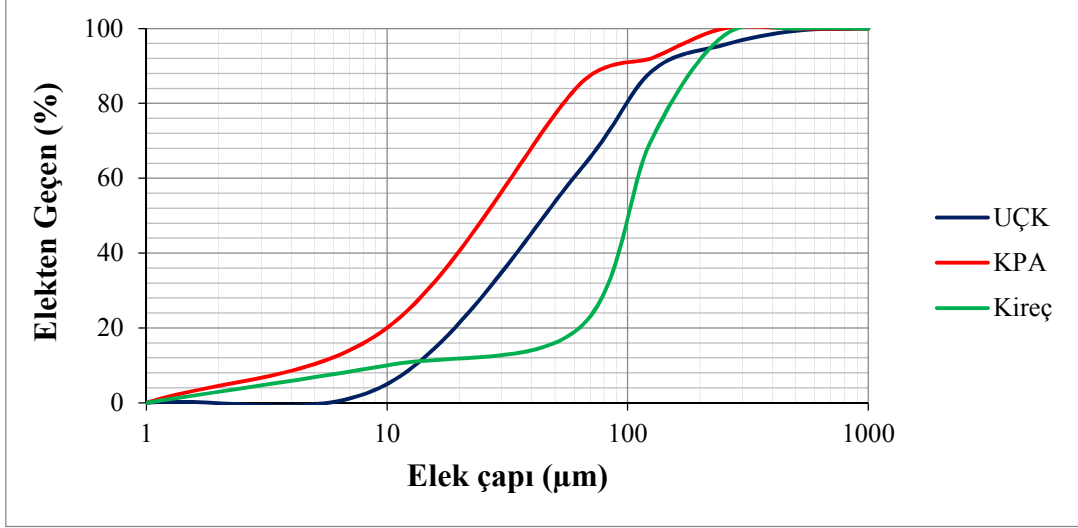
Yanıcı madde ölçüm hesabı=(Birinci tartılan numune/örnek-son tartılan numune/örnek)x100 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Yanabilir madde verimi hesabı

Materyal (Hammadde)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (saat)	Tartılan Numune Ağırlığı (g)	Yanıcı Madde Miktarı (%)
UÇK	750	1	20 g	7,5
KPA	750	1	20g	6,3
Kireç	750	1	20g	8,2

3.2.2 UÇK, KPA ve kireçte elek analizi

Elek analizi için UÇK, KPA ve kireç ayrı ayrı 105 (±5) °C’de etüvde 1 gün periyotla sabit ağırlığa ulaşuncaya kadar kurutulmuştur. Nemini kaybeden bu malzemelerin elek analiz (TS EN 13279-1) sonuçları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. UÇK, KPA ve kireç elek analiz sonuçları

3.2.3 UÇK, çimento, KPA ve kireçte sıkışık BHA deneyi

Sıkışık BHA deneyi için TS 3529 standardına göre UÇK'lar 100-110 °C'de 24 saat zaman ile sabit ağırlığa gelinceye dek etüvde kurutulmuştur. Kuruyan UÇK'ların 500 mL'lik mezür yardımıyla hacimleri ve birim hacmine yanıt olarak sağlanan ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlığın hacime bölünmesiyle elde edilen UÇK'ların yoğunlukları tespit edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. UÇK, çimento, KPA ve kireç BHA değerleri

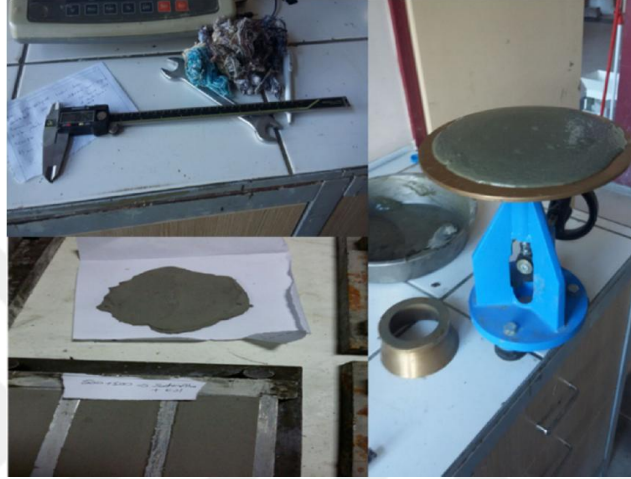
	Afşin-UÇK	İsken-UÇK	Çimento	KPA	Kireç
BHA (g/cm ³)	0,70	1,20	1,36	1,01	1,30

3.2.4 Yapı paneli numunelerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılan UÇK, çimento, KPA, kireç BHA'ları birbirinden değişik olduğundan, karışım parametrelerinin tespit edilmesinde ağırlık esası kullanılmıştır. Karışım hesabında ise TS EN 520+A1, TS EN 3234, TS EN 14190, TS EN 13950, TS EN 12859, TS EN 13279-1 ve TS EN 13279-2 standartlarından faydalanılmıştır.

Tez çalışmasında UÇK, çimento, KPA ve kireç ile değişik kombinasyonlar (UÇK+Çimento, UÇK+KPA, UÇK+kireç) yapılmıştır. Kalıplara dökülecek karışımların yeterli olması için ön denemeler oluşturulmuştur. Üretilen yapı panelleri için, çimento

harç numune kalıpları ölçüleri 40*40*160 mm kullanılarak ve üç tane gözlü olduğundan -malzeme yitirme durumu olmadan- karışım hesabı yapılmıştır. BHA'ları farklı olan bağlayıcı malzemeler temel olarak ağırlık esasına dönüştürülmüştür. TS EN 13279-2 standardında yer alan yayılma yöntemine (Fotoğraf 3.1) göre ön denemeler uygulanmış ve yapı paneli üretimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzeme miktarları ve üretilen numune grupları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.1. Yayılma deneyi

Çizelge 3.5. UÇK'ların çimento, KPA ve kireç ile ön deneme karışım oranları

N.No	ÇO (%)	Su	UÇK (g)	UÇK (g)	NNo	Kireç (%)	Su	UÇK (g)	UÇK (g)	NNo	KPA (%)	Su	UÇK (g)	UÇK (g)
1	10	KIG	1200	-	11	10	YYG	900	-	21	10	YYG	1000	-
2	20	KIG	1200	-	12	20	YYG	900	-	22	20	YYG	1000	-
3	30	KIG	1200	-	13	30	YYG	900	-	23	30	YYG	1000	-
4	40	KIG	1200	-	14	40	YYG	900	-	24	40	YYG	1000	-
5	50	KIG	1200	-	15	50	YYG	900	-	25	50	YYG	1000	-
6	10	KIG	-	1200	16	10	YYG	-	900	26	10	YYG	-	1000
7	20	KIG	-	1200	17	20	YYG	-	900	27	20	YYG	-	1000
8	30	KIG	-	1200	18	30	YYG	-	900	28	30	YYG	-	1000
9	40	KIG	-	1200	19	40	YYG	-	900	29	40	YYG	-	1000
10	50	KIG	-	1200	20	50	YYG	-	900	30	50	YYG	-	1000

NNo: Numune no, ÇO: Çimento oranı, KIG: Kıvamına göre (), YYG: Yayılma yöntemine göre (TS EN 13279-2)

3.2.4.1 UÇK ve çimento bağlayıcı ile yapı paneli üretilmesi

UÇK ve karışım için kullanılan bağlayıcı ÇİMSA CEM I 42,5 R Portland kalkerli çimento, numune boyutları 40x40x160 mm prizma şeklinde olan kalıplara boşluk

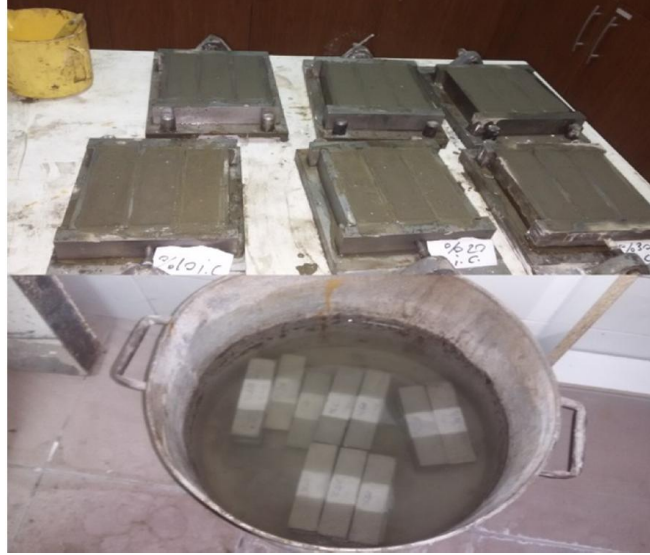
kalmayacak şekilde (sarsma ve spatula yardımıyla sıkıştırarak) döküm yapılmıştır (Fotoğraf 3.2). Numune kalıplara dökümü yapılan 20-26 °C’de, döküm kalıplarında 1 gün (24 saat) bekletilmiştir. 24 saatin sonunda spatula yardımıyla kalıplardan çıkarılan numuneler, su havuzuna özenle yerleştirilmiştir. Bu üretilen yapı panellerinin karışım gruplarına göre UÇK kullanımı ve çimento miktarları Çizelge 3.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. UÇK ve çimento karışımlarıyla üretilen yapı panelleri

Oran %	ÇM (g)*	İsken-UÇK miktarı (g)	İsken-UÇK için SM (g)**	Afşin-UÇK miktarı (g)	Afşin-UÇK için SM (g)
100	1200	-	500	-	-
90	1080	120	355	-	-
80	960	240	353	-	-
70	840	360	361	-	-
60	720	480	381	-	-
50	600	600	419	-	-
40	480	720	409	-	-
30	360	840	424	-	-
20	240	960	439	-	-
10	120	1080	439	-	-
90	1080	-	-	120	358
80	960	-	-	240	358
70	840	-	-	360	358
60	720	-	-	480	358
50	600	-	-	600	358
40	480	-	-	720	358
30	360	-	-	840	358
20	240	-	-	960	358
10	120	-	-	1080	358

*ÇM: Çimento miktarı, **SM: Su miktarı

UÇK ve çimentolu üretilen yapı panellerinin kalıp ve su tankında bekletilme süreçleri Fotoğraf 3.2’de sunulmuştur.



Fotoğraf 3.2. UÇK ve çimentolu yapı panellerinin kalıplara dökümü ve su tankı içinde bekletilen numuneler

3.2.4.2 UÇK ve KPA ile yapı paneli üretilmesi

Ön denemeler neticesinde 28 tane karışımdan oluşan yapı paneli numuneleri üretilmiştir. Karışımların türdeşliğinin sağlanması için kullanılan yayılma yöntemiyle KPA/su miktarları TS EN 13279-2 standardına göre tespit edilerek yeni karışım miktarları hazırlanmıştır. UÇK+KPA -hazırlandıktan hemen sonra- daha önceden sıvı yağ ile hafifçe yağlanmış kalıba, kalıbın kenarları ve köşeleri iyice doldurulacak şekilde, spatula yardımıyla doldurulmuştur. Oluşabilecek hava kabarcıklarını ortadan kaldırmak amacıyla kalıp, ucundan yukarı 10 mm kaldırılarak ve daha sonra zemine serbest bırakılarak düşürülmüştür. Bu işlem, kalıbın her ucunda 5 kez tekrarlanmıştır. Karıştırma işlemi başladıktan sonra en geç 10 dk içerisinde kalıplara doldurulmuştur. Priz süresi tamamlandıktan sonra bıçak spatula kullanılarak kesme hareketleriyle kalıp üzerindeki fazla hamur sıyrılarak çıkarılmış ve dikdörtgen prizma formundaki numuneler (Fotoğraf 3.3) hazırlanmıştır. Bu hazırlanan karışımlar kalıplarda 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş, kalıplardan çıkartılarak kuru bir zemin üzerinden 7 gün boyunca bekletilmiş ve ardından sabit kütleye ulaşmaya kadar etüvde (40 ± 2 °C) kurutulmuştur (Fotoğraf 3.4). Karışımların oranına ilişkin bilgiler Çizelge 3.7’de verilmiştir.

UÇK ve KPA karışımı yapı panellerinin görüntüleri Fotoğraf 3.3 ve 3.4’de verilmiştir.



Fotoğraf 3.3. UÇK ve KPA karışımı üretilen yapı panelleri



Fotoğraf 3.4. Etüvde kurutulan yapı panelleri

Çizelge 3.7. UÇK ve KPA ile üretilen yapı panellerinin karışım oranları

KPA Oranı %	Afşin-UÇK için KPA Miktarı (g)	Afşin-UÇK Miktarı (g)	Afşin-UÇK için S.M (g)	İsken-UÇK için KPA Miktarı (g)	İsken-UÇK Miktarı (g)	İsken-UÇK için S.M (g)
10	100	900	450	100	900	560
20	200	800	460	200	800	650
30	300	700	500	300	700	730
40	400	600	520	400	600	730
50	500	500	550	500	500	750
60	600	400	600	600	400	770
70	700	300	600	700	300	750
80	800	200	620	800	200	630
90	900	100	620	900	100	620
100	1000	-	600	1000	-	600

3.2.4.3 UÇK ve kireç ile yapı paneli üretilmesi

Bu grupta hazırlanan karışımlarda bağlayıcı olarak kireç kullanılmış ve karışımın homojen olması için kireç/su oranı ön denemeler sonucunda 1000/600 olarak tespit edilmiştir; ayrıca UÇK/su miktarları hesaplanarak yeni karışım oranları belirlenmiştir. UÇK+kireç karışımı, hazırlandıktan hemen sonra, daha önceden sıvı yağ ile hafifçe yağlanmış kalıba, kalıbın kenarları ve köşeleri iyice doldurulacak şekilde, spatula yardımıyla doldurulmuştur. Oluşabilecek hava kabarcıklarını ortadan kaldırmak amacıyla kalıp, ucundan yukarı doğru 10 mm kaldırılıp daha sonra zemine serbest bırakılarak düşürülmüştür. Bu işlem, kalıbın her ucunda 5 kez tekrarlanmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra numune, kalıpların içerisine doldurulmuştur. Priz süresi tamamlandıktan sonra spatula kullanılarak kesme hareketleriyle kalıp üzerindeki fazla hamur sıyrılarak ayrılmıştır. Yapı paneli numuneleri 3 prizma olarak hazırlanmıştır. Hazırlanmış bu karışımlar, 4x4x16 cm kalıplara dökülerek 1 gün boyunca oda ısısında ve ardından 4x4x16 cm kalıbından sökülerek çıkan numune ıslak olmayan (kuru) zemin yüzeyinde oda koşulları altına sıcaklık 20-25 °C ve nem %45-60 aralığında 7 gün boyunca bekletilmiştir. Daha sonra sabit kütleye ulaşıncaya kadar etüvde (70-105 °C) 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Bu numuneler (Fotoğraf 3.5) zemin yüzeyinde 7-28 günlük döngüleri takip edilerek bekletilmiş, daha sonra basınç ve eğilme dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. UÇK ve kireç kullanımı için miktarlar Çizelge 3.8’de verilmiştir.



Fotoğraf 3.5. UÇK ve kireçli karışımlardan üretilen yapı panelleri

Çizelge 3.8. UÇK ve kireç ile üretilen yapı panellerinin karışım oranları

Kireç Oranı (%)	Afşin-UÇK için Kireç Miktarı (g)	Afşin-UÇK Miktarı (g)	S.M (g)	İsken-UÇK için Kireç Miktarı (g)	İsken-UÇK Miktarı (g)	SM (g)
100	900	-	500	900	-	500
90	810	90	440	810	90	320
80	720	180	450	720	180	340
70	630	270	460	630	270	350
60	540	360	464	540	360	370
50	450	450	466	450	450	410
40	360	540	470	360	540	430
30	270	630	470	270	630	430
20	180	720	476	180	720	440
10	90	810	480	90	810	450

3.2.5 Yapı panellerinde mekanik testler

3.2.5.1 Yapı panellerinde basınç dayanım testi

Yapı panellerinin basınç dayanımı (BSD) testi başlamadan ilk olarak küresel yatağın oynaklığı kontrolü sağlanır, yükleme tablaları ve deney numunelerinin üzerleri titiz bir şekilde temizlenerek, alt tablanın yüzeyine numune düzgün bir şekilde konularak. BSD testi, deney numunesi çizgisi ile küresel yatak yüzeyindeki tablanın basınç merkezi eşit

şekilde ayarlanarak uygulanmıştır. Deney numunesine uygulanacak yükün numunenin yüzeyine eşit bir şekilde dağılımı için, oynak tabla üzerine numune tamamıyla temas edecek şekilde hazırlanmıştır. Numune yüzeyine yükleme aralıksız şekilde, oldukça sabit yüklemeyle hızı (5 ile 10 dk süre aralığında) meydana gelecek şekilde hazırlanmıştır (TS 772-1). UÇK+çimentolu yapı panellerinde oda koşulunda bekletilen numunelerin birincisi 7 gün, diğeri ise 28 gün suda bekletilerek 7 ve 28 günlük BSD testleri gerçekleştirilmiştir. UÇK+KPA kullanılarak üretimi yapılan numuneler önce oda koşulu ve ardından 7 gün sonunda etüvde 40 °C'de (Fotoğraf 3.4) 24 saat, UÇK+kireçli üretilen numuneler ise oda koşulunda 7 ve 28 gün bekletildikten sonra sabit ağırlığa geldiği zaman BSD testleri gerçekleştirilmiştir.

Yapı paneli numunelerine uygulanan BSD testi Fotoğraf 3.6'da gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.6. Yapı paneli numunelerine uygulanan BSD testi

3.2.5.2 Yapı panellerinde eğilme dayanımı testi

Yapı paneli numunelerinde eğilme dayanımı (EĞD) değerlerinin belirlenmesi amacıyla TS EN 12390-5 standardına göre 4x4x16 cm nitelikte dikdörtgen prizma örnekleri hazırlanmış, eğilme presi ile (250±125 N/min) yükü altında eğilme testi (Fotoğraf 3.7) yapılmıştır



Fotoğraf 3.7. Yapı paneli numunelerine uygulanan EĞD testi

3.2.6 Yapı panellerinde fiziksel testler

3.2.6.1 Yapı panellerinde BHA deneyi

Üretilen üçer adet yapı paneli numunelerinin BHA'sının aritmetik ortalaması elde edilerek, o gruba ait BHA değeri ortaya konmuştur.

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.1)$$

Bu formülde;

$m_{dry,u}$: Kurutulmuş numunelerin birim ağırlığı (Fotoğraf 3.8)

$V_{g,u}$: Numunelerin uzunluk, genişlik ve yükseklik çarpımı sonucunda oluşan brüt hacimleri

$\rho_{g,u}$: BHA

BHA testi sırasındaki tartım işlemi Fotoğraf 3.8'de verilmiştir.



Fotoğraf 3.8. Etüvden çıkarılan numunede kuru BHA tartımı

3.2.6.2 Yapı panellerinde porozite belirleme deneyi

Tez çalışmasında üretilen UÇK+çimentolu yapı panellerinde porozite belirleme deneyi, toplam hacmi tanımlanan bir numune vasıtasıyla yapılmıştır. Yapı paneli numuneleri etüvde 105 °C’de (Fotoğraf 3.4) sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur; dane yüzeyinde tutulan su numunelerden uzaklaştırılmıştır. Ardından numuneler hacmi bilinen su dolu tank içerisine konularak suya doymuş duruma gelecek şekilde bırakılmıştır. Porozite, boşlukların hacmi ilk zaman su içerisindeki hacminden doymuş duruma gelen numunelerin çıkarılmasının ardından tank içinde kalan suyun hacmi çıkarılarak bulunmuştur.

Porozite UÇK+KPA’lı yapı panelleri için ilgili TS EN 13279-2 standardına göre tespit edilmiş, ancak UÇK+kireçli numunelerde -su dökülmelere yol açtığı için gerçekleştirilememiştir.

3.2.6.3 Yapı panellerinde su emme tayini deneyi

Bu tezde dikdörtgen prizma biçiminde olan UÇK+çimento (TS EN 3526) yapı panellerinde su emme (SE) tayini deneylerinde numuneler 1 gün boyunca 100-110 °C’ye ayarlanmış etüvde (Fotoğraf 3.4) kurumaya bırakılmıştır. Ardından oda sıcaklığı koşulunda 1800 s ve ardından 20 ile 25 °C aralığı sıcaklıkta suyla doldurulmuş tank içerisinde 1 gün boyunca kalmıştır. Yüzeyinde kalan su damlacıkları sulu süngerle temizlenmiş ve ardından ağırlığı ölçülerek yeniden tank içerisine konulmuştur. Döngü 1

gün içerisinde belli zamanlarda tekrarlanmıştır; 1 gün sürelik içerisinde son bölümlerinde suya doymun şekildeki ağırlığı sabit ağırlık olarak belirlenmiştir.

UÇK+KPA'lı yapı paneli numunelerinde -TS EN 12859 standardına göre- SE deneyi gerçekleştirmek için numuneler 20 ile 25 °C aralığında sıcaklığa sahip suyla doldurulmuş tank içerisine koyulmuştur. Yapı panellerin tank tabanının yüzeyine değmemesi için numuneler, 2 dayanağın yüzeyine köprü şekli yapılarak, yüzeye paralel şekilde yüzeylerinde 50 ile 10 mm aralıkta su katmanı oluşacak şekilde konulmuştur. 120 dk bekletilmesinin ardından yapı panelleri sudan ayrılmış, blokların üzerindeki suyu bırakması için 5 dk bekletilmesinin ardından tekrar tartılmış ve SE değeri tespit edilmiştir.

UÇK+kireç kombinasyonlu numunelerde SE deneyi -kireçte su kullanımı deformasyona sebep olduğu için- yapılmamıştır.

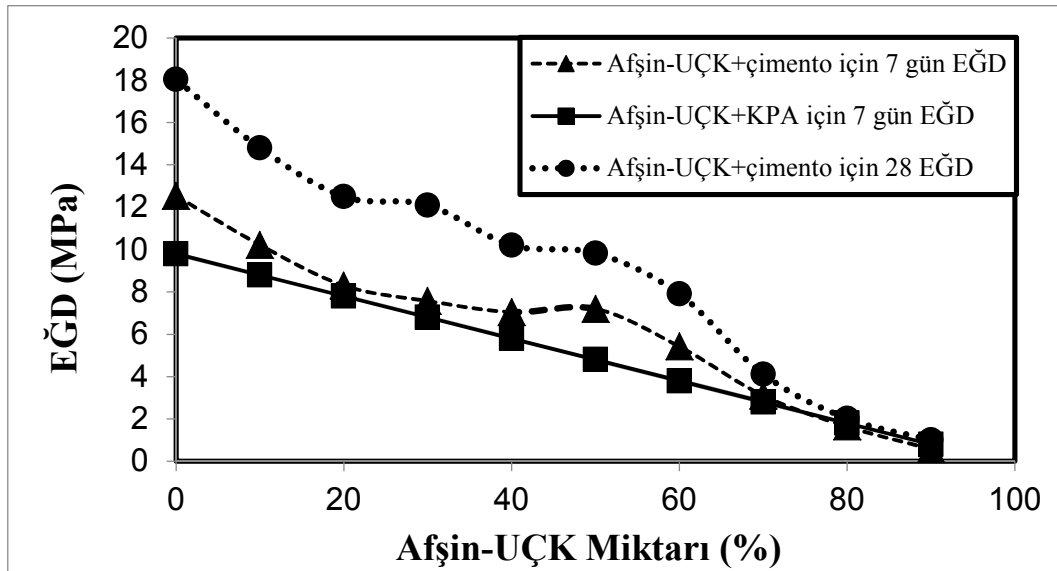
BÖLÜM IV

BULGULAR

Bu yüksek lisans tezinde, endüstriyel katı atık olan UÇK'ların %10-90 aralığındaki kombinasyonlarında çimento, KPA ve kireç ile karışımları hazırlanıp yapı paneli üretilmiş, bu malzemenin mekanik ve fiziksel deney/testleri (EĞD, BSD, BHA, porozite ve SE) yapılmıştır; bulgular Çizelge 4.1-4.6'da verilmiştir.

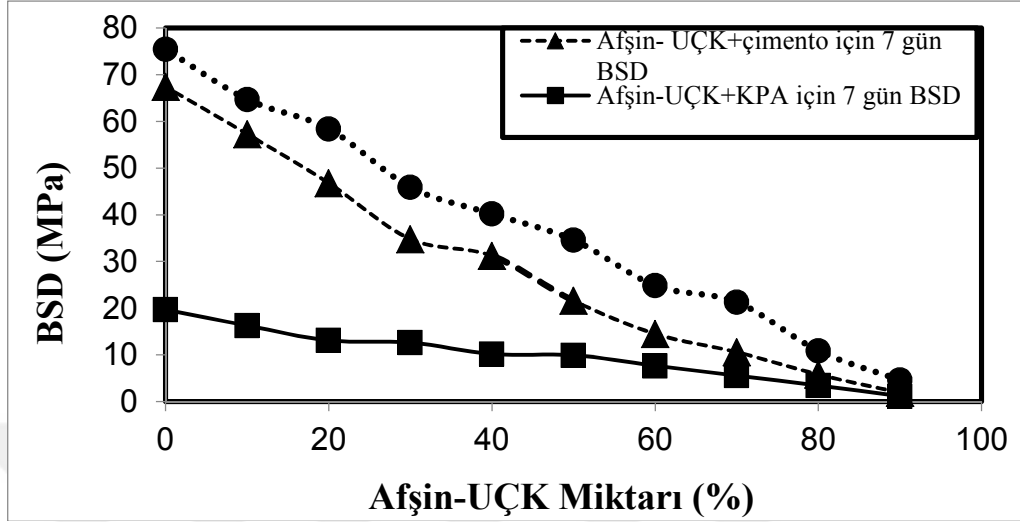
UÇK+çimentolu yapı paneli karışımları EĞD ve BSD test bulguları:

Afşin-UÇK+çimento ile hazırlanan numune karışımında en düşük 7 ve 28 günlük EĞD değerleri (0,98 ve 1,01 MPa) %10 çimento+%90 Afşin-UÇK karışımlı yapı panellerinde, en yüksek EĞD değerleri (11,69 ve 14,8 MPa) ise %90 çimento+%10 Afşin-UÇK karışımlı yapı panellerinde ölçülmüştür (Şekil 4.1, Çizelge 4.1). Bu yapı panellerinde 7 ve 28 günlük en düşük BSD bulguları (3,8 ve 4,6 MPa) %10 çimento+%90 Afşin-UÇK'lı yapı panellerinde ve en yüksek BSD değerleri (46,7 ve 64,7 MPa) ise %10 Afşin-UÇK+%90 çimentolu yapı panellerinde tespit edilmiştir (Şekil 4.2, Çizelge 4.1).



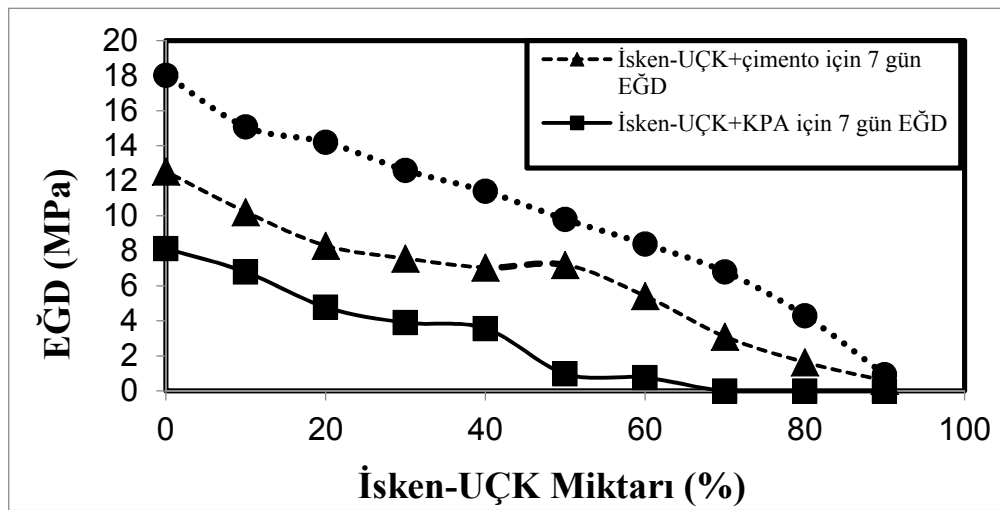
Şekil 4.1. Afşin-UÇK+çimento ve Afşin-UÇK+KPA ile hazırlanan yapı panellerinin EĞD grafiği

Afşin-UÇK ile çimento ve KPA kullanılarak üretilen yapı panellerinin BSD grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



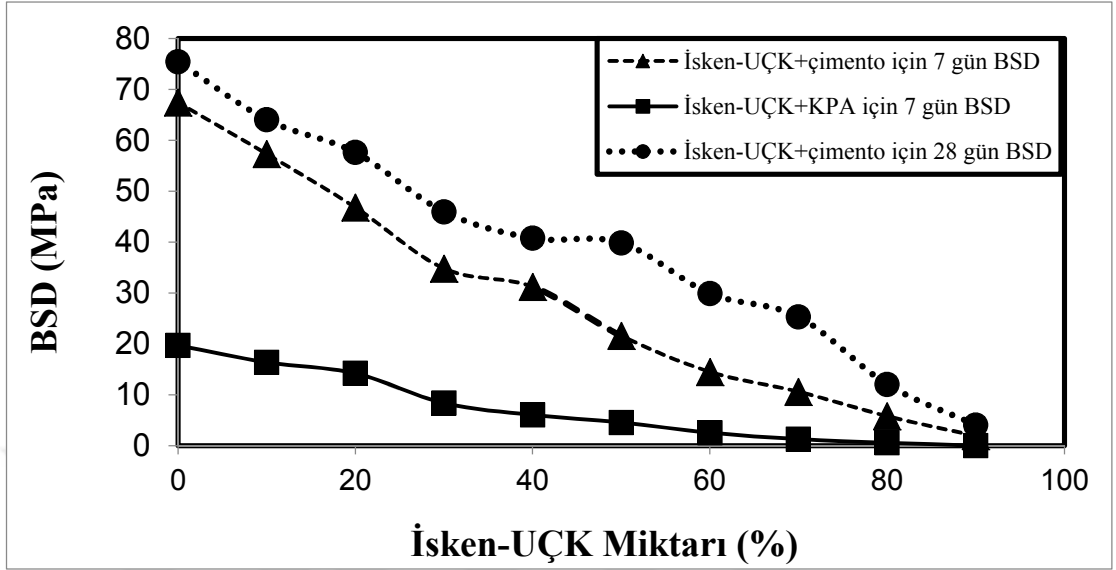
Şekil 4.2. Afşin-UÇK+çimento ve Afşin-UÇK+KPA’lı üretilen yapı paneli BSD grafiği

İsken-UÇK+çimento ile üretilen yapı panellerinde 7 ve 28 günlük EĞD değerleri %10 çimento+%90 İsken-UÇK karışımında en düşük (0,58 ve 0,93 MPa), %90 çimento+%10 İsken-UÇK karışımında ise en yüksek (10,2 ve 15,1 MPa) olarak bulunmuştur (Şekil 4.3, Çizelge 4.1). Bu yapı panellerinde 7 ve 28 günlük en düşük BSD değerleri (1,90 ve 4,15 MPa) %10 çimento+%90 İsken-UÇK’lı yapı panellerinde, en yüksek (57,3 ve 64,2 MPa) değerler ise %90 çimento+%10 İsken-UÇK kullanılan yapı panellerinde tespit edilmiştir (Şekil 4.4, Çizelge 4.1).



Şekil 4.3. İsken-UÇK+çimento ve İsken-UÇK+KPA’lı üretilen yapı paneli EĞD grafiği

İsken-UÇK ile çimento ve KPA kullanılarak üretilen yapı panellerinin BSD grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. İsken-UÇK+çimento ve İsken-UÇK+KPA ile üretilen yapı panellerinin BSD grafiği

Çizelge 4.1. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD test bulguları

Çimento (%)	Afşin-UÇK’lı üretilen numuneler (MPa)				İsken-UÇK’lı üretilen numuneler (MPa)			
	EĞD 7-gün	BSD 7-gün	EĞD 28-gün	BSD 28-gün	EĞD 7-gün	BSD 7-gün	EĞD 28-gün	BSD 28-gün
10	0,98	3,80	1,01	4,60	0,58	1,90	0,93	4,15
20	1,78	6,10	2,02	10,9	1,64	5,80	4,30	12,2
30	4,56	15,5	4,11	21,3	3,10	10,6	6,80	25,3
40	4,25	22,1	7,90	24,9	5,42	14,5	8,39	29,9
50	7,97	31,0	9,83	34,6	7,20	21,6	9,80	39,9
60	9,78	41,7	10,2	40,2	7,05	31,2	11,4	40,8
70	11,6	44,5	12,1	45,9	7,57	34,8	12,6	46,1
80	11,5	43,1	12,5	58,4	8,30	46,8	14,2	57,6
90	11,7	46,7	14,8	64,7	10,2	57,3	15,1	64,2
100	12,5	67,4	18,0	75,4	12,5	67,4	18,0	75,4

UÇK+KPA’lı yapı paneli kombinasyonlarında TS 13279-1 standardındaki bilgiler ışığında sadece 7 günlük EĞD ve BSD testleri yapılmıştır. Bu testlerin bulguları:

Afşin-UÇK+KPA kullanılarak üretilen yapı panellerinde 7 günlük EĞD testine göre en düşük değer (0,80 MPa) %10 KPA+%90 Afşin-UÇK’lı ve en yüksek değer (8,23 MPa)

ise %90 KPA+%10 Afşin-UÇK'lı karışımda belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bu yapı panellerinde 7 günlük BSD değeri, %10 KPA+%90 Afşin-UÇK'lı karışımda en düşük (1,16 MPa) ve %90 KPA+%10 Afşin-UÇK kullanılan karışım en yüksek (16,3 MPa) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2, Çizelge 4.2).

İsken-UÇK+KPA kullanılarak üretilen yapı panellerinde, 7 günlük EĞD için en düşük değer (0 MPa) %90 KPA+%10 İsken-UÇK karışımında ve en yüksek değer (16,4 MPa) ise %90 KPA+%10 İsken-UÇK kombinasyonunda ölçülmüştür (Şekil 4.3). Bu yapı panellerinde 7 günlük en düşük BSD değeri (0,99 MPa) %50 KPA+%50 İsken-UÇK'lı karışımda ve en yüksek BSD değeri (6,80 MPa) ise %90 KPA+%10 İsken-UÇK karışımında tespit edilmiştir. (Çizelge 4.2, Şekil 4.3).

Çizelge 4.2. UÇK+KPA karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD test bulguları

KPA (%)	Afşin-UÇK'lı numuneler (MPa)		İsken-UÇK'lı numuneler (MPa)	
	EĞD (7-gün)	BSD (7-gün)	EĞD (28-gün)	BSD (28-gün)
10	0,80	1,16	0	0
20	1,35	3,45	0	0,57
30	3,30	5,58	0	1,30
40	4,77	7,68	0,76	2,54
50	4,56	9,93	0,99	4,57
60	5,57	10,2	3,58	6,04
70	7,86	12,7	3,91	8,36
80	7,45	13,1	4,79	14,2
90	8,23	16,3	6,80	16,4
100	8,13	19,7	8,13	19,6

UÇK+kireç'li yapı panellerinde 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD testleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular aşağıda sunulmuştur:

Afşin-UÇK+kireç ile üretilen yapı panellerinde, 7 günlük EĞD testinde en düşük (0 MPa) değer %10 kireç+%90 Afşin-UÇK'lı yapı panellerinde, en yüksek değer (0,84 MPa) ise %90 kireç+%10 Afşin-UÇK karışımında ölçülmüştür. 7 günlük BSD değeri %80 kireç+%20 Afşin-UÇK'lı karışımda en düşük (0,37 MPa) ve %90 kireç+%10 Afşin-UÇK karışımında en yüksek değer (1,03 MPa) bulunmuştur. 28 günlük EĞD testinde en düşük (0,03 MPa) değer %40 kireç+%60 Afşin-UÇK'lı yapı panellerinde ve en yüksek değer (0,54 MPa) ise %50 kireç+%50 Afşin-UÇK karışımında ölçülmüştür.

BSD değeri ise %30 kireç+%70 Afşin-UÇK'lı karışımında en düşük (0 MPa) ve %40 kireç+%60 Afşin-UÇK karışımında en yüksek değer (1,51 MPa) tespit edilmiştir. (Çizelge 4.3)

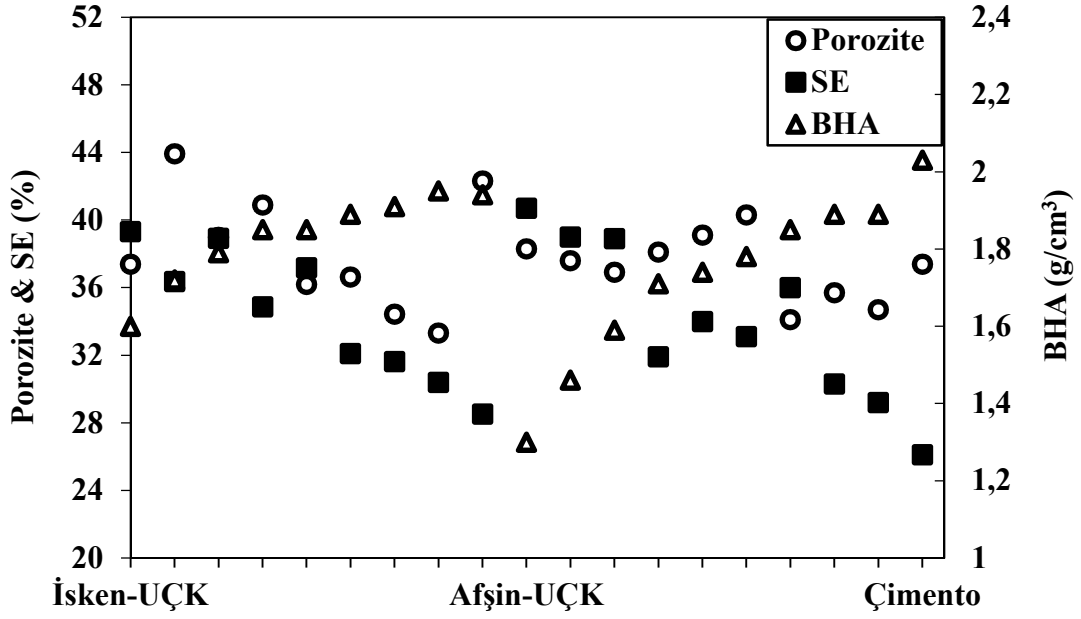
Çizelge 4.3. UÇK+kireç karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük EĞD ve BSD test bulguları

Kireç (%)	Afşin-UÇK'lı numuneler (MPa)				İsken-UÇK'lı numuneler (MPa)			
	EĞD 7 gün	BSD 7 gün	EĞD 28 gün	BSD 28 gün	EĞD 7 gün	BSD 7 gün	EĞD 28 gün	BSD 28 gün
10	0	0	0	0	0	0	0,50	1,39
20	0	0	0	0	0	0	0,49	1,01
30	0	0	0	0	0	0	0,48	0,43
40	0	0	0,03	1,51	0	0	0,39	0,73
50	0	0	0,54	0,72	0	1,14	0,42	0,88
60	0	0	0,08	0,95	0	0,98	0,45	0,90
70	0	0	0,09	1,02	0	1,12	0,42	1,60
80	0	0,37	0,08	1,19	0	0,96	0,30	1,63
90	0,84	1,03	0,09	1,28	1,25	1,62	0,87	1,83
100	0,56	1,12	0,83	1,55	0,56	1,12	0,83	1,55

İsken-UÇK+kireç ile üretilen yapı panellerinde 7 gün içinde numuneler dağılmıştır. Numunelerin 28 günlük EĞD testinde en düşük (0,30 MPa) değer %40 kireç+%60 İsken-UÇK, en yüksek değer (0,87) MPa ise %90 kireç+%10 İsken-UÇK karışımında belirlenmiştir. 7 günlük en düşük BSD değeri (1,14 MPa) %50 İsken-UÇK+%50 kireç karışımında, en yüksek BSD değeri (1,12 MPa) ise %70 kireç+%30 İsken-UÇK karışımında tespit edilmiştir. 28 günlük en düşük BSD değeri (0,42 MPa) %70 İsken-UÇK+%30 kireç karışımından, en yüksek BSD değeri (1,83 MPa) ise %90 kireç+%10 İsken-UÇK karışımından tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

UÇK+çimentolu yapı paneli karışımlarında BHA deneyi bulguları:

Afşin-UÇK'lı karışım setlerinde %80 çimento+%20 Afşin-UÇK (1,89 g/cm³) ve %90 çimento+%10 Afşin-UÇK (1,89 g/cm³) BHA değeri en yüksek olan karışımlardır. İsken-UÇK'lı kombinasyonlarda BHA'sı en yüksek kombinasyonun değeri 1,96 g/cm³ olup %80 çimento+%20 İsken-UÇK karışımından ve 2,04 g/cm³ olup %100'lük çimentodan üretilmiştir (Şekil 4.5, Çizelge 4.4).



Atık küller (İsken-UÇK/Afşin-UÇK) ve Çimento

Şekil 4.5. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin BHA, porozite ve SE grafiği

UÇK+çimentolu yapı paneli numunelerinin porozite belirleme deneyinde:

Afşin-UÇK+çimentolu yapı paneli karışımlarında porozite değeri en yüksek (%40,3) %60 çimento+%40 Afşin-UÇK, İsken-UÇK'lı karışımlarda ise porozite değeri en yüksek (%43,9) olan karışım %10 çimento+%90 İsken-UÇK karışımıdır. %100'lük çimentodan üretilen yapı panelinde %37,4 porozite değeri ölçülmüştür (Çizelge 4.4, Şekil 4.5).

UÇK+çimentolu yapı panellerinde gerçekleştirilen SE tayini deneyinde:

Afşin-UÇK'lı yapı panellerinde SE değerinin en yüksek (%40,7) olduğu karışım %10 çimento+%90 Afşin-UÇK'dır. İsken-UÇK'lı karışımlarda ise SE değeri en yüksek (%39,3) olan karışım %10 çimento+%90 İsken-UÇK'dır. %100'lük çimentodan üretilen yapı panelinde SE değeri %26,1 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4, Şekil 4.5).

Çizelge 4.4. UÇK+çimento karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin BHA, porozite ve SE bulguları

Karışım Oranları (%)	Atık Kül Türü	BHA (g/cm ³)	Porozite (%)	SE %
10	Afşin-UÇK	1,30	38,3	40,7
20	Afşin-UÇK	1,46	37,6	39,0
30	Afşin-UÇK	1,59	36,9	38,9
40	Afşin-UÇK	1,71	38,1	31,9
50	Afşin-UÇK	1,74	39,1	34,0
60	Afşin-UÇK	1,78	40,3	33,1
70	Afşin-UÇK	1,85	34,1	36,0
80	Afşin-UÇK	1,89	35,7	30,3
90	Afşin-UÇK	1,89	34,7	29,2
10	İsken-UÇK	1,61	37,4	39,3
20	İsken-UÇK	1,73	43,9	36,4
30	İsken-UÇK	1,80	39,1	38,9
40	İsken-UÇK	1,86	40,9	34,9
50	İsken-UÇK	1,86	36,2	37,2
60	İsken-UÇK	1,90	36,6	32,1
70	İsken-UÇK	1,92	34,4	31,6
80	İsken-UÇK	1,96	33,3	30,4
90	İsken-UÇK	1,95	42,3	28,5
100	Çimento	2,04	37,4	26,1

UÇK+KPA'dan üretilen yapı panellerinin BHA deneyinde:

Afşin-UÇK'lı karışımlarda BHA değeri en yüksek (1,19 g/cm³) olan karışımlar %90 KPA+%10 Afşin-UÇK ve %80 KPA+%20 Afşin-UÇK'dır. İsken-UÇK'lı karışım setinde BHA değeri en yüksek (1,22 g/cm³) olan karışım, %90 KPA+%10 İsken-UÇK karışımıdır. %100'lük KPA karışımında BHA değeri 1,24 g/cm³'dür (Çizelge 4.5, Şekil 4.6).

UÇK+KPA'dan üretilen yapı panellerinde porozite deneyi, 3.2.6.2 bölümünde belirtilen nedenlerden dolayı, yapılamadığından Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6'da sunulmamıştır.

Çizelge 4.5. UÇK+KPA karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin BHA ve SE bulguları

Karışım Oranları (%)	Numune	BHA	SE (%)
10	Afşin-UÇK	1,08	26,8
20	Afşin-UÇK	1,09	28,1
30	Afşin-UÇK	1,11	28,9
40	Afşin-UÇK	1,12	26,7
50	Afşin-UÇK	1,14	23,1
60	Afşin-UÇK	1,12	25,7
70	Afşin-UÇK	1,13	24,1
80	Afşin-UÇK	1,19	23,2
90	Afşin-UÇK	1,19	22,3
10	İsken-UÇK	1,07	31,4
20	İsken-UÇK	1,02	36,9
30	İsken-UÇK	0,97	45,1
40	İsken-UÇK	0,99	38,4
50	İsken-UÇK	1,02	32,7
60	İsken-UÇK	1,02	25,9
70	İsken-UÇK	1,03	26,8
80	İsken-UÇK	1,19	25,9
90	İsken-UÇK	1,23	24,2
100	KPA	1,25	26,8

UÇK+kireç karışımlarından üretilen yapı panellerinde porozite ve SE deneyleri, bu tezin 3.2.6.2 ve 3.2.6.3 bölümlerinde belirtilen sebepten dolayı, gerçekleştirilmediğinden Çizelge 4.6’da gösterilememiştir.

UÇK+kireç karışımlarından üretilen yapı panellerinin BHA bulguları:

Afşin ve İsken UÇK’lı karışımlarda en yüksek BHA değerleri (1,22 ve 1,29 g/cm³) sırasıyla %90 kireç+%10 Afşin-UÇK, %90 kireç+%10 İsken-UÇK ve %80 kireç+%20 İsken-UÇK karışımlarında ölçülmüştür. %100 kireç kullanılarak üretilen yapı panelinin BHA değeri 1,22 g/cm³’dir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. UÇK+kireç karışımı kullanılarak üretilen yapı panellerinin BHA bulguları

Karışım Oranları (%)	Numune	BHA
10	Afşin-UÇK	1,07
20	Afşin-UÇK	1,09
30	Afşin-UÇK	1,12
40	Afşin-UÇK	1,15
50	Afşin-UÇK	1,16
60	Afşin-UÇK	1,16
70	Afşin-UÇK	1,17
80	Afşin-UÇK	1,19
90	Afşin-UÇK	1,21
10	İsken-UÇK	1,09
20	İsken-UÇK	1,17
30	İsken-UÇK	1,18
40	İsken-UÇK	1,20
50	İsken-UÇK	1,21
60	İsken-UÇK	1,22
70	İsken-UÇK	1,24
80	İsken-UÇK	1,29
90	İsken-UÇK	1,29
100	Kireç	1,22

BÖLÜM V

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında -alçının ve kirecin hızlı donan yapısından kaynaklanan UÇK'lar ile bir arada yapı paneli oluşturması problemi olduğundan-zaman, kıvam (yoğunluk) ve kombinasyon gibi çoğu faktör dikkate alınarak çok sayıda denemeler gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak değişik testler gerçekleştirebilmek için 3 gruptan oluşan iki defa özdeş özellikte olan yapı paneli üretimi yapılmıştır.

Çalışmada UÇK ve çimentolu karışımlardan yapı paneli üretiminde çimento miktarı artırılıp UÇK azaldıkça EĞD, BSD ve BHA değerlerinde artış, porozite ve SE değerinde ise düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir.

UÇK+KPA'lı yapı panellerinde UÇK miktarı arttıkça BSD değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Bu duruma KPA'nın UÇK'lara yeteri kadar bağlanamamasının neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada UÇK+kireç kullanılarak üretilen yapı panellerinde kireç oranı düştükçe BSD değerlerinin de düştüğü gözlemlenmiştir. Kireçli kombinasyonların hazırlanması sonrası kalıplara sıkıştırılarak döküldüğünde içerisindeki suyun kalıp yüzeyinden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Kireçli yapı paneli numunelerinde görülen bu durum, malzemenin içerisindeki gözenekli yapıyı ve çatlakları arttırarak EĞD ve BSD değerlerini düşürmüştür.

%100 KPA kullanılarak üretilen yapı panellerinin EĞD ve BSD değerlerinin UÇK'lı karışımlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. KPA ve kirecin UÇK ile kullanılması EĞD ve BSD değerlerini düşürmüştür. Bu durum, kireç ve KPA kullanımının yüksek nitelikli yapı paneli üretmeye elverişli olmadığı kanaatini oluşturmuştur.

Bu tez çalışmasında UÇK ve çimentolu karışımlardan yapı paneli üretiminde çimento miktarı artırılıp UÇK azaldıkça, EĞD ve BSD değerlerinde artış görülmüştür. UÇK+kireç kullanılarak üretilen yapı panellerinde kireç oranı düştükçe BSD

değerlerinin de düştüğü gözlenmiştir. UÇK+KPA'lı yapı panellerinde UÇK miktarı arttıkça BSD değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir.

Yıldız vd. (2005) yaptıkları çalışmada, KPA %10-15 oranında silis dumanı ile yer değiştirdiğinde, olumlu sonuç elde edildiğini deneyler sonucunda belirtmişlerdir. Bu oran sınırlaması arasında yapılacak değerlendirmelerle üretilen malzemenin değişik amaçlara yönelik kullanılabilmesini ifade etmişlerdir. KPA ve silis dumanının birlikte kullanılması halinde alçıdan %10 ile %15 arasında tasarruf edilebileceği ve bu sayede atık bir malzeme olan silis dumanının değerlendirilmesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu tezde de KPA ve %10 UÇK katkısı ile üretilen yapı panellerinde mekanik özellik olan EĞD ve BSD değerleri daha yüksek bulunmuştur. KPA ve UÇK'nın birlikte kullanılması durumunda bu parametreler açısından optimum sonuç alındığında KPA'dan %10 tasarruf edileceği ve endüstriyel katı atık olan UÇK'nın yapı paneli üretiminde değerlendirileceği ortaya konmuştur.

Lkhagva (2006) yaptığı çalışmada, farklı özellikli UÇK'lerden bentonit katkılı peletlerin üretilmesi, bu peletlerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması, betonun mekanik özelliklerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve UÇK kullanım alanlarını genişletme çabalarına katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma tez ile çevresel açılardan benzerlik göstermiştir.

Damar Tekin (2014) çalışması neticesinde, Kütahya/Tunçbilek Akçim UÇK ve Bağfaş Gübre Fabrikası atığı fosfojips ülkemizde endüstriyel atık olarak adlandırılan ve depolama masraflarının yanında büyük çevre kirliliğine yol açan malzemelerdir. Bu malzemelerin, özellikle taşıyıcı olmayan hafif izolasyon elemanların üretiminde kullanılmasıyla bu teze benzerlik göstermektedir.

Min vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada kür koşullarının dayanım gelişiminde çok önemli olduğu ortaya konmuştur. Kür koşullarının, uygulamalar için dikkatli bir şekilde göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir; bu tez çalışmasına benzer yöntemler kullanılmıştır.

Kılınçarslan ve Tuzlak (2018) araştırmalarında UÇK kullanılmasının köpük betonların BSD'si üzerine olumlu bir etki yaptığını tespit etmiş, yoğunluk artışına paralel BSD

değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında atık ve çevreye zararlı bir ürün olan UÇK'nın köpük beton tesislerinde değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir. Bu tezde de yapı panellerinin BHA değerleri arttıkça BSD değerleri artış göstermektedir ve UÇK'nın yapı paneli üretiminde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

UÇK'ların sebep olduğu çevre problemleri içerisinde tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgâr erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir (Gray, 1977). Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve hava kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Tokyay vd., 1998).

UÇK'nın su ile hidratasyonu sırasında oluşan temel kimyasal reaksiyonlar olarak belirlenen hidratasyon ürünleri Kalsiyum-Silikat-Hidratlar (C-S-H), Kalsiyum-Alüminat-Hidratlar (C-A-H), Kalsiyum-Alüminat-Silikat-Hidratlar (C-A-S-H), Kalsiyumalüminat-Kalsiyum-Sülfat-Hidratlar'dır (Turgut, 2012; Mindess et al., 2003). Yapı panellerinde en düşük BSD değerlerini İngiliz Standardı (BS 6073-Part 1) ve ASTM C90 Standardı sırasıyla 7,0 ve 11,7 MPa olarak vermektedirler. Yapılan bu yüksek lisans tezinde %80'den az katkılı UÇK+çimento ve UÇK+KPA ile üretilen tüm yapı panelleri söz konusu standartları sağlamaktadır.

Bu tezde endüstriyel atık kül katkısı ile standartlara uygun olarak üretilen yapı panellerinin binalarda normal yapı panellerine alternatif olarak kullanılmasıyla atık problemlerine çözüm getirmesi, ekonomiye katkıda bulunması, çevre kirliliğini azaltması ve ürün olarak ülkeye katma değer sağlamasıyla faydalı bir ürün oluşumu ile doğal hammadde korunumu sağlanmış olacaktır. Çalışmada kömür kullanan TES'lerin atıkları yeniden kullanım (reuse) prensibi ile inşaat sektörüne yönelik yapı paneline dönüştürüldüğü için, son zamanlarda temiz üretim anlayışının artmasıyla gelişme gösteren araçlardan biri olan endüstriyel simbiyoz yaklaşımına yönelik bir tezdır. Atık tamamen ürüne dönüştürüldüğü için sıfır atık felsefesini de desteklemektedir. Yapı malzemelerinde BSD değerinin yüksek sonuç vermesi istenilen en önemli özelliklerden birisidir. Bu tezde üretilen BSD'si yüksek ve BHA'sı düşük yapı panelleri, hafif yapı malzemesinde yüksek mukavemet sunma gibi önemli bir özellik taşımaktadır; seri olarak üretilmesi durumunda katı atık sorununun çözümüne, ekonomiye ve insan sağlığına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdun-Nur, E. A., “Fly ash in concrete: an evaluation”, *Highway Research Board Bulletin*, No.28, 138 s, Washington D.C., 1961.

Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. and Massoud, F.I., “Salt- affected soils and their management”, *FAO Soils Bull.*, No:39, 1988.

Açıkgöz, Y., Uçucu küllerin beton kilitli parke taşı üretiminde kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2008.

Adıgüzel Y., Uçucu kül kullanılarak içme sularından adsorpsiyon yöntemi ile fosfat giderimi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bil. Ens.*, Erzurum, 2001.

Agamuthu, P. and Alamin, M., Waste characterization and solidification stabilization studies, Centre of environmental studies and management, *University of Malaya*, Malaya, 2001.

Aitcin, P.C. “Comparative study of the cementitious properties of different fly ashes”, *Proceeding of Second International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*, Madrid, 91-114, 1986.

Akagündüz E., Kompozit sürtünmeli fren balatalarında yerli uçucu kül katkısının raylı taşıt balata özelliklerine etkisinin incelenmesi ve kullanılabilirliğinin saptanması, Doktora Tezi, *Y. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2014.

Alataş, T., Afşin Elbistan termik santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda çeşitli maddelerle birlikte kullanımı üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1996.

Altunay V., Boyar maddelerin gideriminde değişik adsorbanların kullanımının araştırılması: Zeolit ve uçucu kül, Y. Lisans Tezi, *Hacettepe Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara. 2010.

Alkaya, D., “Uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılmasının incelenmesi”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 5, No: 1, 61-72 s, 2009.

Anonim, Türk Standartları Enstitüsü 639. Uçucu küller standardı, *Türk Standartları Enst.*, Ankara, 16 Nisan 2008, <http://www.ekutuphane.imo.org.tr/pdf/11705.pdf>, 1975.

Anonim, Lisans Tezi, S.Ü. Mühendislik Fakültesi, *Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü*, 2005.

Aruntaş, H., Y., “Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyelleri”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (1), 193-203, 2006.

ASTM C 618-80, Fly Ash and Row or Calcined Naturel Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concretel, *Annual Book of ASTM Standarts*, VoL14, pp. 381-384,1980.

ASTM C 618, Specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete, *Annual Book of ASTM Standart*, 1991.

ASTM C 618, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete, *Annual Book of ASTM Standard*, No: 04.02., 20, 2000.

ASTM C90-11b., Standard specification for loadbearing concrete masonry units, *ASTM International*, 2011.

Baradan, B. Yapı malzemesi-II, genişletilmiş (6. Baskı), *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İzmir, 1996.

Baradan, B. Beton, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 2012.

Bayazıt, Ö.L., Tunçbilek uçucu küllerinin betonun fiziko – kimyasal ve mekanik özelliklerine etkileri, Doktora Tezi, *Ankara Devlet Mimarlık- Mühendislik Akademisi*, Ankara, 1980.

Benson, W.H. and Birge, W.J., Heavy metal tolerance and metallothionein induction in fathead minnows, *Results from field and laboratory investigations*, Environ. Toxicol. Chem. 4:209-217,1985.

Berry, E.E., Hemmings, R.T. and Comelius C., Speciation in size and density fractionated fly ash. The influence of HCl leaching on the glassy constituents of a high-Ca fly ash, *Materials Research Society Symposia Proceedings*, Fly Ash and Coal Conversion by-Products: Characterization, Utilization and Disposal, vol:113,1988.

British Standards Institution., Specification for precast concrete masonry units, BS 6073: Part 1, 1981

Can Y.M., Mikrofiltrasyonla uçucu kül kullanılarak atıksulardan fosfat giderimi, Y. Lisans Tezi, *Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 2002.

Combs, G.F., Maudisodza, J. K.T., Gutenmann, W.FI. and Lisk, D.J., Utilization of selenium in fly ash and in white sweet clover grown on fly ash by the chick, J. Agric. *Food Chem.* 29:149-152, 1981.

Çakır S., Endüstriyel atıksulardan Ni (II), Zn (II), Cd (II) ve Cu (II) iyonlarının uçucu kül, klinoptildit ve baca tozu kullanılarak uzaklaştırılması, Y. Lisans Tezi *Ondokuz Mayıs Üni. , Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1997.

Çakır, M., Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 1999.

Damar Tekin, S., Uçucu kül-kireç bağlayıcısının alçı ile aktivasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2014.

Daniels, L. W. and Zelanzky, L., "Characterization of acid leaching reactions in coal refuse/ coal fly ash bulk blends", *Proceedings of 1999 International Ash Utilization Symposium*, University of kentucky center for applied energy research, Lexington, KY USA, Oct. 1999.

De Vleeschauwer, I.D. and Imler, R., Vegetation establishment on fly ash ponds by means of hydroseeding, In K.J.A. De Waal and W.J. Van Den Brink (ed.), *Environmental tecnology. Martiuns Nijhoff Publishers*, Dordrecht, the Netherlands, p.352-354. 1987.

Demirbas, A. and Aslan, A., "Evaluation of lignite combustion residues as cement additives", *Cem. Concr. Res.* v. 29, pp. 983-987, 1999.

Dinçyürek Ö., Termik santral uçucu kül tiplerinin atıksulardaki fenolün adsorpsiyon yöntemi ile giderim etkilerinin karşılaştırılması, Y. Lisans Tezi, *Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2006.

Duggan, J.C. and D.H. Scanlon, "Evaluation of municipal refuse compost for ash ponds stabilization", *Compost Sci.*, 15:26-30, 1974.

Ecoba. Information Bulletin. Italy, 2001.

EIE. "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanılma olanakları". Ankara, 1979.

EIE. "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EIE Yayını. 82. 21-28. Ankara, 1982.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi. Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanım olanakları, Ankara, 1979.

Eren Z. ve Acar F. N., Uçucu kül adsorpsiyonu ile reaktif boya giderimi, *Atatürk Üni., Müh. Mim. Fak.*, Cilt 10 Sayı 10, 253-258, Erzurum, 2004.

Erdirinç, M., Uçucu küllü betonlarda dayanım ve beton geçirimsizliği, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi*, Haziran 1995.

Eriç, M., *Yapı Malzemeleri*, Cilt II, Kazmaz Matbaası, İstanbul, 367, 1978.

Erdoğan, T.Y., “Atık hammaddelerin inşaat endüstrisinde kullanımı uçucu kül ve yüksek fırın cürufu”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu*, 1-8, Ankara, 1993.

Erdoğan, T. Y., Beton., Ankara: Metu Press (1. Baskı), 2003.

Erdoğan, E., Çimentoya bor katkısı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ilavesiyle özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Y. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Erdoğan, T.S. ve Erdoğan, T.Y., “Kimyasal katkı maddeleri ve tarihi geçmişleri”, *II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 23-34, Ankara, 2007.

Erşan, H., Uçucu küllerin siltli zeminlerin kayma mukavemeti üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İ T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 75 s., İstanbul, 1996.

Gikunoo, E., Effect of fly ash particles on the mechanical properties and microstructure of aluminium casting alloy A534, Master of Science, *University of Saskatchewan, The College of Graduate Studies and Research*, Saskatchewan, Canada, 2004.

Göktürk, M., Alçı üretimi yapan bir tesisin enerji, ekserji ve eksergo ekonomik analiz yöntemiyle performansının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.

Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M.S. ve Demir, İ., “Uçucu kül bölüm II: kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikler”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5*, No: 2, (33-42), 2009.

Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü. ve Mordoğan, H., “Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları”, *19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir, IMCT 2005, 419-423, 09-12 Haziran, 2005.

Gürdal, E., Kuzey ve orta anadolu alçıları üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 44-48, 1976.

Hjelmar, O., Leachate from land disposal of coal fly ash, *Waste Manage. Res.*, 8:429-449,1990.

Hüsem, F., Alçı taşının transformasyonu ve etki eden unsurlar, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2014.

Hycnar, J., Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags, *UNEP/USSR*, Donetok, 1983.

Joshi, R.C. ve Nagaraj, T.S., Fly ash utilization for soil stabilization, *Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks*, 77-93, 1987.

Kefelioğlu. S., Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanılma imkanları, *Teknoloji Dergisi*, Ankara, 19-77, 1998.

Kılınçarslan, Ş. ve Tuzlak, F., “Uçucu kül katkılı köpük betonların dayanım ve isi iletkenlik özelliklerinin incelenmesi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, Sayı: 2, Cilt: 1, (2018), Sayfa: 1-5, 2018.

Koçak, H., Ş., Kütahya Emet Borik asit işletmesi bor atıklarının alçı levha üretiminde kullanılması, Y. Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 25-29, 2010.

Kosmatka, Steven H., Voigt, Gerald F. and Taylor P., Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual, *Center for Transportation Research and Education Iowa State University*, p.69-104, 2006.

Kopsick, D.A. and Angino, E.E., Effect of leachate solutions from fly and bottom ash on ground water quality, *J. Hydrol*, 54:341-356, 1981.

Kökipek, B., Suni alçının çimento üretiminde kullanılabilirliği, Yüksek lisans tezi, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2010.

Kronberg, B. I., Brown, J. R., Fyfe, W. S., Pierce, M. and Winder, C. G., Distributions of trace elements in western canadian coal ashes, *Fuel, Vol 60*, No:1, pp. 59-63, 1981.

Kumar, V., Fly ash utilization. a mission mode approach in ash ponds and disposal systems. Raju, V.S., Dutta, M., Seshadri, V., Agarval, V.K.& Kumar, V., Eds. *Narosa Publishing House*, New Delhi, 365, 1996.

Lkhagva, T., Uçucu küllerin agrega olarak beton üretiminde kullanılması, Yüksek lisans tezi, *Y. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Iyer, R. S. and Scott, J. A., Power station fly ash – a review of value – added utilization outside of the construction industry, Resources, *Conservation and Recycling*, 31, 217-228, 2001.

Mangat, P. S. and El-Khatip, J. M., “Influence of initial curing on sulfate resistance of blended cement and concrete”, *Cem. Concr. Res.* V. 22, 1089- 1100, 1992.

Manz, O.E., Coal fly ash: a retrospective and future look, *Fuel*, Cilt 78, No 2, 133-136, 1999.

Matsunaga, T., Kim, J.K., Hardcastle, S. and Rohatgi, P.K., Crystallinity and selected properties of fly ash particles, *Materials Science&Engineering*, 333-343, 2002.

Mattigod, S.V., Rai D., Eary L.E. and Ainsworth C.C., Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues:1. Review of the major elements, *J. Environ Qual.* 19:188-201, 1990.

Mehta, Kumar P. and Monteiro, Paula J.M., Concrete: microstructure, properties and materials, *McGraw-Hill*, 2006.

Mehta, P. K., Effects of fly ash composition on sulfate resistance of cement, *ACI Journal*, V. 83, 994-1000, 1986a.

Mehta, P.K., Concrete- structure, properties, and materials, *Prentice-Hall, New Jersey*, 1986b.

Min, Y., Jueshi, Q. and Ying P., Activation of fly ash–lime systems using calcined phosphogypsum, *Construction and Building Materials*, 1004-1008, 2008.

Mindess, S., Young, J. F. and Darwin, D. Concrete, Prentice Hall, *Upper Saddle River*, N. J., USA, 2003.

Morrison. R.E., “A review of ash specifications”, *Symposium on Fly Ash Utilization*, Pittsburgh, pp. 24-31, 1970.

Murarka, I.P., Mattigod, S.V. and Keefer R.F., An overview of electric power research institute (EPRI) research related to effective management of coal combustion residues, In R.F. Keefer and K. Sajman (ed.) Trace elements in coal and coal combustion residues, *Advances in Trace Substances Research book series*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1993.

Naik, T.R. Singh, S. S. and Hossain, M.M., Abrasion resistance of concrete as influenced by inclusion of fly ash, *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, No. 2, pp 303-312, 1994.

NETL National Energy Technology Laboratory, Clean coal technology: Coal utilization by-products, *DC: Department of energy office of fossil energy; topical report no. 24*, Washington, August, 2006.

Ovens. P.L., Fly ash and its usage in concrete, *Concrete*, GBt, 13. no. 7. 21-26, 1979.

Öksüz, K., Afşin Elbistan termik santrali uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2006.

Özdemir, O., Uçucu külün yapı malzemelerinde bağlayıcıya etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2007.

Pike, G. and McLean, “Federal highway administration research and technology”, Coordinating, developing, and delivering highway transportation innovations, *Office of research, development, and technology*, Office of infrastructure, RDT, 97-148, Washington, 2016.

Poon, C.S. and Perry, R. ‘Studies of Zinc, Cadmium Mercury Stabilization in OPC/PFA’ in Fly ash and Coal Conversion By: *Product: Characterization, Utilization and Disposal-III Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol:86 P:6776*, 1987.

Sarı B., Bayat B., Evsel atıksuların fizikokimyasal arıtımında uçucu külün koagulant olarak kullanım olanakları, *Müh. Mim. Fak., Çukurova Üni.*, Adana, 2000.

Satapathy, L.N., A study on the mechanical, abrasion and microstructural properties of zirconia-flyash material, *Ceramics International*, 26, 39-45, 2000.

Seals. R.K., Properties of bottom ash/boiler slag and fly ash, Short course, *Technology and utilization of power plant ash*, p.59, 1977.

Sevim, U.K., Afşin-Elbistan uçucu külünün beton ve çimento katkısı olarak kullanılabilirliğinin çimento hamuru ve harçlarının üzerinde Yapılacak deneylerle araştırılması, Doktora Tezi, *Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2003.

Sheps, S. and Cohen, H., “Evaluation of the leaching potential of trace elements from coal ash to the (groundwater) aquifer”, *Proceedings of 1999 International Ash Utilization Symposium*, University of Kentucky Center for Applied Energy Research, Lexington, KY USA, Oct. 1999.

Shibaoka, M., “Ramsden, A. R., Microscopic Investigation of the behaviour of inorganic material in coal during combustion”, *Proceedings of the International Conference on Ash Deposits and Corrosion Due to Impurities in Combustion Gases* (R.W. Breyers, ed.), New Hampshire, pp. 3-19, June 26-July 1, 1977.

Sütçü L., Uçucu kül kullanılarak borun sulardan uzaklaştırılması, Y. Lisans Tezi, *İzmir Yük. Tek. Ens. Fen Bil. Ens.*, İzmir, 2005.

Şengül, Ü., Uçucu kül ve çevresel etkileri, *Fen Bilimleri Dergisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi*, 89-104s, Afyonkarahisar, 2007.

Theis, T.L., Ripp, J.A. and Villaume, J.F., “Physical and chemical characteristics of unsaturated pore water and leachate at a fly ash disposal site”, p. 161-172. *In 43rd Purdue Industrial Waste Conf. Proc. Lewis Publishers*, Chelsea, MI, 1989.

Tikal'sky, P. J. and Carrasquillo, R. L., Influence of fly ash on the sulfate resistance of concrete, *ACI Materials Journal*, 89, 69-75, 1993.

Tokyay, M., “Betonda uçucu kül kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu*, 29-36, Ankara, 1993.

Tokyay, M. ve Erdoğan, K., Uçucu küllerin karakterizasyonu, TÇMB AR-GE/Y 98.3, Ağustos, 1998.

Totyay. M., Termik santral küllerinin çimento ve beton katkı maddesi olarak kullanılma imkanlarının etüd ve envanter projesi sonuç raporu, Ankara, 1980.

TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.

Turgut, P., Fly ash block containing limestone and glass powder wastes, *KSCE journal of civil engineering*, 17(6):1425-1431, 2012.

Tuzcu Tuğcan E., Atık sularındaki ağır metallerin uçucu kül kullanılarak uzaklaştırılması, Y. Lisans Tezi, *Orta Doğu Tek. Üni. Fen. Bil. Ens.*, Ankara, 2005.

Türker, P., Erdogan, B., Katnas, F. ve Yeginobalı, A., Türkiye’de uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Üreticileri, 23 Ocak 2014, <http://www.ekatalog.co/yayinlar/tcmb/ekatalog/06/files/publication.pdf>, 2009.

Ulubaş, T. ve Arık, İ.Ç., Uçucu külün kullanım alanları, bitirme ödevi, *İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak.*, İstanbul, 1998.

Ulubaş, T., Uçucu küllerin ağır metal (Cu²⁺, Pb²⁺) gideriminde kullanım, Y. Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens.*, İstanbul, Haziran 2000.

URL-1,”Alçider Türkiye Alçı Üreticileri Derneği”, <http://www.alcider.org.tr/dunya/>, 1992.

URL-2, “GN İnşaat”, <https://www.gninsaat.com.tr/cimento-nedir,2017>.

URL-3, “Bilgicem” <http://bilgicem.com/kimya/kirec-nedir-kirecin-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari-nelerdir/>, 2018.

Vorres, K. S., Mineral matter and ash in coal, americal chemical society, Washington, 1984.

Xu, A., “Fly ash in concrete”, Part-3, *Waste Materials Used in Concrete Manufacturing*, Editor: Satish Chandra, Sweden, 1997.

Yazıcı, H., Termik santral atığı yapay alçı-uçucu kül-taban külü esaslı yapı malzemesi geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 2004.

Yıldız, S., Yalınbaş M. ve Keleştemur O., “Silis dumanı katkılı yapı alçılarında eğilme çekme dayanımının araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 20, No 3, 395-399, 2005.

Yılmaz, Ş., Seyitömer termik santral atık uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1992.



ÖZ GEÇMİŞ

Hatice AKBULUT 12.08.1992 tarihinde Seyhan (Adana)'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2011 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı.



TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet ulusal ve 1 (bir) adet uluslararası makale ile 1 (bir) adet ulusal ve 3 (üç) adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Doğan-Sağlamtimur, N., Bilgil, A., Cila, T., Dursun, M., Yıldırım, G., Akbulut, H., Doğuç, Ü., Erkekli, K., Yıldırım, S., 2016. “Göknur A.Ş. Niğde Fabrikası Kazan Altı Küllerinden Çimento Bağlayıcılı Hafif Yapı Elemanı Üretimi”, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 1, 1, 50-57, ISSN: 1302-5627.

Doğan-Sağlamtimur, N., Bilgil, A., Dursun, M., Akbulut, H., Erkekli, K., Yıldırım, S., 2016. “Production of Pumice-Based Lightweight Material using Coal Bottom Ashes from Two Industrial Factories in Niğde (Turkey)”, *International Journal of Engineering Research and Science (IJOER)*, ISSN 2395-6992, 2, 12, 47-54.

H. Akbulut, N. Doğan-Sağlamtimur, F. Çelik, S. Ertürk, V. Bozkurt, G. Yıldırım, 2018. “Building Panel Production from Waste Ashes: A Constructional Solution for Environmental Pollution”, *Book of Abstracts of International Symposium Ecology 2018*, ISBN: 978-605-4697-17-5, pp. 604, Kastamonu, Turkey, 19-23 June 2018.

N. Doğan-Sağlamtimur, A. Bilgil, M. Dursun, H. Akbulut, K. Erkekli, S. Yıldırım, 2015. “Producibility of Pumice-Based Lightweight Material from Bottom Ash Supplied from Two Industrial Factories: Experimental Study”, *1st International Conference on Sea and Coastal Development in the Frame of Sustainability (MACODESU 2015)*, pp. 107, Trabzon, 18-20 September 2015.

N. Doğan-Sağlamtimur, A. Bilgil, M. Dursun, H. Akbulut, S. Yıldırım, 2015. “Producibility of Cement-Based Lightweight Construction Material from Coal Bottom Ash of the Bor Sugar Factory (Turkey)”, *International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE Cappadocia 2015) Conference Book*, pp. 252, Nevşehir, Turkey, 20-23 May 2015.

Doğan-Sağlamtimur, N., Bilgil, A., Cila, T., Dursun, M., Yıldırım, G., Akbulut, H., Doğu, Ü., Erkekli, K., Yıldırım, S., 2015. “Göknur A.Ş. Niğe Fabrikası Kazan Altı Küllerinden Çimento Bağlayıcılı Hafif Yapı Elemanı Üretimi”, **11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi**, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları, Cilt: 1, s. 111-120, ISBN: 978-605-01-0745-6, Bursa, 15-17 Ekim 2015.



