



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



UÇUCU KÜLLERİN BİMS BLOK
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Serhat DENKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Serhat DENKTAŞ tarafından hazırlanan “Uçucu Küllerin Bims Blok Üretiminde Kullanımı” adlı tez çalışması 09/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Sadık Alper Yıldızel

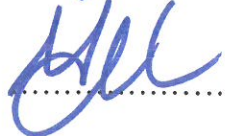

Danışman

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

Üye

Doç. Dr. Ali Köken

İmza


.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 191004008 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Serhat DENKTAŞ

Tarih: 09/09/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜLLERİN BİMS BLOK ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Serhat DENKTAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

2019, 92 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

Doç. Dr. Ali KÖKEN

Dünyada termik santralin bir yan ürünü olan uçucu küller, çoğu zaman çevre üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Dünyada birçok ülke yan ürün olarak nitelendirilebilecek bu atığı farklı alanlarda kullanmak için çeşitli Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir. Avrupa ülkelerinde açığa çıkan bu uçucu küller, çimento üretimi, beton üretimi, yol dolgu malzemesi, çeşitli inşaat malzemeleri üretimi gibi farklı alanlarda kullanırken, ülkemizde çok az bir kısmı inşaat sektöründe kullanılabilir. Ülkemizde bu yan ürün olabilecek atık, çoğunlukla santral çevresindeki alanlarda depolanmaktadır. Bu depolama işlemi, tesisler için ilave maliyet getirdiği gibi kimi zaman da çevre kirliliğine yol açmaktadır.

Tezin hazırlanması sürecinde yapılan araştırmalar, termik santral atığı olan uçucu küllerin farklı alanlarda kullanılmasının uygun olduğunu bizlere göstermiştir. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde bu malzemenin çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilirliğini, yapılacak Ar-Ge faaliyetlerinin ise bu doğrultuda götürülmesinin daha uygun olacağını kantılar niteliktedir. Bu bağlamda tez çalışmaları, çimento yerine %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ikame edilerek bims blok üretimi denemeleri yapılmıştır. Üretilen deney numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık ve basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Bulgular incelenmiş ve tez sonucuna varılmıştır. Tez değerlendirmesinde ayrıca maliyet analizi yapılarak, elde edilen sonuçların ülke ekonomisine sağlayacağı fayda hesaplanmıştır.

Uçucu küllerin farklı alanlarda kullanılması ile öncelikle çevre kirliliği önlenmiş, insan sağlığına olan yan etkileri azaltılmış olacaktır. Atıkların kullanımı ile ülke ekonomisine değer katacak yan ürünlerin üretilmesi mümkün olacaktır. Böylelikle daha ekonomik yapıların yapılmasına olanak sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Termik Santral, Uçucu Kül, Bims Blok, İkame Katkı, İnşaat Sektörü.

ABSTRACT

MS THESIS

THE USE OF FLY ASHES IN BIMS BLOCK PRODUCTION

Serhat DENKTAŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

2019, 92 Pages

Jury

**Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Doç. Dr. Ali KÖKEN**

Fly ash, a by-product of the thermal power plant in the world, often has a negative impact on the environment. Many countries in the world carry out various R & D studies to use th/is waste, which can be considered as by-product, in different fields. While fly ash, which is released in European countries, can be used in different fields such as cement production, concrete production, road filler material and various construction materials production, only a small part of it can be used in the construction sector in our country. In our country, this by-product waste is mostly stored in areas around the power plant. This storage process creates additional costs for plants and sometimes causes environmental pollution. Research conducted during the preparation of the thesis has shown us that it is appropriate to use fly ash with thermal power plant waste in different areas. When physical and chemical properties of fly ash are examined, it can be used as cement substitute material and it is more appropriate to carry out R & D activities in this direction. In this context, thesis studies, 20%, 30% and 40% instead of cement fly ash substitutes pumice block production experiments were made. Unit volume weight and compressive strength tests were applied on the produced test samples. The findings were examined and the thesis was concluded. In the thesis evaluation, cost analysis was performed and the benefit of the results to the national economy was calculated. By using fly ash in different areas, firstly environmental pollution will be prevented and side effects on human health will be reduced. By using wastes, it will be possible to produce by-products that will add value to the national economy. Thus, more economic structures will be provided.

Keywords: Thermal reactor, Fly Ash, pumice block, substitution additive, construction sector

ÖNSÖZ

Bilimin ve bilgiye ulaşmanın öneminin giderek arttığı çağımızda, benim de bilime katkıda bulunmamda yardımcı olan, bilgisini benimle paylaşan ve desteğini benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince tesislerini ve laboratuvarlarını kullandığım, yenilikçi ve modern düşünceye sahip Tınkır Bims tesisleri sahipleri ve çalışanlarına, yıllarını laboratuvar çalışmalarına vermiş, özverili yaklaşımlarından dolayı Sayın Hasan Teker'e, teşekkür ederim.

Çalışmamın hazırlanışında bana her türlü maddi ve manevi imkânı sağlayan şirketimin değerli yöneticileri ve kıymetli çalışma arkadaşlarıma, her zaman yanımda olan değerli aileme teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Serhat DENKTAŞ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	16
3. MATERYAL	27
3.1. Deney Numunelerinin Özellikleri.....	28
3.2. Briket Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	30
3.2.1. Uçucu Kül Özellikleri	30
3.2.2. Pomzanın Özellikleri	32
3.2.3. Agreganın Özellikleri	33
3.2.4. Karma suyu Özellikleri	35
3.2.5. Çimento Özellikleri.....	36
4. YÖNTEM	38
4.1. Numunelerin Karışım Oranlarının Belirlenmesi.....	38
4.2. Numunelerin Üretim Metodu.....	40
4.2.1. Pomzanın Hazırlanması	41
4.2.2. Agreganın Hazırlanması	43
4.2.3. Çimentonun Hazırlanması	44
4.2.4. Karışım Suyunun Hazırlanması	44
4.2.5. Uçucu Külün Hazırlanması.....	45
4.3. Karışımın Hazırlanması	46
4.4. Kalıplama ve Presle Ürünün Basılması	47
4.5. Kurutma ve Kür Uygulaması	49
4.6. Kalite Kontrol ve Ambalajlama	51
4.7. Numuneler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar	52
4.7.1. Boyut ve Tolerans Analizi	53
4.7.2. Konfigürasyon ve Görünüş Analizi	55
4.7.3. Birim Hacim Ağırlık Analizi	56
4.7.4. Basınç Dayanım Analizi	56
5. MALİYET ANALİZİ	68
5.1. Tesisin Çalışma Prensibi ve Yenilikler.....	68
5.2. Maliyet Analizi Hesabı	69

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
6.1. Sonuçlar	74
6.2. Öneriler	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	81



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- Al_2O_3 : Alüminyum oksit
 CaO : Kalsiyum oksit, sönmemiş kireç
 Fe_2O_3 : Demir (III) oksit
kWh : kilowatt saat
 K_2O : Potasyum oksit
MW : Megawatt = 1.000 kilowatt (kW)
 MgO : Magnezyum oksit
 Na_2O : Sodyum oksit
 SiO_2 : Silisyum dioksit, silika
 SO_3 : Sülfür trioksit
 TiO_2 : Titanyum oksit
TWh : Terawatt saat = 1.000.000.000 kilowatt saat (kWh)

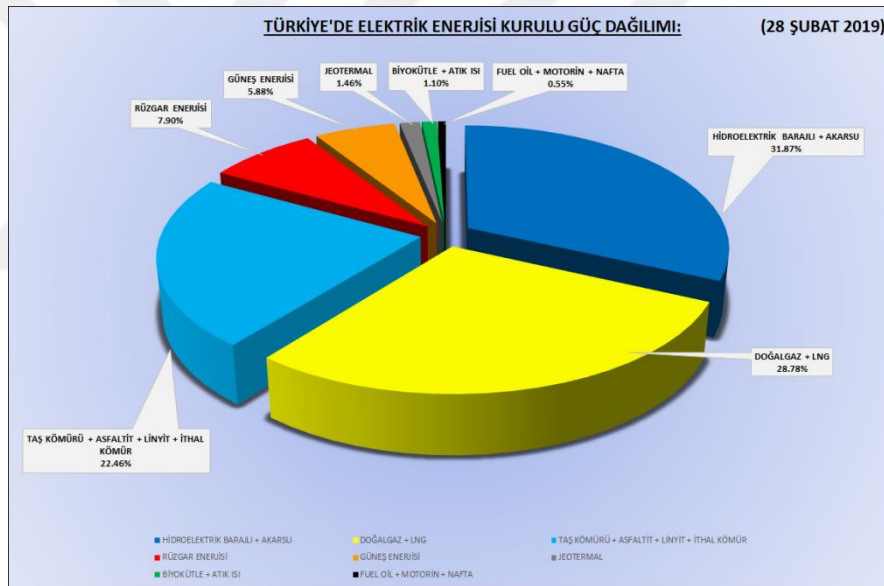
Kısaltmalar

ASTM	: (American Society for Testing and Materials) C 618
BES	: Biyokütle (Biyogaz) Enerji Santrali
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetreküp
dk	: Dakika
dm ³	: Desimetreküp
gr	: Gram
GES	: Güneş Enerji Santrali
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
l	: Litre
m ³	: Metreküp
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MPa	: Megapascal
N	: Newton
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
s	: Saniye
TS EN 197	
TS 639	
TS 640	
TS EN 450	
TS EN 451-1	
TS EN 451-2	
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
UK ₀	: Uçucu kül ikamesiz harç
UK ₂₀	: %20 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç
UK ₃₀	: %30 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç
UK ₄₀	: %40 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç

1. GİRİŞ

Ülkemizin elektrik ihtiyacı, hidroelektrik santrallerinden, yerli ve ithal kömürle çalışan termik santrallerden, motorin, fueloil ve doğalgaz gibi sıvı yakıtlı çevrim santrallerinden karşılandığı gibi, Rüzgar Enerji Santrali (RES), Güneş Enerji Santrali (GES), Jeotermal Enerji Santrali (JES) ve Biyogaz Enerji Santrali (BES) gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile de sağlanmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (2019) verilerine göre 2019 yılında üretilen elektriğin, %22,46'sı kömürden, %28,78'i doğal gazdan, %31,87'i hidroelektrik enerjiden, %7,9'u rüzgârdan, %5,88'i güneşten, %1,46'sı jeotermal enerjiden ve %1,65'i diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 1.1'de kurulu gücün dağılımı TEİAŞ kaynakları kullanılarak doğrulanmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

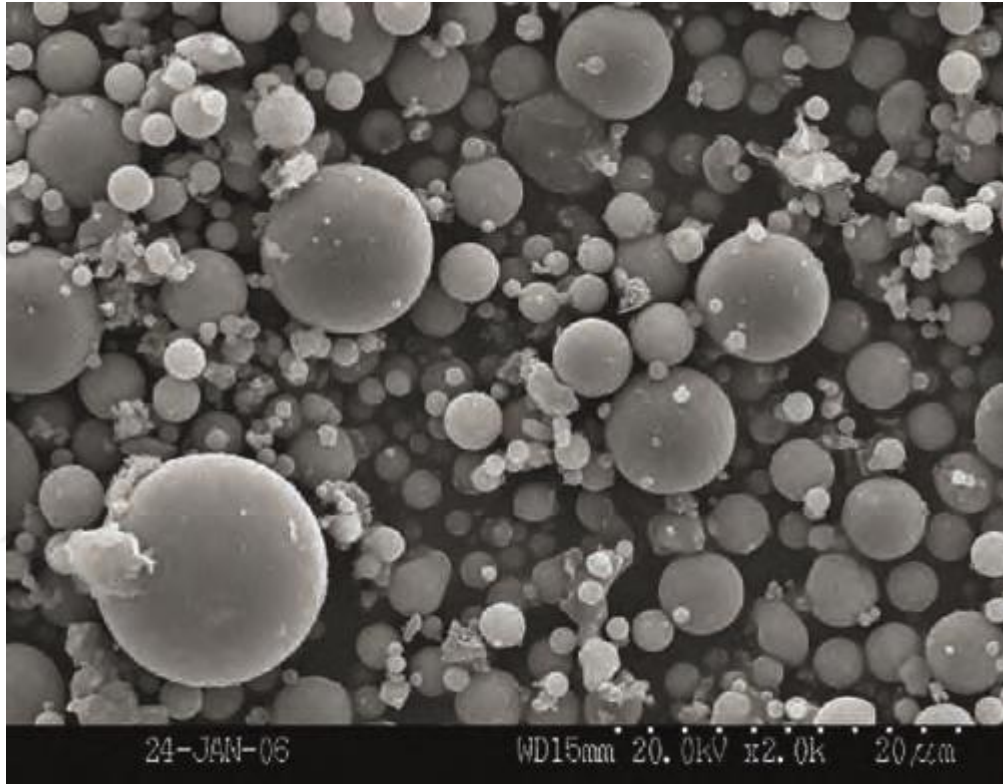


Şekil 1.1. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı
(<https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>)

Bakanlık bilgileri ışığında, ülke olarak, ihtiyacımızın nerede ise yarısını karşılayan termik santrallerin çalışmasına oldukça çok ihtiyacımız vardır. Ülkemizdeki termik santraller ithal veya yerli linyit kömürü, fueloil, motorin, doğalgaz vb. yakıtları kullanarak, bu yakıtların kimyasal enerjisini ısı enerjisine, ısı enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjisini de elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

Bakanlık verilerine göre 2018 yılı itibari ile 42 adet kömür ile çalışan termik santral vardır. Termik santrallerde kullanılan yerli veya ithal kömürün toz haline

getirilmesinden, kurulumuna bağılı olarak farklı türde kazanlarda yanmasından ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Elektrik üretiminin gerçekleşmesi esnasında, bacalardan atılmak üzere olan gazın elektro filtreler vasıtası ile tutulması sonucu çok ince yapıda uçucu kül elde edilmektedir. Bu kül tanecikleri, 0,5-200 mikron arasında ölçülere sahip camsı ve küresel yapıdadır. Şekil 1.2’de uçucu küllerin mikroskop ortamında çekilmiş fotoğrafları bulunmaktadır. Kazan altında kalan iri parçalı atık ise taban külü veya cüruf olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.2. Uçucu kül tanelerinin mikroskobik görünümü
([Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri-TÇMB Ar-Ge Y03.03-Temmuz,2009,Ankara](#))

Uçucu küller, çimentodan daha koyu ve gri renkte, özgül yüzeyi ise çimento inceliğine yakındır. Uçucu külün renginin çimentoya göre daha açık veya daha koyu renkte olması termik santralin kurulumunda belirlenen kazanın ve termik santrale gelen kömürün türüne göre değişiklik gösterir. Linyit kömüründen elde edilen küller genellikle daha koyu gri rengindedir. Uçucu küllerin yoğunluğu $2.2-2.7 \text{ g/cm}^3$ dolaylarındadır (Aruntaş, 2006).

Uçucu küller, ASTM C 618 standardına göre F ve C sınıfı uçucu küller olarak ikiye ayrılmıştır. F sınıfı küller, $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını sağlayan, bitümlü

kömürden elde edilen küllerdir. $\text{CaO} < \%10$ olduğu için düşük kireçli olarak da nitelendirilir. C sınıfı küller ise, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlayan, genelde linyit kömüründen elde edilir ve $\text{CaO} > \%10$ olduğu için yüksek kireçli olarak da nitelendirilir.

Türk Standartları Enstitüsü ise uçucu küllerin sınıflandırmasını V Sınıfı (Silisli), W Sınıfı (Kalkersi) olarak yapmıştır. V sınıfı uçucu küllerde, CaO oranının $\% 10$ dan az, Silisyum miktarının da $\% 25$ den fazla olması gerekmektedir. W sınıfı uçucu küllerde ise CaO oranının $\% 10$ dan fazla, Silis miktarının $\% 25$ den fazla olması gerekmektedir. TSE, yapılan araştırmalar ve Ar-Ge faaliyetleri sonucunda beş adet standart yayınlamıştır. Bunlar TS639, TS640, TS EN 450, TS EN 451-1 ve TS EN 451-2 standartlarıdır. Bu standartlardan bazıları Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde yürürlükten kaldırılmıştır. Günümüzde TS EN 197-1 ve TS EN 197-2 standartları genel çimento sınıflarının bileşimini, özelliklerini ve uygunluk kriterlerini içeren tamamlayıcı niteliktedirler (Aruntaş, 2006).

Kömürün yanması sonucu ortaya çıkan toplam kül miktarının yaklaşık $\% 75-80$ 'i uçucu küllerden oluşur. Ülkemizin elektrik ihtiyacının $\% 37,3$ 'ünü karşılayan termik santrallerde yılda yaklaşık 15-20 milyon ton uçucu kül elde edilmektedir. Dünyada birçok ülkede, başta Çin, Amerika ve Hindistan olmak üzere üretilen uçucu küllerin $\% 80$ 'ini çimento ve beton üretiminde, inşaat malzemeleri üretiminde kullanırken, ülkemizde sadece $\% 2-3$ oranında çimento ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Oysaki yapılan araştırmalar uçucu küllerin çimento üretiminde hammadde ve katkı olarak, beton üretiminde katkı ve ikame malzemesi olarak, gaz beton, briket, tuğla gibi inşaat malzemelerinde katkı malzemesi olarak, geoteknik uygulamalarda hammadde olarak, baraj, nükleer enerji santrali ve yol inşaatlarında katkı ve hammadde kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca zirai çalışmalar göstermiştir ki, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzeltmede, tarımsal toprakların veriminin artırılmasında uçucu küller kullanılabilir. Uçucu küller, toprağın PH'ın artırmada, mikro ve makro ölçekteki besinlerin toprak içinde çözülmesini ve toprak tarafından tutulmasını artırmaktadır. Çizelge 1.1'de uçucu küllerin yapı malzemesinde kullanıldığı alanlar bir çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge 1.1. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar

Yapı Malzemesi Adı	Yapı Malzemesi içerisinde kullanıldığı yer
Çimento Üretimi	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega Üretimi	Hafif Agregas olarak
Beton Üretimi	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla Üretimi	Katkı malzemesi olarak
Genel Kullanım Alanları	Gaz beton, beton boru(büz) , boya, seramik, harç olarak
Çeşitli yapılar	Baraj, otoyol, nükleer santral
Uygulama Alanları	Geoteknik Mühendisliğinde zemin stabilizasyonu uygulamaları, Ziraat Mühendisliğinde arazi uygulamaları

Yan ürün olarak adlandırılabilen uçucu küllerin kullanımı ile ilgili ülkemizde ve dünyada birçok Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir. Amerika’da uçucu külün kullanıldığı ilk proje 1931 yılında yapımı başlayan ve 1936 yılında tamamlanan Hoover barajıdır (Yasin Engin, 2015). Baraj, Amerika’nın Nevada Eyaletinde, Kolorado Nehrinin Black Kanyon bölgesinde yer almaktadır. Gövde yüksekliği 221 metre olan barajda yılda 4 milyar KWh elektrik üretilmektedir. Şekil 1.3’de Hoover Barajı genel görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 1.3. Hoover Barajı genel görünümü)
https://www.wikiwand.com/tr/Hoover_Baraj%C4%B1

Ülkemizde ise ilk çalışma 1964 yılında DSİ tarafından yapılmıştır. Yapımı 1967 yılında başlayan ve 4 yıl süren Gökçekaya Barajı’nda ilk kez uçucu kül kullanılmıştır (Yasin Engin, 2015). Baraj Eskişehir’in Alpu ilçesinde Sakarya nehri üzerine kurulmuştur. Tesis Türkiye’nin 18. Büyük Hidroelektrik Santralidir. Şekil 1.4’de barajın

genel görüntüsü bulunmaktadır. Uçucu küller ile ilgili standartlar TSE tarafından 1968 yılında yayınlanmıştır.



Şekil 1.4. Gökçekaya Barajı genel görünümü (http://www.dsi.gov.tr/baraj/gokcekaya_baraji)

Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanlarının başında hazır beton ve çimento sektörü gelmektedir. Uçucu küllerin, beton imalatında katkı malzemesi olarak kullanıldığı durumlarda daha ekonomik beton üretiminin mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Uçucu kül katkılı betonlar üzerinde yapılan basınç dayanım deneyleri %10 ve %20 oranlarında uçucu kül kullanımı ile üretilen betonların şahit numune sonuçlarına yakın değerler gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle, hem çimento hammaddesinin daha az kullanılması ile ekonomi sağlamak hem de atık bir malzeme olan uçucu küllerin değerlendirilmesi adına beton üretiminde kullanılmasının uygun olacağı ortaya çıkmaktadır.

Uçucu kül ikame edilen betonların işlenebilirliğinin arttığı, su ihtiyacının azaldığı, hidratasyon ısısının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak priz süresinde az da olsa artma meydana geldiği görülmüştür (Gül ve Yıldız, 1997). Çizelge 1.2'de uçucu küllerin beton üzerinde etkisi bir tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 1.2. Uçucu külün beton üzerine etkisi

İşlenebilirlik	Artar
Su ihtiyacı	Azalır
Terleme, Ayırışma	Azalır
Hava Miktarı	Azalır
Hidratasyon Isısı	Azalır
Priz Süresi	Artar
Plastik Rötne	Değişmez

Çimento üretimi esnasında doğal hammadde kaynakları kullanımı yerine uçucu kül katkısı ile hammadde kaynakları korunmuş, atmosfere salınan CO₂ gazı miktarı azalmış olacaktır. Fiziksel yapısı gereği öğütme ve kurutma maliyeti ortadan kalkacağından çimento üretimi esnasında doğrudan karıştırıcıya verilerek çimento maliyetinin azalması sağlanacaktır. Dolaylı olarak uçucu kül katkısı ile üretimde kapasite artışı da gerçekleşecektir.

TS ve ASTM gibi standartlarda, uçucu küllerin beton ve harç üretiminde yapay hafif agrega olarak da kullanılabilceğini bildirmektedir. Yapılan araştırmalarda uçucu küller kullanılarak üretilen hafif agregalar ile hafif beton tasarımları yapılmıştır. F sınıfı uçucu küller kullanılarak üretilen hafif betonların şahit numunelere göre işlenebilirliği, basınç dayanımı, elastisite modülü değerleri olumlu yönde değişmiştir. Böylece daha ekonomik ve çevre dostu beton üretmek mümkün olmaktadır.

Uçucu küller, beton ve çimento üretiminde kullanıldığı gibi gaz beton, briket ve tuğla üretiminde de kullanılabilir. Ancak Avrupa ülkelerinde ve özellikle Çin'de uçucu kül ile birçok yapı malzemesi üretilebilirken, ülkemizde yapı malzemeleri sektöründe çok yaygın bir kullanım imkânı bulamamıştır. Uçucu küllerin tuğla, kiremit gibi, doğal hammadde kaynaklarının oldukça fazla kullanıldığı sektörlerde de kullanılabilmesi adına bir takım araştırmalar yapılmış, şahit numunelerle yapılan karşılaştırmalarda birim hacim ağırlığının çok az miktarda arttığı, kuruma süresi, pişme süresi ve toplam küçülme değerlerinde herhangi bir değişim olmadığı, su emme miktarında, kalıplama ve presleme için kullanılan güçte azalma olduğu tespit edilmiştir (Bentli ve ark.,2005). Tuğla ve kiremit üretiminde, doğal hammadde kaynaklarının korunması, atık maddenin ikamesi ile hem çevre kirliliği önlenmiş hem de ekonomiye büyük kazanç sağlanmış olacaktır. Amerikan Gaz beton Üreticileri Birliği uçucu küllerin gaz betonda %75 oranına kadar kullanılmasını önermektedir.

Şehir içi ve şehirlerarası beton yolların yapımında da uçucu kül kullanılabilir. Çimento içerisine %20-30 oranında kül kullanılması yol yapım maliyetini düşürmektedir. Uçucu küller, yol yapımında alt temel malzemesi veya asfalt içerisinde filler malzeme olarak kullanılabilir. İlk defa uçucu kül kullanılarak 1938 yılında A.B.D'nin Chicago şehrinde bir yol inşa edilmiştir (Postacıoğlu, 1986).

Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde geoteknik uygulamalarda da kullanılabilceği tespit edilmiştir. Son yıllarda sızdırmazlık sağlamak amacı ile atık depolama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle çöp atık sahalarının üzerine yapılan beton kaplamalarının, zemin oturma hasarlarının

onarılmasında kireç ile birlikte enjeksiyon aşamasında kullanılmaktadır. Böylece daha az çimento ve katkı kullanılacağından, ekonomi sağlanmaktadır.

Zirai faaliyetlerde de uçucu kül kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Tarımsal toprakların PH seviyesini artırmada, toprak veriminin artırılmasında uçucu kül kullanılabilir. Kül ilavesi toprağın su tutma kapasitesini artırmakta, o da kuraklık koşullarında mevcut su ile bitkinin büyümesini artırmaktadır. Yapılacak deneysel çalışmalar sonucunda uygun kullanım reçetesi belirlendikten sonra yapılacak kül ilavesi ile toprak yapısı olumlu yönde iyileşebilecektir (Şengül, 2009).

Diğer bir yapı malzemesi Bims bir diğer adı ile Pomza madenidir. Pomza madeni, dünyada ve ülkemizde uzun bir zamandan beri yapı malzemeleri üretiminde kullanılan volkanik kökenli bir kayadır. Pomza adı İtalyanca'dan gelmektedir. Fransızca'da *Ponce* adı verilen bu kayaç, İngilizce'de iri tanelisine *Pumice*, ince tanelisine *Pumicite* olarak adlandırılır. Almanca'dan dilimize de yerleşen bu yapı malzemesine her iki ülkede de Bims denilmektedir. Ülkemizde ayrıca süngertaşı, köpüktaşı, nasırtası, hışırtası, küvek, kisir gibi birçok ad ile de anılmaktadır. Şekil 1.5'de pomza'nın dane boyutlarına göre ayrıştırılmış hali bir fotoğrafla gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Bims (Pomza) madeni dane çapı dağılımı (www.bimsader.org.tr)

Pomza, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı oldukça dayanıklıdır. Gözle ve laboratuvar koşullarında incelendiğinde boşluklu ve süngerimsi bir yapıda olduğu görülür. Volkanik olaylar neticesinde oluşmaktadır. Volkanik olaylar sırasında içerisindeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ile mikro ve makro ölçekte, birbiri ile bağlantısız sayılamayacak kadar çok gözenek oluşumu gerçekleşir (Yanık,2007). Gözenekli yapısı nedeni ile ısı ve ses yalıtımı için oldukça elverişli bir yapı malzemesidir. Birim hacim ağırlığının 1 gr/cm^3 den düşük olduğu bildirilmektedir. Standartta, sertlik derecesinin Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olduğu ve volkanik bir madde olduğu tarif edilmektedir.

İnşaat sektöründe ilk kullanımı, Romalılar dönemine dayanmaktadır. O dönemlerde pomzanın, termal banyoların ve tapınakların yapımında, su kanalları yapımında ve Roma duvarlarının inşaatında kullanıldığı bilinmektedir (Özkan ve Tuncer, 2001). En belirgin örneği Roma Pantheonudur, Şekil 1.6'da Roma Pantheonunun kubbe yapısını gösterir bir fotoğraf ve Şekil 1.7'de ise mimarisinden bir görüntü bulunmaktadır. Pantheon tüm tanrıların tapınağı anlamına gelmektedir. M.S. 118–125 yılları arasında inşa edilmiştir. Ayasofya'nın kubbесinin bu malzeme ile yapıldığı bilinmektedir. Şekil 1.8'de Ayasofya Camiinden bir görüntü bulunmaktadır. Şekil 1.9'da ise arşiv kayıtlarına girmiş projenin bir kısmı gözükmektedir. Boyuna kesitten de görüleceği üzere kubbe alanlarında kütle beton uygulaması bulunmaktadır.



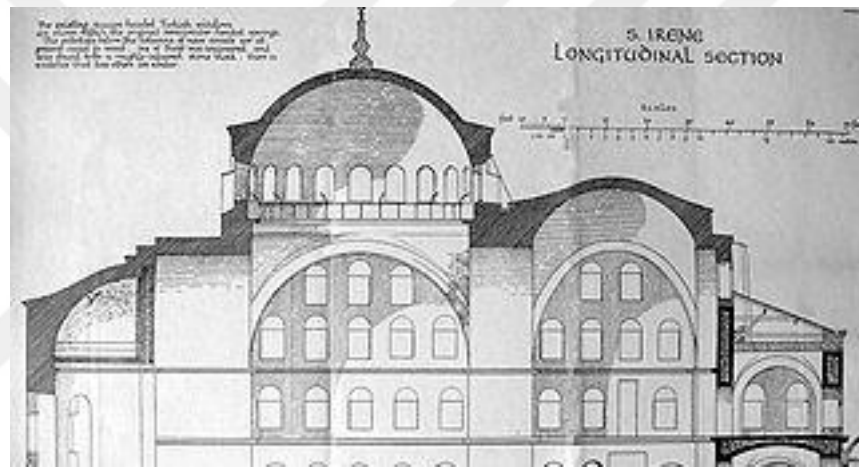
Şekil 1.6. Roma Pantheonunun kubbe yapısından bir görüntü (<https://serhatengul.com/roma-pantheon-tapinagi-tarihi-mimarisi/>)



Şekil 1.7. Roma Pantheonundan bir görüntü (<https://gezievreni.com/pantheon-roma/>)



Şekil 1.8. Ayasofya Camii genel görüntüsü (<https://tr.depositphotos.com/151862572/stock-photo-hagia-sophia-museum-ayasofya-muzesi.html>)

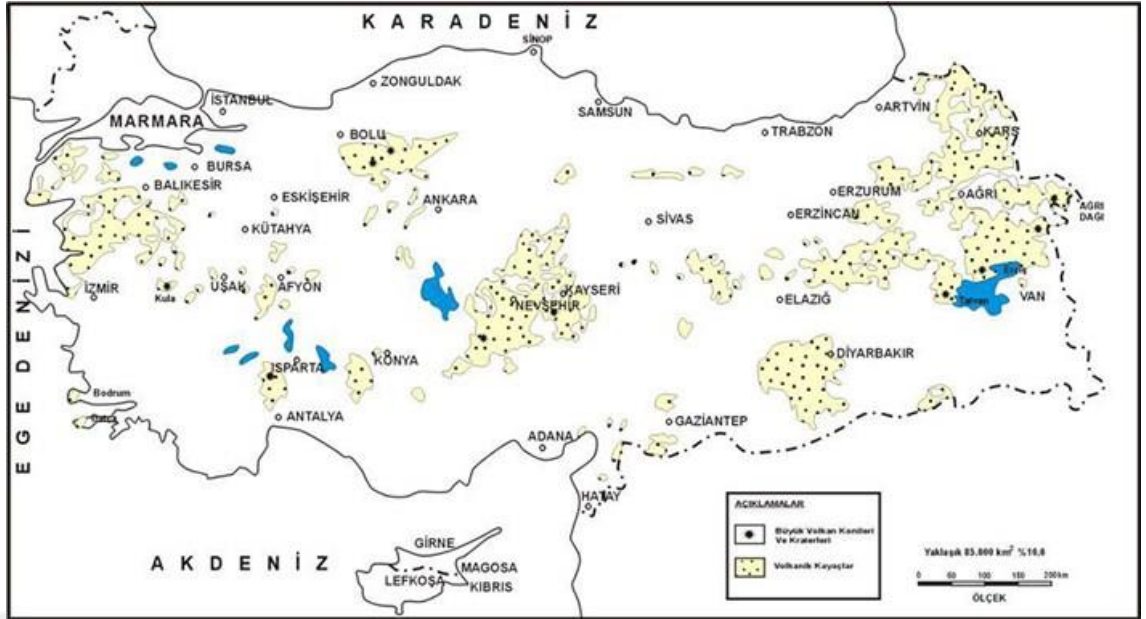


Şekil 1.9. Ayasofya Camii boy kesit (https://www.wikiwand.com/tr/Bizans_mimarisi)

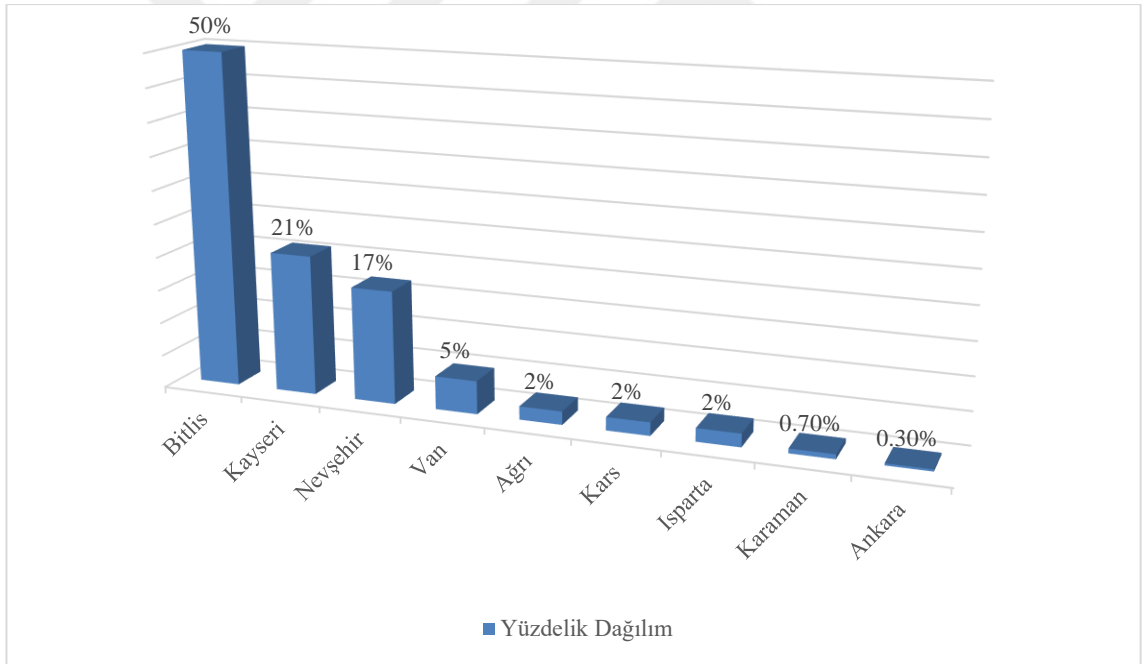
Pomza madeninin, hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması Amerika’da 1851 yılında başlamıştır. Birçok yapı malzemesinin üretimi bu tarihten sonra gerçekleştirilmiştir. Almanya’da ise 1980 yılında ve sonrasında kullanılmıştır. Ancak, Almanya’da rezervlerin tükenmesi sonucu yurtdışından ithalat edilmeye başlamış, yapı malzemelerini ithalat yolu ile elde ettiği kaynaklarla yapmaya devam etmiştir (Gündüz, 1998). Başta Almanya, İtalya, Fransa, Amerika, İsveç ve Japonya olmak üzere dünya üzerinde birçok ülkede ısı ve ses izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Hafif olmasından dolayı yapı ağırlığını azaltması nedeni ile depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında, gözenekli yapısından dolayı ısı geçirgenliğinin az olması sebebi ile yangına dayanıklı malzeme üretiminde, yapı ağırlığını azalttığından dolayı ise ekonomik yapı malzemeleri üretilmesinde aktif olarak pomza madeni kullanılmaya çalışılmıştır.

Bims Blok ise Türkiye’de hemen hemen her alanda yerini bulmuş, yoğun olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Ülkemizde ilk defa, 1984 yılında hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmıştır. Bu çalışmalar, maden yatakları ile ünlü Nevşehir bölgesinde, ardından ülkemizde birçok ilde gerçekleştirilmiştir. Pomza madeninin kullanımı birçok endüstri alanını kapsamaktadır. İnşaat sektöründe; dolgulu ve boşluklu hafif yapı elemanı, çatı kaplama elemanları, dekoratif kaplama elemanları, hafif sıva ve harç üretimi, hafif beton üretimi, çatı ve döşeme izolasyonunda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe; kot taşlama işleminde, kot kumaşlarının renklerinin açılması ve kumaşın yumuşatılması işlemlerinde kullanılır. Tarımda ise, toprak ıslahında, topraksız tarım uygulamalarında bitki yetiştirmede, kurak bölgelerde tarımsal faaliyetlerde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Kimya ve diğer endüstri alanlarında ise plastik ve kâğıt sanayisinde dolgu elemanı olarak, tavuk çiftliklerinde alt sergisi olarak, oto lastik imalatında, su ve atık su arıtma tesislerinde filtrasyon elemanı olarak ve seramik sanayiinde her alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde de birçok pomza maden yatağı bulunmaktadır. Dünya’da 18 milyar m³ pomza rezervi olduğu ve bunun nerede ise %40’ının ülkemizde olduğu bilinmektedir. Şekil 1.10’da ülkemiz coğrafyasında volkanik maden yataklarının mevcut potansiyelini gösterir harita bulunmaktadır. Haritadan da görüleceği üzere çoğunlukla İç ve Doğu Anadolu’da rezervler büyük alanları kaplamaktadır. Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde 9 milyar m³ maden rezervi olduğu bilinmektedir. Nevşehir bölgesinde bulunan maden yatakları dünya standartları üzerinde bir kaliteye sahiptir. Ülkemizdeki bazı illere göre pomza rezervini gösterir grafik MİGEM (Maden İşleri Genel Müdürlüğü) kayıtları incelenerek hazırlanmış ve Şekil 1.11’de verilmiştir. Bitlis, ülkemizdeki pomza rezervinin % 50’sini, Kayseri %21’ini, Nevşehir ise %14’sini kapsayacak maden rezervine sahiptir. Bunları sırası ile Van, Ağrı, Kars, Isparta, Karaman ve Ankara takip etmektedir. Ege ve Marmara bölgesinde de pomza maden yatakları bulunmasına rağmen bu yataklar bazalt cürufu, volkanik cüruf oluşumlarıdır.



Şekil 1.10. Volkanik maden yatakları potansiyeli açısından önemli alanlar (Bims Alt Sektör Raporu-Bims Sanayicileri Derneği-Ankara-2006)



Şekil 1.11. İllere göre pomza rezerv dağılımı (MİGEM.2014)

Volkanik oluşum esnasında bünyesindeki gazların ani olarak soğuması ve bünyeyi terk etmesinden dolayı, mikro ve makro büyüklükte, birbiri ile bağlantısız birçok gözenek içerir. Bu sebeple ısı ve ses yalıtımı için özellikle tercih edilir.

Pomzanın genel fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.3'de ve Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Pomzanın fiziksel özellikleri (Bims Sektör Raporu,Ankara,2006)

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık gri, kirli beyaz, kahverengi ve siyah
Kristal Şekil	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5,5 - 6,0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,32 - 0,97
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2,15 – 2,65
Porozite (%)	45 – 90
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08 – 0,20
Isınma Isısı (cal/gr.°C)	0,24 – 0,28
Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70

Çizelge 1.4. Pomzanın kimyasal bileşenleri (Bims Sektör Raporu,Ankara,2006)

Kimyasal Bileşenler	
Silisyum dioksit (SiO ₂)	52 – 75
Alüminyum dioksit (Al ₂ O ₃)	11,0 – 17,0
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 5,0
Kalsiyum oksit (CaO)	1,0 – 8,0
Magnezyum oksit (MgO)	0,5 – 3,0
Sodyum oksit + Potasyum oksit (Na ₂ O + K ₂ O)	3 – 9
Titanyum oksit (TiO ₂)	< 1
Sülfür trioksit (SO ₃)	< 1

Çizelgelerden de, görüleceği üzere pomzanın genel kimyasal bileşiminde; % 52-75 SiO₂, % 11-17 Al₂O₃, % 1-5 Fe₂O₃, % 1-8 CaO, % 3-9 Na₂O + K₂O ve düşük miktarda TiO₂ ve SO₃ bulunmaktadır. Al₂O₃ bileşimi sayesinde ateşe ve ısıya karşı yüksek dayanım özelliği bulunmaktadır.

Volkanik oluşumuna göre asidik ve bazik olarak isimlendirilen pomza çeşidi vardır. Bazik pomza Şekil 1.12’de de görüleceği üzere genellikle koyu renkli, kahverengimsi veya siyahımsı renktedir. Asidik pomza ise Şekil 1.13’de görüleceği üzere kirli beyaz görünümünde veya gri renktedir. Yeryüzünde en yaygın bulunan türdür. Asidik pomzalarda silis oranı daha yüksek olduğundan, inşaat sektöründe

kullanılmaktadır. Bazik pomzalar ise alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle gübre sanayiinde, toprak ıslahı amacı ile zirai faaliyetlerde kullanılmaktadır (Gündüz ve diğer, 1998).

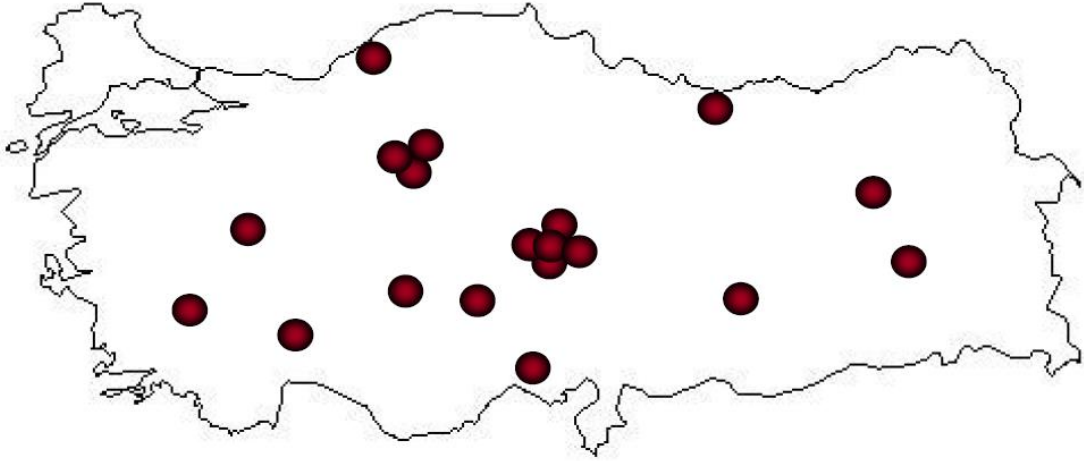


Şekil 1.12. Bazik pomza görünümü (<http://www.agropomza.com.tr/kategori/>)

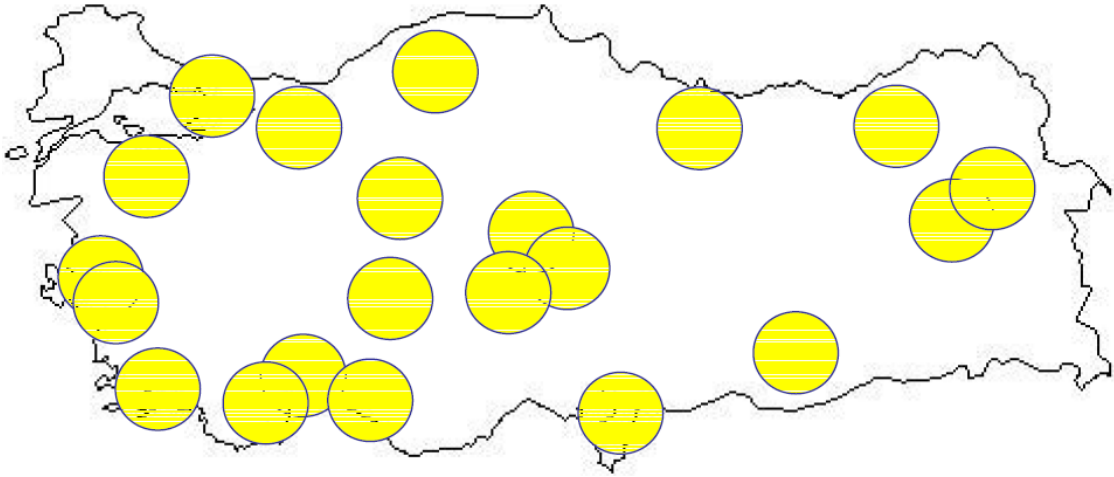


Şekil 1.13. Asidik pomza görünümü (<https://www.ekoyapidergisi.org/2810-dogadan-gelen-performans-pomza-tasi.html>)

Ülkemizde 2018 yılı itibari ile yaklaşık 100'e yakın bims blok üretimi gerçekleştiren tesis bulunmaktadır. Bu kuruluşlar, bulunduğu bölgeye hitap eden küçük ve orta ölçekli üretim gerçekleştiren kuruluşlardır. Ülkemizde bims blok üretimi yapan kuruluşlar Şekil 1.14'de ve üretimin bölgelere göre dağılımı Şekil 1.15'deki haritalar üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Bims blok üretimi yapan tesislerin ülkemizde dağılımı (Pomza Alt Sektör Raporu,Ankara,2006)



Şekil 1.15. Bims blok üretimi yapan tesislerin bölgelere dağılımı (Pomza Alt Sektör Raporu,Ankara,2006)

Dünya’da pomza rezervleri göz önüne alındığında ülkemizdeki pomza madeni çeşitliliği ile oldukça büyük pazar payına sahip olacağı düşünülmektedir. Ülkemizdeki rezerv miktarı ile dünyadaki rezerv miktarı karşılaştırıldığında, ilerleyen yıllarda dünya pomza piyasasına hâkim olacağımız düşünülmektedir. Türkiye’de pomzadan hafif yapı elemanları üretimi gerçekleştiren kuruluşların sayısındaki artış 2002 yılından sonra önemli bir değere ulaşmıştır. Bu nedenle, Üniversite ve sanayi işbirliği ile, Isparta’da Süleyman Demirel Üniversitesi Rektörlüğüne bağlı “Pomza Araştırma ve Uygulama

Merkezi” kurulmuştur. Türkiye’de ilk ve tek olan bu kurum, sektöre ışık tutan ve gelişmesini sağlayan bir konumda yer almaktadır (Alt Sektör Raporu, 2006).

Ülkemizde elektrik üretiminin nerede ise yarısının karşılandığı termik santrallerden elde edilen uçucu küller, çevre şartlarında depolanmaktadır. Depolama koşulları ve atmosferik etkiler nedeni ile doğal çevrenin kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, çeşitli mühendislik dalları bu atık ürünü bertaraf için çeşitli çalışmalar yürütmektedirler.

Tez çalışmasının amacı, termik santral atığı uçucu küllerin açık alanlarda depolanması yerine yapı malzemeleri üretim sanayiinde değerlendirilmesinin önünü açmak ve rezerv bakımından oldukça büyük kaynaklara sahip pomzanın yapı malzemeleri üretimine katkısını artırarak ülke ekonomisine katkı sağlamaktır. Ülkemizde sadece çimento ve beton gibi yapı elemanlarının üretiminde kullanılan uçucu küllerin, inşaat sektörüne farklı alanlarda da kullanılabilceğini göstererek, hem doğal hammadde kaynaklarını korumak, hem de çevre kirliliğinin önüne geçerek ülke ekonomisine katkı sağlamak amaç edinilmiştir.

Çalışma kapsamında; küllerin temin edildiği Konya Şeker San. Tic. A.Ş. Çumra Şeker Entegre Tesislerine ait santral Konya ili, Çumra İlçesinde yer almaktadır. Santral Kapasitesi 50 MW gücündedir. Tez çalışmasında bu santrale ait uçucu kül ikame edilerek Bims Blok üretimi yapılmış, elde edilen değişik oranlarda ikame edilmiş ürünler üzerinde gözlemler ve deneyler yapılmış sonuçlar yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler referans numunenin özellikleri ile karşılaştırılmış, maliyet analizleri çıkartılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanılmasına yönelik bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmaların büyük bir kısmı briket üretiminde, agrega yerine Kazan Altı Külü kullanımı, tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı ve beton üretimi konuları üzerinedir. Yapılan kaynak araştırması bulgularını kısaca özetlemek gerekirse;

Demir ve ark. (2002), tarafından hazırlanan çalışmanın konusu “Seyitömer Uçucu Külünün Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılabilirliği” dir. Bu çalışmada, iki farklı kodla belirtilen Seyitömer ve Kütahya uçucu külleri ve tuğla kili numunelerinin kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda pişirilen, %100 UK, %90 UK + %10 Kil, %80 UK + %20 Kil, %70 UK + %30 Kil içeren numunelerinin pişirildikten sonraki fiziksel özellikleri sonuç raporunda kıyaslanmıştır. Pişirme sıcaklığının artması ile su emme değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Karışımdaki kil miktarının artması su emme değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Karışımlarda kullanılan uçucu kül miktarı arttıkça pişirme için ihtiyaç olan sıcaklık değeri düşmüştür. Örnekler üzerinde yapılan basınç dayanım testleri pişirme sıcaklığının ve karışımdaki kil miktarının dayanıma etki ettiğini göstermiştir. 1000 °C deki basınç dayanımı, 1050 °C ve 1100 °C deki basınç dayanımından oldukça düşük çıkmıştır. Çalışmanın sonucunda, uçucu külün ve tuğla kilinin, yapı tuğlası üretiminde belli oranlarda karıştırılmak sureti ile kullanılabilmesine karar verilmiştir.

Demir ve ark. (2008), tarafından “ Seyitömer Uçucu Külü ve Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Tüflerinin Puzolanik Özelliklerinin Belirlenmesi” üzerine yapılan çalışmada, yapay ve doğal puzolanlar kullanılmıştır. Numuneler 7 günlük su kürü, 28 günlük su kürü ve 8 saatlik otoklav kürü uygulanmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Üretilen numunelerin fiziksel özellikleri belirlenmiş, basınç dayanım değerlerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Öncelikle kullanılacak Seyitömer (Kütahya) termik santrali uçucu külünün $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ miktarı tespit edilmiş, ASTM C618 e göre F sınıfı uçucu kül sınıflandırması yapılmıştır. Üretilen numuneler belirlenen kür şartlarında bekletildikten sonra etüvde kurutulmaya bırakılmış, ardından 200 kN basınç uygulayabilen preste basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Bulgular bir tabloda karşılaştırması yapılmış ve sonuç olarak Seyitömer uçucu külünün çimento ve hazır beton üretiminde katkı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Turgut (2018), tarafından “Uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanılarak blok üretimi” çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, uçucu kül, kireç ve atık cam tozu kullanılarak yapı blokları üretilmiştir. Çalışmada kullanılan uçucu kül Kangal Termik Santralinden temin edilmiştir. Öncelikle kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Atık cam tozu ise bir geri dönüşüm firmasından alınmıştır. Bu çalışma için 5 adet farklı karışım denemesi yapılmıştır. Bu numunelerden biri sadece uçucu külle hazırlanan numunedir. Uçucu kül, kireç ve cam tozu farklı oranlarda karıştırılarak diğer 4 karışım numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numune blokları 70°C sıcaklıkta 24, 48, 72 ve 96 saatlik sürelerde kür edilmiş, numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımları, su emme ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, 72 saatlik kür süresi sonunda, kireç ve cam tozu içeren numunelerin su emme değerlerinde azalma görülürken, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımlarında artış tespit edilmiştir.

Demir (2005), tarafından yayımlanan makale “Uçucu küllün hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması” üzerinedir. Bu çalışmada uçucu kül Seyitömer Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu kül malzemesi ile hafif yapı blokları üretimi gerçekleştirilmiş, numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Ana hammadde olarak uçucu kül, bağlayıcı olarak da kireç ve alçı kullanılmıştır. İki farklı karışım numunesi için uçucu kül, kireç ve alçı oranları tayin edilmiştir. Hazırlanan karışım boyu 100 mm ve çapı 50 mm olan çelik kalıplara dökülmüş, numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak otoklav işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde basınç dayanım, porozite, bulk yoğunluk, görünür yoğunluk ve su emme testleri yapılmıştır. Sonuçta, hafif ve gözenekli yapı malzemesi üretilebileceği tespit edilmiştir.

Tokgöz ve ark.(2004), tarafından yapılan araştırma, “Silis dumanlı briketin basınç dayanımının araştırılması” konusu üzerinedir. Briket üretiminde %5, %10 ve %15 oranında Silis Dumanı katkılı numuneler üretilmiş, bu numuneler üzerinde Birim Hacim Kütle Deneyi, Donma-Çözülme Deneyi, Basınç Mukavemeti Deneyi yapılmıştır. Numunelerin üretilmesinde, pomza agregası Isparta bölgesinden, çimento PÇ 42,5 tipinde Ankara bölgesinden, silis dumanı ise Antalya Etibank Elektrometalurji işletmesinden temin edilmiştir. Silis dumanı çimento içerisinde belirlenen oranlarda

ikame edilmiştir. Numuneler 105°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde kurutulmuş, elde edilen numunelerin birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. Kontrol numuneleri ve üretilen diğer numuneler basınç deneyi yapılmak üzere prese konmuş, kırılma gerçekleşene kadar basınç değeri arttırılmıştır. Elde edilen bilgiler, Şahit numune, %5 , %10 ve % 15 silis dumanı katkılı numuneler olmak üzere tabloda gösterilmiştir. Sonuç olarak, düşük dozajlı silis dumanı ikamesinin basınç dayanımını arttırdığı saptanmıştır.

Ünal ve ark. (2015), “Yatağan Uçucu Külünün Yapısal Alanda Kullanılabilirliğinin Araştırılması” konulu bir çalışma yürütmüşlerdir. Yatağan termik santrali uçucu külü kullanılan bu çalışmada, hafif agregalı blok üretimi yapılmıştır. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilen ve 7 ve 28 günlük kürlenmenin sonucunda bu numuneler üzerinde basınç, kılcallık ve ultra ses deneyler yapılmıştır. Yeterli miktarda hazırlanan 10 x 10 x 10 cm ebatlarındaki numuneler üzerinde yapılan deneylere ait sonuçlar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sonuç olarak, tüflü numunelerde %10 oranında ikame edilmesi durumunda etki olan bu külün, diatomit ve pomzalı bloklarda % 20 oranlarında elde edildiği saptanmıştır. Ancak, uçucu kül oranı % 30’a çıktığında her üç agrega da olumlu etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

Koçak (2011), tarafından yapılan “Termik Santral Atığı Uçucu Külün Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi” konulu çalışmada, Seyitömer termik santrali uçucu külünü kullanılmıştır. Uçucu kül, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento yerine ikame edilmiştir. Harç karışımlarının hazırlanması TS EN 196-1 e göre yapılmıştır. Hazırlanan harçlar 40 x 40 x160 mm boyutlarında kalıplara dökülmüş, sarsma cihazında harcın yeterince yerleşmesi sağlanmıştır. Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kür havuzuna alınmıştır. 2, 7 ve 28 gün sonra havuzlardan çıkartılan örnekler üzerinde basınç deneyleri yapılmış, sonuçlar tabloda gösterilmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül ikameli çimentoların su ihtiyacı ve priz süresinde Portland çimentosuna göre doğrusal bir artış belirlenmiş, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında, biraz azalma olmuştur. Ancak bu azalmaya rağmen %10 ve % 20 oranlarındaki uçucu kül ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının standart değerler arasında olduğu saptanmıştır.

Yüksek ve Kaya (2017), tarafından yapılan çalışma “Kömür baca külü, kireç ve jips ürünlerinden yapı malzemesi yapımı” üzerinedir. Bu çalışmada Kangal Termik

Santrali uçucu külü ile alçı ve kirecin değişik oranlarda karışımı ile hafif yapı malzemesi üretimi deneysel olarak araştırılmıştır. Kangal termik santrali uçucu külü üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda C sınıfı uçucu kül olduğu tespit edilmiştir. Numune üretimi için 160 mm x 40 mm x 40 mm boyutlarında kalıp hazırlanmıştır. Birbirinden farklı 17 türde, belirlenen karışım oranlarında hazırlanan harçlar her birinden beşer adet olmak üzere kalıplara yerleştirilmiştir. Bu numunelerin karışım oranları bir tabloda gösterilmiştir. Kalıplardan çıkartılan tuğla numuneleri kuruması için 15,30,45 ve 60 gün süre ile laboratuvarında bekletilmiştir. Bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme, eğilme mukavemeti, yüzey sertliği ve özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Araştırma sonuç raporunda, kütlece, %70 alçı, % 10 uçucu kül ve %20 kireç oranındaki karışım diğer karışımlara göre daha optimal değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Alçı, uçucu kül ve kireç rezervleri bakımından zengin olan Sivas bölgesinde endüstriyel ölçekte hafif tuğla üretimi için ArGe faaliyetlerine başlanması gerektiği bildirilmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), tarafından hazırlanan çalışma, “Soma termik santrali atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi” konusunu içermektedir. Bu çalışmada, uçucu kül, agrega ve PÇ 32,5 çimentosu kullanılarak betonlar üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda beton üzerine uçucu kül katkısının etkisi araştırılmıştır. Karışımlardaki çimento miktarı ağırlıkça %10, %20, %30 ve % 40 oranlarında uçucu kül ile ikame edilmiştir. Beton karışımında kullanılan uçucu külün, PKÇ 32,5 çimentonun kimyasal analizi yapılmıştır. Harç hazırlanmış, 15 x 15 x 15 cm boyutlarında 3'er ve 10 x 10 x 10 cm boyutlarında 5'er tane olmak üzere 40 küp numunesi hazırlanmıştır. Numuneler 7 ve 28 günlük kür süresinden sonra, basınç dayanımları ve donma – çözülme özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, uçucu külün çimento yerine %10-%20 oranında ikame edilmesi durumunda, beton özelliklerinde olumsuz bir etki görülmemiştir. Şahit numunelerin değerlerine yakın değerlere ulaşılmıştır. Buna rağmen uçucu kül ikame oranının artması, dayanımda azalmaya sebebiyet vermiştir.

Kızgut ve ark. (2001), tarafından hazırlanan “Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması” konulu çalışma Türkiye 17. Uluslararası Madencilik kongresinde yayınlanmıştır. Çatalağzı termik santralinden günlük 2000 ton açığa çıkan uçucu külün düşük kireçli yani F sınıfı olduğu yapılan

kimyasal analizle tespit edilmiştir. Bu çalışmada tuğla toprağı ve uçucu kül farklı oranlarda karıştırılarak, 50 mm lik silindir örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 2 N/mm² basınç altında sıkıştırılarak şekillendirilmiştir. Özel fırınlarda 26 saat süre ile pişirilmiştir. Üretilen numunelerin TS 705’de öngörülen değerlere ulaşip ulaşmadığı, %100 tuğla toprağı ile üretilen şahit numunelerle arasında oluşan farklılıklar test edilmiştir. Çalışma, %30 – 40 oranında uçucu kül ve tuğla toprağı karıştırılarak standartlara uygun tuğla üretilebileceğı gözlemlenmiştir.

Ağırdır (1989), tarafından yürütülen Yüksek Lisans Tezi Konusu “Altınapa Bims Agregasından TS 3234’e uygun hafif beton briket imali” dir. Bu çalışmada Altınapa bims agregası kullanılarak, çeşitli numuneler üretilmiş ve bu numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak TS 406’da tarif edilen kalitede hafif beton briket imal edilebileceğı belirtilmiştir.

Yüksel ve ark. (2006), tarafından hazırlanan çalışmanın konusu “Kazanaltı Külü İle Briket Üretimi”dir. Bu çalışmada, fiziksel ve kimyasal özellikleri yönünden uçucu külden çok farklı olmayan Kazanaltı külü kullanılarak briket üretilmesi hedeflenmiştir. Kazanaltı külü, Çatalağızı termik santralinden temin edilmiştir. Üretilen numunelerde kazanaltı külü, kum ile yer değiştirilerek numuneler üretilmiştir. %0, %20, %30, %40 ve %50 oranında yer değiştirilen bu numuneler üzerinde, TS 406’da belirtilen birim hacim ağırlık, basınç dayanım ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Kazanaltı külü ve kum ikame oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı öncelikli olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, %30 oranında kazan altı külü yer değiştirmeli briketlerin basınç dayanımı ve donma-çözülme dayanıklılığı düşmekle birlikte ilgili standardın öngördüğü en düşük koşulları sağlayan briket üretilebilmiştir. Yapılan hesaplamalar %30’luk bir yer değiştirmenin birim hacim ağırlıkta %21 düzeyinde bir azalma gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bayındırlık Birim Fiyatları kullanılarak 100 m²’lik tek katlı bir yapının maliyet analizi yapılmıştır. Kazanaltı külü ikame edilerek üretilen briketin %2 ila %5 oranında maliyetinin azaldığı hesaplanmıştır.

Çiçek ve Tanrıverdi (2004), tarafından hazırlanan “Kömüre Dayalı Termik Santral Uçucu Küllerinden Otoklav Yöntemi ile Hafif Tuğla Üretimi” konulu çalışmada uçucu küllerin hafif ve ısı yalıtımı yüksek tuğla olarak değerlendirilebileceğı üzerine çalışma yapılmıştır. Seyitömer Uçucu külü, kum ve sönmüş kireç karışımlarının

yüksek basınçta buhar ile kürlenmesi yöntemi kullanılarak çeşitli deney şartlarında tuğlalar üretilmiş ve bu örnekler testlere tabi tutulmuştur. Deney koşulları ve üretilen tuğla özellikleri bir çizelge halinde verilmiştir. Sonuç olarak, Seyitömer termik santrali uçucu külleri kullanılarak tuğla üretiminin yapılabileceği, kuvars veya doğal kum katkısının %20 civarında olduğu, sönmüş kireç katkı oranının ise %12 olması gerektiği tespit edilmiştir. Kuvars kumu ile yapılan uçucu kül katkılı tuğlaların basınç dayanımlarının 100 kgf/cm² olduğu, bu değer in doğal kum katkılı tuğlalarda yaklaşık %20 oranında azalarak 80 kgf/cm² değerine düştüğü belirlenmiştir. Aynı şekilde tuğla yoğunluklarının da uçucu küllü tuğlalarda 1,15 g/cm³ iken, doğal kum katkılı tuğlalarda yoğunluğun 1,27 g/cm³ olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen tuğla tipinin ekonomiye katma değer sağlayacak bir ürün olarak yapı sektöründe kullanılabileceğine karar verilmiş, araştırmaların derinleştirilmesi talep edilmiştir.

Çinçin (2015), tarafından hazırlanan Yüksek Lisans Tezinde “Linyit Yakan Termik Santral Uçucu Küllerinden Kireç Katkısı ile Hafif Tuğla Üretiminin Araştırması” konusu işlenmiştir. Seyitömer, Soma ve Yatağan Termik Santrallerinin uçucu külleri ve sönmüş kireç kullanılarak, çeşitli deney şartlarında tuğla üretilmiştir. Deneysel çalışmalar öncelikle küllerin karakteristik özelliklerinin tespiti amacı ile kimyasal analizlerle başlamıştır. Yapılan kimyasal analizlerle küllerin hangi sınıfa haiz olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Soma termik santrali C sınıfı, Seyitömer termik santrali F sınıfı, Yatağan termik santrali ise C sınıfı özelliklerini taşımaktadır. Hazırlanan harç, 45 mm çapında ve 100 mm boyunda bir kalıpta ve hidrolik pres yardımı ile hazırlanmıştır. Numunelere 28 günlük kürlenmenin ardından genleşme kontrolü yapıldığı Soma küllü numunelerde aşırı genleşme olduğu, Yatağan küllü numunelerde genleşmenin düşük olduğu, Seyitömer küllü numunelerin ise fark edilebilir ölçekte genleşmeye rastlanmadığı bildirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında 200 x 200 x90-110 mm ebatlarında büyük boyutlu tuğlalar üretilmiştir. Sonuç olarak optimum üretim şartlarını ve yapılan deneysel çalışmalar ile tespit edilen özellikleri gösterir bir tablo hazırlanmıştır. Seyitömer termik santrali sahası içerisine 200.000 m³/yıl kapasiteli 190x190x135 mm ebadında uçucu küllü kireç karışımli tuğla üretim tesisi kurulması için fizibilite raporu hazırlanmış, maliyet analizi yapılmıştır.

Topçu ve Kara (2009), tarafından yapılan çalışma “Azot Fabrikası Cürufu ve Termik Santral Küllerinden Hafif Duvar Bloğu Üretimi” üzerindedir. Bu çalışmada

Seyitömer Termik Santrali atığı uçucu kül, Kütahya azot fabrikası atığı olan cüruf ve taban külleri ile polystren strafor dolgusu kullanılarak hafif duvar blokları üretilmiştir. Kullanılan tüm kaynakların özgül ağırlıklarının çimento ve agregaya göre düşük olması nedeni ile üretilen hafif blokların birim hacim ağırlığının düşük olacağı düşünülmüştür. Bu deneysel çalışma ile fabrika atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanılarak ülke ekonomisine değer kazandırılması hedeflenmiştir. Çalışmada ilk önce kullanılması planlanan tüm atıkların kimyasal analizleri yapılmıştır. Ardından karışım oranlarına göre iki tür Flyblok olarak adlandırılan hafif blok ve gazblok üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen tüm bloklar üzerinde birim hacim ağırlık ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Üretilen hafif blok ve gazblokların ısı yalıtım özellikleri TSE 825'e göre belirlenmiştir. Hafif beton duvar bloğu üretiminde, basınç dayanımlarının yüksek ve birim ağırlıklarının düşük olması hedeflenmiştir. Çalışmanın sonunda maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ürünlerde yüksek dayanım ve düşük birim ağırlık değerleri Flyblok II serisinde elde edildiği görülmüş ve maliyet olarak en düşük değeri de bu ürün vermiştir.

Demir ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmanın konusu “Pomza Agregalı Hafif Beton Isıl Özelliklerine Polistiren Köpük ve Uçucu Kül Katkısının Etkileri” üzerinedir. Deneylerde TS 802 standardı gözetilmiş ve çimento dozajı 300 olacak şekilde malzeme miktarları belirlenmiştir. Üretilen numuneler 100 x 100 x 100 mm³'lük metal kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme esnasında vibrasyon uygulanmıştır. Örnekler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak, 6 saat süre ile buhar kürü uygulanmıştır. Örnekler basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Referans örneklerin basınç dayanım değerleri ile üretilen numunelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. En yüksek değerin 13,2 MPa ile kontrol numunelerinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, strafor tanesi katkılı pomza blok örneklerde uçucu kül ikame oranının artması basınç dayanımını artırıcı etki yaratmıştır.

Öztürk (2012)' e ait Yüksek Lisans Tezinin konusu “Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” üzerinedir. Bu çalışmada, Nevşehir'den temin edilen pomza, Sarıyer Yeniköy'den temin edilen kum, CEM I 42,5 çimento, hava sürükleyici kimyasal katkı, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, perlit, EPS ve su kullanılarak ısı yalıtımı amaçlı hafif beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretimi esnasında TS 802 dikkate alınarak karışım

oranları belirlenmiştir. 15x15x15 cm ebatlarında kalıplara yerleştirilen numuneler, 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak, 20°C lik su içerisinde 7 gün ve 28 gün süre ile bekletilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek amacı ile birim ağırlık, ses geçiş hızı ve su emme gibi deneyler yapılmıştır. Mekanik özelliklerin tespiti amacı ile basınç dayanım deneyi yapılmış ve bir tablo da sonuçlar gösterilmiştir. Üretilen hafif betonun ısı ve ses yalıtımında, zemin yalıtımında, birim hacim ağırlığının düşük olması sebebi ile inşaatlarda kullanılabileceği söylenmiştir.

Yıldırım (2007) tarafından yapılan Yüksek Lisans Tezinin konusu “Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” üzerinedir. Bu çalışmada, Nevşehir Pomza taşı, uçucu kül, agrega ve çimento kullanılmıştır. 350 ve 450 dozlu olarak iki farklı karışım oranlarında 15x15x15 cm hafif beton küp, 15/30 cm silindir ve 10x10x50 cm kiriş numuneler üretilmiştir. Üretimden sonra bu numuneler normal su, tuzlu su ve asidik ortamda 7 gün, 28 gün ve 90 gün kürlenmeye bırakılmıştır. Kür sürelerinin sonunda, basınç deneyine, silindir yarma deneyine ve kiriş eğilme deneylerine tabii tutulmuşlardır. Sonuç olarak, beton üretiminde dozaj artırımı hem basınç, hem de çekme dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. 450 dozlu karışımın 350 doz karışıma karşı, belirlenen üç farklı ortamda üretilen numuneleri karşılaştırıldığında basınç ve çekme dayanımlarının daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Çimento oranının fazla olması, agresif şartlar altında bile beton yaşına da bağlı olarak daha fazla basınç ve çekme dayanımı gösterdiği görülmüştür.

Kılıçarslan ve Tuzlak (2018), tarafından yayımlanan makalenin konusu “Uçucu kül katkılı köpük betonlarının dayanım ve ısı iletkenlik özelliklerinin incelenmesi” üzerindedir. Bu çalışmada, kullanılan uçucu kül Çayırhan Termik Santralinden temin edilmiştir. Basınç dayanım deneyleri için her bir karışımdan 5 adet 10x10x10 cm’lik küp numuneler üretilmiştir. Isı iletkenlik deneyleri, TS EN 12664 (2009) ve TS EN 12667 (2003), basınç dayanımı deneyi TS EN 1354 (2007) göre yapılmıştır. Sonuç olarak, uçucu kül katkılı köpük betonların basınç dayanım sonuçlarının yoğunluk artışı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Köpük beton numuneleri üzerinde ayrıca ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde de yoğunluk artışına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısının arttığı tespit edilmiştir.

Bentli ve ark. (2005), tarafından yapılan çalışma “Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi olarak Kullanımı” üzerinedir. Bu çalışma 19. Uluslararası madencilik kongresinde sunulmuştur. Yapılan bu çalışmada, Seyitömer termik santral uçucu küllerinin kimyasal ve mineralojik özellikleri tespit edilmiş ve inşaat tuğlası yapımında katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde, Seyitömer termik santralinden temin edilen uçucu kül ve Kütahya’da bir tuğla fabrikasından alınan kil numuneleri kullanılmıştır. Kil ve uçucu kül karışımından üretilen numunelerde dört farklı reçete kullanılmıştır. Bu reçetelerde uçucu kül oranı %2.5, %5, %10, %15 iken bu oranlarda kil miktarı azaltılmıştır. Numuneler üzerine birim hacim ağırlık testleri, kuruma pışme ve toplam küçülme testleri, su emme testleri ve mukavemet testleri uygulanmıştır. Uçucu kül ilavesinin birim hacim ağırlığı çok az da olsa arttırdığı söylenmektedir. Toplam küçülme değerinin beklenen değerden %10 daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, üretilen tüm reçetelerin su emme değerleri tuğla kiremit için istenen %18 oranının altında olduğu görülmüştür. Mukavemet test sonuçları da TS 705 de verilen 5,9 N/mm² değerinin altında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül ilavesinin birim hacim ağırlığı az da olsa arttırdığı, tüm numunelerin kontrol numunesine göre su emme değerinin düşük olduğu, basınç dayanımlarının ise kontrol numunesine göre düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Basınç dayanımının artırılmasına yönelik olarak daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiği önerisinde bulunulmuştur.

Söylemez ve Yıldırım (2016), tarafından yayınlanan araştırma makalesinde “Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi” konusu işlenmiştir. Bu çalışmada; Manisa ili, Turgutlu ilçesinde tuğla ve kiremit yapımında kullanılan kil ile Soma Termik Santralinden temin edilen uçucu kül belirli oranlarda karıştırılarak reçeteler hazırlanmıştır. Bu reçetelerle tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Bir tesiste standart boylarda 6x8,5x18,5 cm ebatlarında tuğla numuneleri, 200 °C -1200°C aralığında her 100 °C artışlı pışirme derecelerinde toplam 33 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık seviyesi için 3 adet tuğla numunesi kullanılmıştır. Sıcaklığın artışının, su emme, ortalama ağırlık kaybı ve basınç dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Uçucu kül ve kil karışımının %30 oranında olduğu numunelerin kül katkısız numunelerle ağırlık kaybının benzer olduğu gözlemlenmiştir. Hem uçucu kül katkılı hem de katkısız tuğla numunelerinin en uygun pışirme sıcaklığının 800°C - 1100°C arasında olmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Demir (1987), tarafından yapılan araştırma konusu “ Uçucu Küllü Gazbeton Araştırması”dır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığına bağlı Yapı İşleri Genel müdürlüğü bünyesinde yapılan bu çalışmada, Seyitömer uçucu küllü, Paksan söndürülmüş toz kireci ve alüminyum tozu kullanılmıştır. Numune hazırlanması esnasında önce su ve kireç 5 dakika karıştırılmış, ardından uçucu kül ilave edilerek 10 dakika daha karıştırılmış, karışıma alüminyum tozu ilave edilerek 5 dakika daha karıştırılarak önceden hazırlanmış kalıplara düzgünce yerleştirilmiştir. 50°C de etüve konan numuneler 16 saat etüvde kalmıştır. Kalıptan çıkartılan numuneler 185°C de 150 PSİ buhar basıncında otoklav da kür edilmiştir. Otoklavdan çıkartılan numuneler 28 gün oda sıcaklığında bekletilerek deneye tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, karışımdaki kireç oranının değişmesi birim hacim ağırlığını değiştirmemiş ancak kireç yüzdesi arttıkça basınç dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Su yüzdesinin artması birim hacim ağırlığını ve basınç dayanımını düşürmüştür. Alüminyum oranının artması birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımını düşürmüştür. Otoklav sıcaklığının artması ise yine birim hacim ağırlığında bir değişiklik yaratmamış ancak basınç dayanımını arttırmıştır. Demir, termik santrallerin yakınına kurulacak tesis veya tesislerle uçucu kül atıklarından kurtulacağını hem de çok daha ucuza ısı iletkenlik değeri düşük malzeme üretmenin mümkün olacağını savunmaktadır.

Topçu ve Canbaz (2001), tarafından yapılan çalışmanın konusu, “Uçucu Kül Kullanımının Betondaki etkileri” üzerindedir. Bu çalışmada Çayırhan Termik Santrali’nden elde edilen uçucu kül, Eskişehir Çimento Fabrikası üretimi PKÇ/B 32.5R çimentosu, Eskişehir-Osmaneli kumu ve Söğüt Zembemiye kırmataşı kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Kontrol numuneleri uçucu kül kullanılmadan 300,350 ve 400 dozajlı olarak üretilmiştir. Ayrıca her bir dozaj için çimento yerine ağırlıkça %20 ve %40 oranında uçucu kül ikame edilerek Ø 15/30 cm boyutlarında silindir numuneler üretilmiştir. 24 saat kalıpta bekletilen numuneler daha sonra çıkartılarak 20°C sıcaklıktaki kür havuzuna alınmıştır. 7 gün, 28 gün ve 60 günlük kür süreleri sonunda numunelere önce ultrases hızı ve Schmidt sertliği deneyi ardında basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen bilgiler ışığında, uçucu kül katılan betonların basınç dayanımının azaldığı ve uçucu kül miktarının artması ile dayanımın daha da geç kazanıldığı görülmüştür. Bayındırlık Bakanlığı 2000 yılı birim fiyatları kullanılarak yapılan maliyet analizinde çimento ağırlığının %20 si oranında

uçucu kül kullanılması durumunda beton birim maliyetinde ortalama %10'luk, %40 oranında uçucu kül kullanılması durumunda ise %18 lik bir ekonomik kazancın olduğu hesap edilmiştir.



3. MATERYAL

Teknolojinin ilerlemesi ile doğru orantılı olarak artan enerji ihtiyacı, ülkemizde enerji üretilmesinde çoğunlukla kullanılan termik santralin kapasitesinin artmasına, doğal olarak da termik santrallerden elde edilen kül miktarında artışa sebep olmaktadır. Kömürün yanması sonucu ortaya çıkan bu atığın meydana getirdiği çevresel etkiler, son yıllarda çeşitli bilim dallarınca çalışmaların yapılmasına sebep olmuştur. Bu atık ürün günümüzde istenilen ölçüde yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır.

Uçucu küllerin, yapı malzemeleri üretiminde kullanılması hem doğal hammadde kaynaklarının korunmasında hem de insan sağlığı ve çevrenin korunmasında büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Termik Santrallerin bir yan ürünü olan uçucu külün, Bims Blok (Briket) üretiminde çimento ikame malzemesi olarak kullanılması ile daha ekonomik ve çevreci yapı malzemesi üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Böylece atık malzemenin geri dönüştürülmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlaması ve ekolojik dengenin korunması amaç edinilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda ele alınan parametreler;

- Çimento ikame oranları, %0 (Kontrol Numunesi) , %20 , %30 ve %40 ikame edilmiş dört farklı karışım oranı öngörülmüştür.
- Üretimi gerçekleştirilen numuneler, normal üretimdeki kürlenme şartlarına tabi tutulmuştur. İlave bir şart öngörülmemiştir.
- Briket üretiminden sonra her numuneden örnekler alınmış, 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyler yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen parametrelere uygun olarak, üretilen numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiş, ağırlıkça belirlenen oranda ikame edilen numunelerin standartlara uygunluğu araştırılmıştır. Edinilen bilgiler ışığında uçucu kül ikamesi ile üretilen ürünlerin maliyet analizi yapılmıştır.

Bu bölümde, deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bilgiler verilmiş, numune üretiminin gerçekleştirilme safhaları, yapılan deneyler ve sonuçları aktarılmıştır.

3.1. Deney Numunelerinin Özellikleri

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan uçucu kül ikameli briketlere ait tanımlamalar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Standart numune boyutları ve adetleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.1. Uçucu kül ikameli deney numuneleri şekli ve miktarı

Numune Adı	Tanımı	Numune Şekli	Numune Adedi
UK ₀	Kontrol Numunesi Uçucu kül ikamesiz harç	13,5x39,5*18,5	12 Adet
UK ₂₀	%20 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç	13,5x39,5*18,5	12 Adet
UK ₃₀	%30 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç	13,5x39,5*18,5	12 Adet
UK ₄₀	%40 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç	13,5x39,5*18,5	12 Adet
TOPLAM			48 Adet

Agrega ve üretilen bims blok (briket) numunelerinin mekanik deneyleri, üretimi gerçekleştirilen Tıncır Bims’e ait tesisin laboratuvarında ve kontrol amaçlı Konya Ticaret Odası Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. Tıncır Bims firmasına ait laboratuvardaki ekipmanların görüntüsü Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3’de verilmiştir. Konya Ticaret Odası Üniversitesi Yapı Laboratuvarından birkaç görüntü Şekil 3.4’de verilmiştir.



a-Elek analizinde kullanılan elekler

b- Elek sarsma cihazı

Şekil 3.1. Elek analizi için kullanılan elekler ve sarsma aleti



Şekil 3.2. Numunelerin tartımında kullanılan hassas terazi ve tartı



a-Pres cihazı

b- Pres cihazına bağlı bilgisayar

Şekil 3.3. Numunelerin basınç dayanım deneylerinde kullanılan cihazlar



a-Numunelerin hazırlandığı tabla

b- Deney ekipmanlarının bulunduğu alan

Şekil 3.4. Konya Ticaret Odası Üniversitesi, yapı laboratuvarı genel görüntü

3.2. Briket Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Numunelerin üretiminde kullanılan uçucu kül, pomza, agrega, çimento ve karma suyu ile ilgili bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

3.2.1. Uçucu Kül Özellikleri

Uçucu kül, TS639'da, "Toz halinde veya öğütülmüş taşkömürü veya linyit kömürünün, yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alümino-silisli toz halinde bir yanma kalıntısıdır" diye tarif edilmektedir.

Termik santrallerin tipi, işletim biçimi, santralde kullanılan kömürün cinsi ve yanma biçimi uçucu külün özelliklerinde değişiklik sebebidir. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu ortaya çıkan ısı termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılırken, meydana gelen küller elektro filtreler vasıtası ile gaz akışı esnasında bacalarda tutulur.

Türkiye'de termik santral işletmeciliği ve elektrik üretimi konusunda kurumsal tecrübeye sahip iki kurumdan biri de şeker fabrikasıdır. Tüm şeker fabrikaları kendi tüketeceği elektriği üretecek şekilde projelendirilmiştir. Ülkemizde toplam 33 adet şeker fabrikası, bir bakıma 33 adet de termik santral olduğu düşünülürse bu tesislerden çıkan her atık uçucu kül çevresinde bulunan tesislere de hammadde sağlamış olacaktır. Bu sayıya ülkemizde bulunan 42 adet termik santral, 7 adet yapım aşamasındaki termik santral de eklendiğinde hammadde konusunda sorun yaşanmayacağı aşikârdır.

Ülkemizde uçucu kül kullanımı Avrupa ülkelerine oranla oldukça azdır. Birçok akademik çalışma uçucu küllerin yapı malzemeleri üretiminde çimento ikame malzemesi olarak kullanılabileceğini önermektedir. Günümüzde çimento üretiminde uçucu kül kullanımı da oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak, Avrupa ülkelerinde % 80'i farklı alanlarda kullanılırken ülkemizde bu oran % 2-3 seviyesindedir. Uçucu külün içeriğindeki kireç çimento kadar olmasa da bağlayıcılık özelliği taşımaktadır. İşlenebilirlik artarken, hidrasyon ısını düşürmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan uçucu kül, Konya Şeker San. Tic. A.Ş.'ye ait Çumra Şeker Entegre Tesislerindeki santralden temin edilmiştir. Bu santral Konya İli, Çumra İlçesinde bulunmaktadır. Santral Kapasitesi 50 MW gücündedir. Analizlerde TS EN 451-1 ve TS 687 standartlardaki metotlar kullanılmıştır. Sonuçlar ASTM C 618'e göre değerlendirilmiş, uçucu külün standartlardaki sınıfı tespit edilmiştir.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezine 2015 yılında yaptırılmış olan Gama Spektrometri Deneysel sonucunu Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3.2. Uçucu kül radyoaktivite deney raporu (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2015 tarihli rapor)

Deneysel Raporu		
Müşterinin adı	Konya Şeker San. Tic. A.Ş.	
Numunenin Barkod Numarası	S150266001	
Numunenin Kabul Tarihi	03/04/2015	
Numunenin Adı ve Miktarı	Uçucu Kül- 1 adet 2 kg	
Deneysel yapıldığı tarih	05/05/2015	
Deneysel yapıldığı laboratuvar	Gama Spektrometri Laboratuvarı	
Deneysel methodu ve Şartnamesi	Gama Spektrometri Yöntemi (ASTM E 181:2010)	
Deneysel Adı	Toprak ve Yapı Malzemelerinde Gama (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) Radyoaktivite Analizi	
Ölçüm Sonuçları (Birim)	Ra-226	390 ± 28 Bq/kg
	Th-232	66 ± 7 Bq/kg
	K-40	220 ± 25 Bq/kg
	Cs-137	< Ölçülebilir Minimum Değer ÖMD 0,5 Bq/kg
	I	1,70 ± 0,14 Bq/kg
Değerlendirme	Avrupa Komisyonunun 1999 tarih ve 112 nolu Radyasyondan Korunma raporunda ifade edilen ilkeler doğrultusunda, malzemenin çimento ve beton gibi yapısal malzemelerde katkı hammaddesi olarak ağırlıkça azami % 35 oranında kullanılmasında radyolojik açıdan bir sakınca görülmemektedir.	

İnsanların yaşamının % 80'lik bölümünün kapalı ortamlarda geçtiği göz önüne alındığında yapıyı oluşturan tüm malzemelerden yayılan radyasyonun uzun vadede insan sağlığına önemli etkileri yaratacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda Ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, dünyada UNSCEAR (United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation) ve UAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) komisyonları tüm yapı malzemelerinde belirli oranlarda radyasyona izin vermektedir. Limit değerleri verilen bu yapı malzemeleri için kullanım kısıtlılığı bulunmaktadır. Bu nedenle üretilen numunelerin piyasa koşullarında

kullanılabilirliğinin tespiti amacı ile bu rapora tezde yer verilmiştir. Raporun değerlendirme bölümünde ağırlıkça %35 oranında kullanılması radyolojik açıdan bir sakınca bulunmadığını göstermektedir.

Deneylerde kullanılan çimentonun CEM I 42,5 R sınıfı yani katkısız çimento olması hasebiyle % 40 ikame edilmiş numune denemesi de yapılmıştır. Bu ürünlerin piyasa koşullarında kullanılmasında raporun değerlendirme bölümündeki kıstasa göre bir sakınca bulunmamaktadır. Ancak bu durumda radyoaktivite deneyi yapılması önerilmektedir.

Harç hazırlanmasında kullanılan santral külünün kimyasal bileşenleri incelendiğinde Çizelge 3.3'de verilen bilgilere ulaşılmıştır. $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ oranı toplamda % 60,23'dür. S+A+F oranının % 50 üzerinde ve CaO oranının % 10'dan yüksek olması (% 17,76), uçucu külün ASTM C 618 standardına göre C sınıfı yüksek kireçli uçucu kül sınıfında olduğunu göstermiştir (Çizelge 3.3.).

Çizelge 3.3. Uçucu kül kimyasal analizi sonuçları

Bileşik Adı	%	Bileşik Adı	%
SiO ₂	35,50	MgO	2,33
Al ₂ O ₃	12,95	Na ₂ O	0,15
Fe ₂ O ₃	11,78	K ₂ O	1,44
S+A+F	60,23	SO ₃	13,73
CaO	17,76	KK	2,84
TiO ₂	0,62	P ₂ O ₅	0,14
Cr ₂ O ₃	0,03	Organik Karbon	1,37

3.2.2. Pomzanın Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan pomza, Nevşehir bölgesinden temin edilmiştir. Deneyin yapıldığı tesisin sürekli malzeme aldığı ocaktan belirli sürelerde sevkiyat yapıldığı bilinmektedir. Pomzanın temin edildiği ocaktan alınan kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler Çizelge 3.4'de gösterilmiştir. Pomzanın fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Pomza kimyasal analizi sonuçları

Bileşik Adı	%	Bileşik Adı	%
SiO ₂	71,35	MgO	0,50
Al ₂ O ₃	12,90	Na ₂ O	3,40
Fe ₂ O ₃	1,40	K ₂ O	3,45
TiO ₂	0,00	FeO	0,90
MnO	0,10		
CaO	1,60		

Çizelge 3.5. Pomzanın fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Değer
Gevşek Yığın Yoğunluğu (Nemli)	550-650 kg/m ³
Gevşek Yığın Yoğunluğu (Kuru)	400-450 kg/m ³
Özgül Kütle	2,327 g/cm ³
Su Emme Oranı	30-70 %
Gözeneklilik	45-90 %
Renk	Açık Gri ve Beyaz
Sertlik	5.5 – 6 (Mohs Sertliği)
pH	5.5-6

Pomza sahaya getirildikten sonra kullanılmadan önce kırıcıya girmektedir. Burada istenilen boyuta getirildikten sonra üretimde kullanılmaktadır. Pomza'nın 8 mm'nin altındaki boyut aralığında dayanımı daha yüksek bir agrega yapısı sergilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle piyasa koşullarında üretimi gerçekleştirilen tüm bims bloklarda kullanılan pomza 0-8 mm'nin altında dane büyüklüğüne sahiptir.

3.2.3. Agreganın Özellikleri

Üretimde kullanılan agrega boyutu 0–4 mm'dir. Konya'da Karaömerler Mevkii'nden temin edilen kırmataş malzeme sahada ebatlarına göre istiflenmektedir. Kullanım türüne bağlı olarak bunkerlere lastik tekerlekli iş makinesi vasıtası ile taşınmaktadır. Şekil 3.5'de tesisin agrega depo alanından bir görüntü bulunmaktadır.

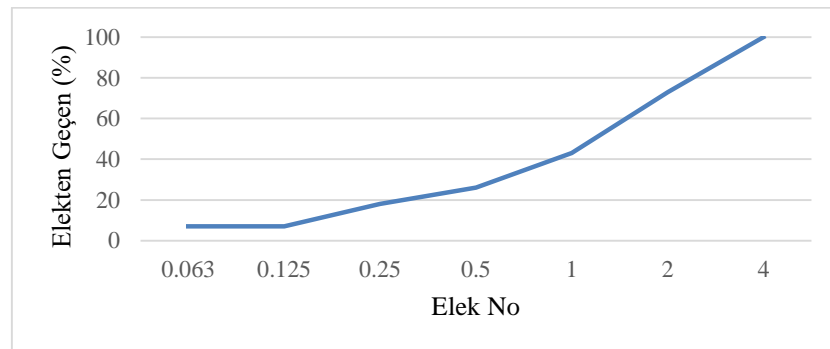


Şekil 3.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan agrega depolama alanı

Harç üretiminde kullanılan agrega için gerçekleştirilen elek analizi sonucu Çizelge 3.6'da ve hazırlanan grafik Şekil 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. 0-4 mm agrega elek analizi sonuçları

Numune Cinsi	0 - 4 mm				
Numune Miktarı	773 gr				
Deney Şekli	Kuru Eleme				
Elek çapı	Elekte Kalan	Kümülatif Ağırlık	Her Elekte Kalan	Kümülatif	
mm	gr	gr	%	Kalan %	Geçen %
4	0	0	0	0	100
2	213	213	27,5	27,55	73
1	229	442	57,18	57,18	43
0,50	128	570	73,74	73,74	26
0,25	61	631	81,63	81,63	18
0,125	90	721	93,27	93,27	7
0,063	0	721	93,27	93,27	7



Şekil 3.6. Agrega elek analizi grafiği

3.2.4. Karma suyu Özellikleri

Beton ve harç ile ilgili işlemlerde, suyun değişik kullanım amaçları vardır. Bu amaçların her birinde suyun uygun kalitede olması gereklidir. Suyun içerisinde betonu ve harcı olumsuz etkileyebilecek yabancı maddelerin olmaması gerekir.

Karışım suyu TS EN 1008’de bulunan şartları sağlamalıdır. TS En 1008’de “Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur” diyerek tarif edilmektedir. Karışım suyu içerisinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar betonda istenmeyen etkiler yaratabileceği bilindiğinden imalatın başlangıcından sonra yılda en az 2 kez, elde edilen sonuçlar birbirine yakın ise yılda bir kez test edilmiş olmalıdır.

Deneysel çalışmada kullanılan su, tesise ait kuyudan temin edilmiştir. Yapılan araştırmalarda tesis kurulumundan bu yana kuyu suyu ile üretim yapılmaktadır ve standartlara uygun olarak suyun analizini yaptırmaktadır. Kuyu suyundan numune alınmış ve analizleri yaptırılmıştır. Kullanılan suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Karma suyu analiz sonuçları

Analiz	Analiz Sonucu	Analiz Metodu
Fiziksel Parametreler		
pH	6,80	SM 4500 H+ B/ Elektrokimyasal - Limit Değer > 4
İletkenlik (EC) (20°C de mS/cm)	836	SM 2510 B. / Elektrot İletkenlik Ölçüm
Kimyasal Parametreler		
Toplam Alkalinite (CaCO ₃ – mg/l)	495,00	SM 2320 B. /Titrimetrik (H ₂ SO ₄) - Limit Değer 1500
Nitrat (NO ₃) (mg/l)	10,69	SM 4110 B / ICS-Limit Değer 500
Klorür (Cl) (mg/l)	243,95	SM 4110 B / ICS-Limit Değer 500
Sülfat (SO ₄) (mg/l)	222,26	SM 4110 B / ICS-Limit Değer 2000

Karma suyu analiz sonuçları, TS EN 1008 Tablo:308-10 Beton Karma Suyu Standardı sınır değerlerine göre uygun bulunmuştur.

3.2.5. Çimento Özellikleri

Harç hazırlanması esnasında CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Konya Çimento A.Ş. tarafından üretilen çimento TSE EN 197-1'e uygun olup olmadığı, çimento fabrikası laboratuvarlarında test edilmiştir. Kullanılan çimentonun mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Çimento analiz sonuçları

Analiz Sonuçları	CEM I 42,5 R	TS EN 197-1
2 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	29,6	$\geq 20,0$
7 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	-	-
28 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	47,8	$62,5 \geq x \geq 42,5$
SO ₃ (%)	3,42	$\leq 4,0$
MgO (%)	-	-
Cl (%)	0,03	$\leq 0,10$
Kızdırma Kaybı (%)	4,42	$\leq 5,0$
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,92	$\leq 5,0$
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3701	-
Priz Başlangıcı (dakika)	160	≥ 60
Priz Sonu (saat)	-	-
Hacim Sabitliği (mm)	1	$\leq 10,0$
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658 K ₂ O) %	0,66	-

TS EN 197-1 Standardı genel çimento sınıflarının bileşimini, özelliklerini ve uygunluk kriterlerini içeren tanımlayıcı bir standarttır. Bu standard 2011 yılının Kasım ayında Avrupa'da, 2012 yılının Şubat ayında ise Türkiye'de revize edilmiştir. Üretilen numunelerde kullanılan çimento CEM I 42,5 R sınıfındadır. TS EN 197-1 de bu tip çimento, hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen reaktif CaO ve SiO₂ toplamının kütlece en az % 50 olması gereken çimento olarak tarif edilmektedir. Bileşiminde % 95-100 oranında klinker bulunurken, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, pişmiş şist ve kalker bulunmaz, minör oranda % 0-5 ilave katkıları bulunabilir.

Uçucu külün üretilecek biriket numunelerinde meydana getireceği mekanik ve fiziksel etkilerin daha net anlaşılabilmesi adına mineral katkısız çimento tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalar, Tıncır Bims firmasının planlamasına göre miktarı ve

temin süresi değişen, silobas dorseler vasıtası ile taşınıp, tesiste çimento silolarında muhafaza edilen CEM I 42,5 R türü çimento kullanılarak yapılmıştır.



4. YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde yapılan deneysel çalışmalar ve bu deneylerin uygulama esasları hakkında bilgiler verilmiştir.

4.1. Numunelerin Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Teknolojik gelişmeler neticesinde, gözenekli ve doğal hafif kayaçların, hafif beton agregası olarak kullanılması ile meydana getirilen farklı şekil ve geometrideki yapı elemanlarının yapım aşamasında kullanım yeri belirli standartlara uygun olmasını gerektirir. Ancak, pomzadan üretilen yapı elemanlarının kullanımına yönelik Türk Standartları incelendiğinde, konu ile ilgili başlıca standart TS EN 771-3+A1'e ulaşılmaktadır. Bu standart içerik olarak incelendiğinde teçhizatsız bims blok yapı malzemelerinin standarda uygunluk analizinin iki ana kriteri;

- Blok elemanların şekil, boyut ve geometrisi ile ilgili getirilen sınırlamalar
- Blok elemanlarının birim hacim ağırlık, basınç mukavemeti ve tanıtım işaretleri ile ilgili getirilen şartları

Kapsadığı görülmektedir.

Deneysel çalışmalar, TS EN 771-3+A1:2015 Kâgir Birimler – Özellikler – Bölüm3: Beton Kâgir Birimler (Yoğun ve hafif agregalı) ve TS EN 13055-1/AC:2006 Hafif agregalar (Bölüm 1: Beton, harç ve şerbette kullanım için) standartlarından ve TS EN 772-13 Kâgir Birimler – Deney Metotları – Bölüm 13: Kâgir Birimlerin net ve brüt kuru birim hacim kütlelerinin tayini standardından faydalanılarak belirlenen kriterler doğrultusunda hazırlanmıştır.

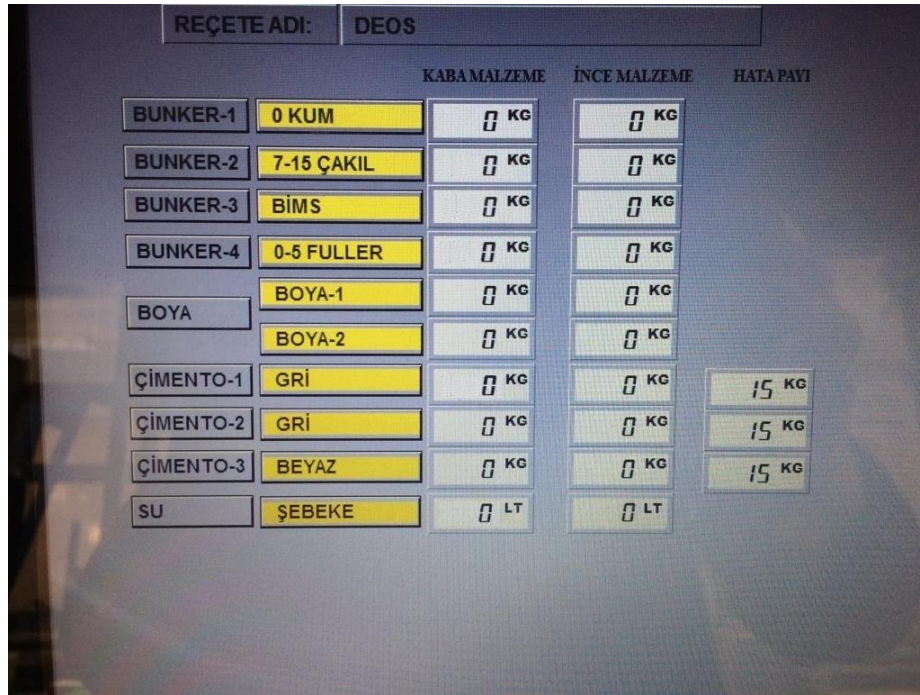
TS EN 771-3+A1:2015 Kargir Birimler – Özellikler – Bölüm3: Beton Kargir Birimler (Yoğun ve hafif agregalı) standart esas olarak, binaların ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapıların yük taşıyan veya taşımayan kâgir kısımlarında kullanılmak için tasarlanmış, yoğun veya hafif agrega veya bunların karışımı kullanılarak yapılan beton kâgir birimlerin karakteristiklerini ve performans gereksinimlerini kapsamaktadır.

TS EN 13055-1/AC:2006 standardı ise, doğal, yapay ve geri kazanılmış malzemelerin işlenmesi ile elde edilen hafif agregalar ve hafif dolgu agregaları ile bunların karışımından oluşan agregaların, binalar, yollar ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapılarda kullanılan beton, harç ve şerbet içinde kullanımı için gerekli özellikleri kapsamaktadır.

Yapılan deneysel çalışma kapsamında tesiste üretimi gerçekleştirilen ürün 13,5x39,5x18,5 iki sıra boşluklu 6 gözlü bims bloktur. Tam otomatik bims blok makinesi mikserine alınan malzeme ile 16 adet baskı yapılabilmekte ve her baskı bir palet üzerine 12 adet briket üretimi gerçekleştirmektedir. Bu da toplamda 192 adet ürün basımı demektir. Çizelge 4.1’de 192 adet briket basımı için gerekli olan malzeme miktarları gösterilmiştir. Briket üretim makinesine ait mikser aşağıdaki belirtilen karışımın yapılması ile makineyi besleyebildiğinden her bir karışım Şekil 4.1’deki otomasyon ekranına tek tek girilerek numunelerin basılması sağlanmıştır. Mikserin bir defa dolması ile 16 adet baskı yapılabilmekte ve her baskıdan bir palette 12 adet bims blok çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. Numune karışım miktarları

Numune Adı	Agrega (kg)	Pomza (kg)	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	Su (kg)
UK ₀	575	2375	240	0	103
UK ₂₀	575	2375	192	48	103
UK ₃₀	575	2375	168	72	103
UK ₄₀	575	2375	144	96	103



Şekil 4.1. Otomasyon sistemine veri giriş ekranı

Üretilen numunelerdeki çimento ağırlıkça %0, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ikame edilerek 4 farklı üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen bims blok numunesine ait görüntü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada üretilen bims blok numunesi

4.2. Numunelerin Üretim Metodu

Deneysel çalışmada üretimi gerçekleştirilen bims bloklar Tınkır Bims firmasına ait 2016 yılında Alman teknolojisi ile üretilmiş Ermak marka briket makinesi ile yapılmıştır. Şekil 4.3’de üretimin gerçekleştiği makineye ait fotoğraflar bulunmaktadır.



a- Helezon ve kayar bantların olduğu bölüm b- Kalıp ve hammadde dolum bölümü

Şekil 4.3. Üretimin gerçekleştirildiği makine

Üretim, hammaddelerin bir mikserde karıştırılarak harç haline getirilmesi ve basınçlı bir pres vasıtası ile kalıplara yerleştirilmesi ve kurutulması tekniğine dayanmaktadır. Üretim tam otomatik makinalarda bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir.

- Agrega ve bimsin elevatöre yükleme işlemi lastik tekerlekli iş makinelerince yapılır
- Elevatörler mikser ünitesine agregaları otomatik olarak boşaltır
- Mikser ünitesine karşında belirlenen oranda çimento otomatik olarak çimento silosundan alınır
- Mikserde bu kuru karışım karıştırılarak hazırlanırken depodan su ilave edilmeye başlanır
- Silolardan hammaddenin boşalması ve miksere yüklenmesi ile hazırlanan bu karışım presleme silosuna boşaltılır
- Belirlenen ürün tipine göre karışım kalıplara alınarak pres makinesinde ahşap paletler üzerine basımı gerçekleşir.
- Pres ünitesinde şekillendirilen bu ürünler, bir bant vasıtası ile üniteden çıkartılır
- Henüz nemli olan bu üretilmiş mamuller ilk gözlemsel kalite kontrolden geçtikten sonra taşıyıcı robot vasıtası ile prizlerini kazanması için priz alma ünitelerine yerleştirilir

4.2.1. Pomzanın Hazırlanması

Pomza madeni sahaya dana önce anlaşması yapılmış ocaktan öğütülmüş olarak getirilmiştir. Şekil 4.4'de tesiste depolanan pomza madeni deposundan bir görüntü bulunmaktadır. Tüvanan olarak temin edilen pomza, 0-12 mm merdaneden geçirilerek üretime hazırlanmaktadır. Homojen bir karışım hazırlamak ve kalıplara yerleştirme aşamasında herhangi bir problemle karşılaşmamak adına kaba tanelerin ayrılması zorunlu bir ihtiyaçtır.



Şekil 4.4. Pomza deposundan bir görünüş

Piyasadan temin edilen pomza kimi zaman iri taneli olarak gelmektedir. Bu durumda önceden öğütme işlemine, ardından elemeye tabi tutulur. Uygun boyutlara indirgenen pomza silolara aktarılır.

Elemedeki asıl amaç, sahaya gelen pomza içerisindeki varsa taş ve kum gibi maddelerin ayrışmasını da sağlamaktır. Böylece, üretilen blokların fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek ilave yabancı maddeler de ayrıştırılmış olmaktadır. Şekil 4.5’de sahaya getirilmiş pomza malzemenin eleme ve temizlemeden önceki hali görülmektedir.



Şekil 4.5. Pomza eleme ve temizlemeden önce

4.2.2. Agreganın Hazırlanması

Agrega istenilen boyut ve karışımında önceden belirlenen ocaktan temin edilmektedir. Tesise getirilen bu malzeme önceden eleme ve temizleme işlemine tabi tutulduğundan artık bu alanda herhangi bir uygulama yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Şekil 4.6'da sahada depolanan agreganın bir görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 4.6. Agregada depo sahası

Agrega buradan ihtiyaç durumunda göre lastik tekerlekli iş makineleri vasıtasıyla alınarak üretim bölümündeki alanlara ebatlarına uygun olarak yerleştirilir. Şekil 4.7'de üretim alanında agrega alınan bölümden bir görüntü bulunmaktadır. Genellikle haftada bir defa gelen hammaddeler üzerinde kontrol amaçlı elek analizi deneyleri yürütülür. Böylece ocaktan sahaya gelen ürün değişiminden kaynaklı üretimde aksamaların önüne geçilmiş olmaktadır. Bir bakıma bu uygulama kalite kontrol sisteminin bir parçası olarak üretilen ürünlerin standartlara uygun olmasını da sağlamaktadır.



Şekil 4.7. Üretim alanı agrega ve pomza alım bölümü

4.2.3. Çimento Hazırlanması

Çimento Konya Çimento Fabrikasından silobas treyler araçlar ile sahaya gelmektedir. Saha içerisinde belirlenen çimento silosuna boşaltımı gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.8’de bims blok üretim tesisine ait çimento siloları görülmektedir.



Şekil 4.8. Üretim alanı çimento siloları

4.2.4. Karışım Suyunun Hazırlanması

Üretilen tüm ürünler için gerekli olan karışım suyu tesiste bulunan kuyudan temin edilmektedir. Her yıl bu sudan numune alınmak sureti ile testler yaptırılmış, beton karma suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağı tespit ettirilmiştir. Kuyudan pompalar vasıtası ile çekilen su bir şartlandırma ünitesinden geçerek depoya doldurulmaktadır. Şekil 4.9’da tesiste bulunan kuyu ve şartlandırma deposundan bir görüntü bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Tesis kuyusu ve depo

İhtiyaca göre tesiste bulunan tüm cihazlara su bu noktadan gönderilmektedir. Pres ünitesinin mikser bölümüne de bu depodan çekilen bir hat vasıtası ile su temin edilmektedir.

4.2.5. Uçucu Külün Hazırlanması

Uçucu kül, Konya Şeker San. Ve Tic. A.Ş.'nin Çumra Şeker Entegre Tesislerindeki santralinden bigbag adı verilen yaklaşık 2 ton kapasiteli çuvallara doldurularak üretimin gerçekleştirileceği tesise nakledilmiştir. Şekil 4.10'da uçucu külden bir görüntü bulunmaktadır.



Şekil 4.10. Çalışmada kullanılan uçucu kül

Üretimde daha önce uçucu kül kullanılmadığı için sisteme nasıl bir yükleme yapılacağı öncelikli olarak tartışılmıştır. Yapılan deneylerin daha hassas olması talep edildiğinden mikserde el ile boşaltmanın daha uygun olacağına karar verilmiştir. Şekil 4.11'de üretime uçucu külün karıştırılması ile ilgili görüntü bulunmaktadır. Bir başka uygulama metodu ise, çimento silosuna karışım yapılması şeklindedir. Ancak, üretilen numunelerin uygun formda çıkıp çıkmayacağı bilinemediğinden ve farklı oranlarda karışım uygulaması yapılacağından bu fikirden vazgeçilmiştir.



a- Uçucu külün ilave edilmesi anı



b- Uçucu külün ilave edilmiş durum

Şekil 4.11. Üretime uçucu kül ilavesi

4.3. Karışımın Hazırlanması

Üretim tesisinde karışımın hazırlanma işlemi, kumanda odasından gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.12’de kumanda odasından bir görüntü bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Kumanda odası

Üretim reçetesine uygun olarak, pomza, agrega, çimento mikserde alınır ve gerekli miktarda su ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar mikserde karıştırılır. Şekil 4.13’de bims blok makinesine ait mikser ve hammadde yükleme arabası, Şekil 4.14’de ise hammadde yükleme arabasının dolum istasyonu ve yükleme bandı görülmektedir. Üretilen ürünlerin standartlara uygun olması adına karışım homojen olması için uygun süre ile karıştırılması zorunludur.



Şekil 4.13. Mikser ve hammadde yükleme arabası



a- Hammadde dolum istasyonu



b- Taşıma bandı

Şekil 4.14. Hammadde dolum istasyonu ve taşıma bandı

4.4. Kalıplama ve Presle Ürünün Basılması

Pres makinesine üretilecek ürüne uygun boyutlarda kalıplar yerleştirilir. Tesiste 10 luk, 13,5 luk, 15 lik, 19 luk, 25 lik bims bloklar ile 25 lik asmolen bloklar, 25 lik çok sıra boşluklu bims bloklar ile 19 luk çok sıra boşluklu bims blok üretimi gerçekleştirilebildiğinden tüm bu ürünlere ait metal kalıplar bulunmaktadır. Şekil 4.15’de kalıplar ve stok alanı görülmektedir.



Şekil 4.15. Ürün kalıpları ve kalıplara ait stok alanı

Deneysel çalışmada firmanın da üretimini engellemek adına 13,5 luk bims blok denemesi yapılmasına karar verilmiştir. Metal kalıp presleme ünitesine itina ile yerleştirilmiş, ön kontrolü yapılmıştır. Karışımların hazırlanmasına müteakip mikserden alınarak, presleme silosuna aktarılmış, yaklaşık 7 ton basınçlı vibrasyonlu makine ile kalıplara yerleştirilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.16'da %20 ikame oranlı numunenin basım anı, Şekil 4.17'de %30 ikame oranlı numunenin basım anı, Şekil 4.18'de de %40 ikame oranlı numunenin basım anı görülmektedir.



Şekil 4.16. %20 ikame oranlı numune basımı



Şekil 4.17. %30 ikame oranlı numune basımı



Şekil 4.18. %40 ikame oranlı numune basımı

Uygulanan kalıplama basıncı ve hızı, üretilen ürünlerin kalitesine etkisi olduğundan, makinenin teknik verileri de göz önüne alındığında uygun basınç miktarı belirlenen süre içerisinde kalıplara uygulanmıştır. Daha uzun veya daha kısa süreli basınçlama ve düşük basınç kuvveti ürünlerde bozulmaya sebep olmaktadır.

4.5. Kurutma ve Kür Uygulaması

Kalıplanarak şekillendirilen bloklar ahşap paletler üzerine alınarak kürelemeye bırakılır. Şekil 4.19'da makineden basılan ürünlerin ahşap paletlere alınması görülmektedir.



Şekil 4.19. Üretilen ürünlerin ahşap paletlere yerleştirilmesi

Tam otomatik çalışan bu sistem de bulunan kayar bantlar vasıtası ile presleme ünitesinden çıkan ürün taşıyıcı robotların bulunduğu alana sevk edilir. Şekil 4.20’de kayar bantlar ve ürün sevkiyatı görülmektedir.



Şekil 4.20. Üretilen ürünlerin taşıyıcı robotlara nakli

Taşıyıcı robotlar bu üretilen ürünleri kurulmuş olan çelik raf sistemine kürlenmek üzere taşır, her üretilen parti belirli bir sıraya göre robotlar vasıtası ile yerleştirilir. Şekil 4.21’de Taşıyıcı robotların sevkiyatı ve kürlenme alanı raf sistemi görülmektedir.



a- Taşıyıcı robot ve ray sistemi

b- Kürlenme alanı raf sistemi

Şekil 4.21. Taşıyıcı robot ve kürlenme alanı raf sistemi

Kurutma işlemi kürlemenin ardından doğrudan güneş ışığından yararlanılarak yapılmaktadır. Tesis ilk kurulduğunda kapalı ortamda buhar ile de kürleme yapılabildiği bilgisi tesis çalışanlarından alınmıştır. Ancak, tesis çalışma maliyetleri ve ekonomik sebepler göz önüne alındığında buhar ile kürleme sistemi devre dışı bırakılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus güneş ışığından yararlanılarak kurutma ekonomik olmakla birlikte, iklim şartlarına bağlı olarak her zaman açık ortamda kurutma yapmak mümkün olmayabilir. Ancak, üretim planlaması uygun hava koşulları da gözetilerek yürütülmektedir.

4.6. Kalite Kontrol ve Ambalajlama

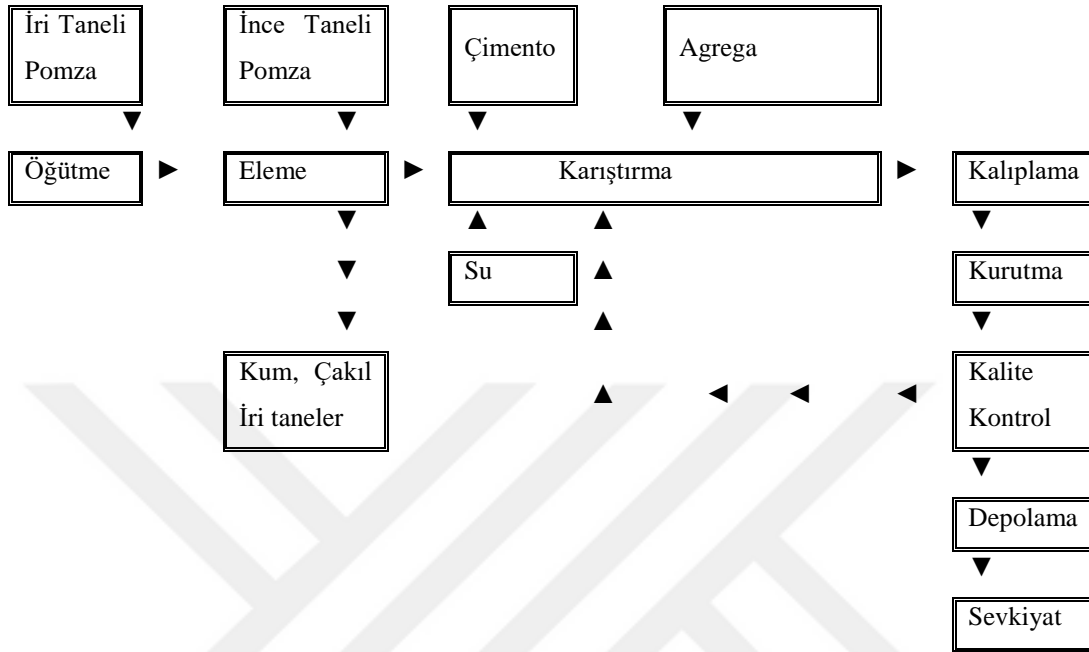
Üretilen tüm ürünler pres ünitesinden çıktıktan hemen sonra kayar bant üzerinde taşıyıcı robotlara ulaşmadan önce gözle test edilmektedir. Kalite kontrol mühendislerince uygun evsafa olmayan ürünler palet bazında sistemden bir bant vasıtası ile ayrılarak henüz yaş ürün statüsünde iken tekrar hammadde hazırlama alanına gönderilmektedir. Böylece hem kontrollü ürün üretmek mümkün olmakta, hem de geri dönüşümde kullanılarak malzeme zıyatı en aza indirilmektedir. Üretilen her partiden belirli sayıda numune alınarak laboratuvara ürün kodu ile birlikte teslim edilen ürünler üzerinde standartlara uygun deneyler yapılmaktadır. Dayanım değerleri kontrol edilen bu ürünler kalite kontrole tabi tutulmaktadır. Kalite Kontrolde geçen ve onay alan her ürün sabitlenmiş, marka ve ürün etiketleri yapıştırılmış olarak sevkiyat alanına gelir. Şekil 4.22’de sevkiyat alanına götürölmek üzere hazırlanan ürünler görölmektedir.



Şekil 4.22. Sevkiyat alanına gidecek olan ürünler

Satış ve Pazarlama kriterlerince belirlenen miktarda ürün tırlara yüklenerek sevkiyatı yapılmaktadır. Çizelge 4.2’de üretime ait akış diyagramla gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Üretim Akış Diyagramı



4.7. Numuneler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar

Her bir karışım için aşağıda belirtilen standartlara uygun olarak analizler yapılmıştır. Bu analizler;

TS EN 772-2 standardı ve TS EN 772-16:2012 standardı kullanılarak boyutların tayini analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ürünlerin uçtan uca boyutlarının, dış ve iç et kalınlıkları ile bu kalınlıkların toplamının ve boşluk derinliklerinin, döşeme yüzlerinin düzlemsel paralelliğinin tayini yöntemlerini kapsamaktadır. Böylece üretilen her ürünün standarda uygun olup olmadığı tolerans değerler içerisinde kalıp kalmadığı gözlemlenmiştir.

Üretilen her karışım numunesi için TS EN 772-16, TS EN 772-2 ve TS EN 772-20'ye göre konfigürasyon ve görünüş analizi yapılmıştır. Bu çalışma tamamen gözlemsel nitelikte olmuştur. Üretilen her karışım numunesinin kontrol numunesinden farklı olan tarafları gözlemlenmiş, piyasa koşullarında kabul görüp görmeyeceği tartışılmıştır.

Numunelerin net ve brüt kuru birim hacim kütle tayini TS EN 772-13 standardına göre yapılmıştır. Üretilen tüm ürünlerin net ve brüt kuru yoğunluk hesaplamaları bu standarttan faydalanılarak oluşturulan tabloya işlenmiştir.

Basınç dayanımı deneyleri, 7 günlük ve 28 günlük kür sonunda TS EN 772-1:2011+A1 standardında belirtilen şartlara uygun olarak, kalibrasyonu yapılmış hidrolik basınç presi yardımı ile standart basınç mukavemeti deneyi uygulanmıştır.

4.7.1. Boyut ve Tolerans Analizi

Üretimi gerçekleştirilen tüm mamuller üzerinde TS EN 772-2 standardına uygun olarak boyut ve tolerans analizi gerçekleştirilmiştir. Deneyin ilk aşamasında bir cetvel yardımı ile tüm yüzeyler ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de Boyut ve Tolerans Analizi yapılışından bir örnek görülmektedir.



a- %30 ikameli ürünün yükseklik ölçümü



b- %30 ikameli ürünün uzunluk ölçümü

Şekil 4.23. % 30 ikameli ürün boyut ve tolerans analizi



a- %40 ikameli ürünün uzunluk ölçümü



b- %40 ikameli ürünün yükseklik ölçümü

Şekil 4.24. % 40 ikameli ürün boyut ve tolerans analizi

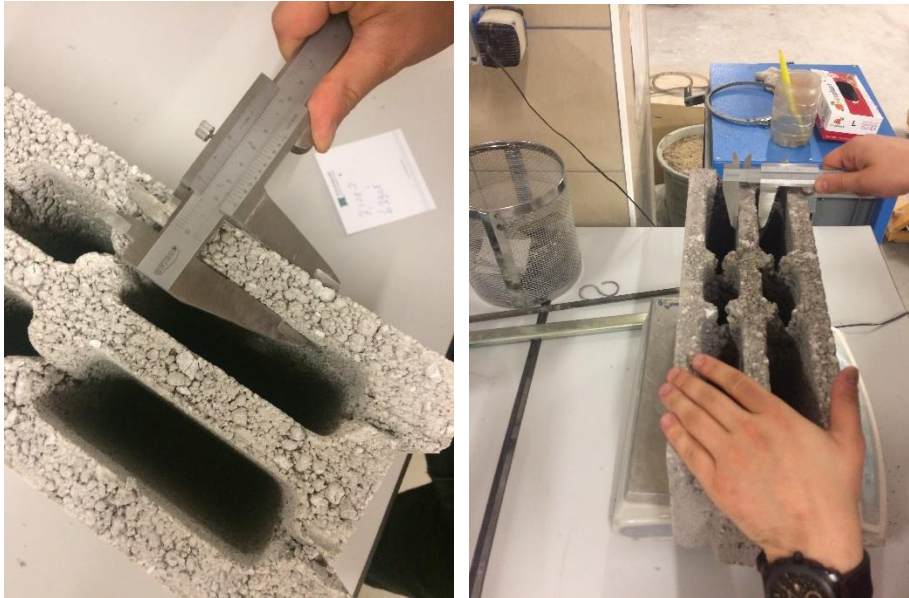
Çizelge 4.3'de ölçülen boyutlar ve tolerans değerleri bir tabloda listelenmiştir. Üretilen ürünlerdeki ölçülen boyutların, üretimi gerçekleştirilmesi istenen

13,5x39,5x18,5 ebatlarına olan farkı tespit edilmiş tolerans değeri içerisinde olup olmadığı belirlenmiştir. Deneyde üretilen tüm numuneler tam otomatik makinede çelik kalıplardan çıktığı için ebatlarında herhangi bir fark tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.3. Numunelere ait boyut ve tolerans değerleri

Numune Adı	Numunelerin Birim Boyutları			Maksimum Ölçüm Hatası (mm)
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	
UK ₀	37,5	13,5	18,5	0,20
UK ₂₀	37,5	13,5	18,5	0,20
UK ₃₀	37,5	13,5	18,5	0,20
UK ₄₀	37,5	13,5	18,5	0,20
Ortalama	37,5	13,5	18,5	0,20

Deneyin ikinci aşamasında, TS EN 772-16:2012 standardına göre numunenin iç cidar kalınlığı, dış cidar enine doğru olan kalınlığı ve dış cidar boyuna doğru olan kalınlığı kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Şekil 4.25’de kumpas yardımı ile yapılan ölçümlerden birkaç örnek görülmektedir. Yapılan ölçüm sonucunda edinilen bilgiler bir tablo haline getirilmiştir. Çizelge 4.4’de ölçülen ve kayıt altına alınan değerler görülmektedir.



a- Dış cidar kalınlığı tespiti

b- İç cidar kalınlığının tespiti

Şekil 4.25. Deneyin ikinci aşaması et kalınlıklarının tespiti

Çizelge 4.4. Et kalınlığı tayini

Özellik	Numune			
	UK ₀	UK ₂₀	UK ₃₀	UK ₄₀
İç cidarların kalınlığı (cm)	2,24	2,24	2,22	2,10
Dış cidarların kalınlıkları (Enine) (cm)	2,25	2,25	2,22	2,20
Dış cidarların kalınlıkları (Boyuna) (cm)	2,25	2,25	2,22	2,24

4.7.2. Konfigürasyon ve Görünüş Analizi

Üretimi gerçekleştirilen tüm numunelerin şekil, yüzey boşluğu, renk ve piyasa şartlarına uygun olup olmadığı konfigürasyon analizi ile tespit edilmiştir. Üretilen ürünlerin piyasada eşdeğer ürünler ile arasında fark olup olmadığı ayrıştırmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda Çizelge 4.5. oluşturulmuştur.

Çizelge 4.5. Konfigürasyon ve görünüş analizi

Analize Esas Özellikler	Numunelerin Birim Boyutları			
	UK ₀	UK ₂₀	UK ₃₀	UK ₄₀
Şekil	Dikdörtgen Prizma	Dikdörtgen Prizma	Dikdörtgen Prizma	Dikdörtgen Prizma
Yüzeysel boşluklar	Kısmen Az	Kısmen Az	Kısmen Az	Yok denebilecek kadar az
Renk	Gri	Gri	Gri	Koyu Gri
Piyasa Şartlarına Uygunluk	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun Değil

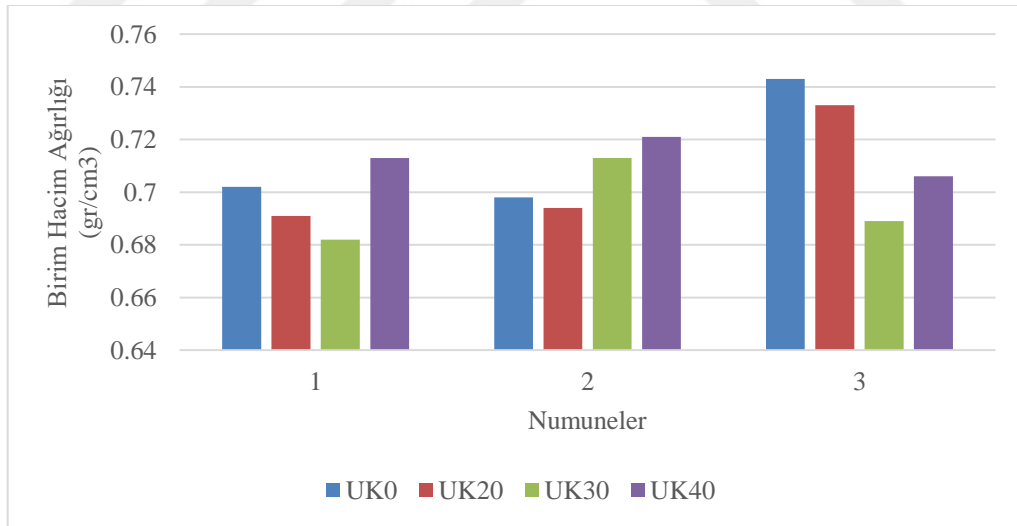
Çizelge 4.5. incelendiğinde, çimento ağırlıkça %40 oranında ikame edilmiş UK₄₀ numunesinin piyasada eşdeğer ürünlere göre daha koyu gri renkte olduğu, yüzeysel boşluklarının yok denebilecek kadar az olduğu görülmüştür. Kontrol numunesi ile arasındaki farklardan dolayı piyasa şartlarında kabul görmeyeceği düşünüldüğünden uygunluk verilmemiştir.

4.7.3. Birim Hacim Ağırlık Analizi

TS EN 772-13 standardı kullanılarak hazırlanan numunelerin boyutları 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüş ve hacmi bulunmuştur. Numuneler etüve konularak değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkartılan numuneler soğuduktan sonra 0,1 gr hassasiyete ölçü verebilen terazi kullanılarak tartılmıştır. Tartım sonucunda numunelere ait kütle (gr) numunenin hacmine (cm³) bölünerek birim hacim ağırlık analizi yapılmış, Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Birim hacim kütle analizi

Numune Adı	Uzunluk (cm)	Genişlik (cm)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Kuru Ağırlık (Ortalama) (gr)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)
UK ₀	37,4	13,4	18,5	9271,46	6623,83	0,714
UK ₂₀	37,5	13,4	18,4	9246,00	6525,20	0,706
UK ₃₀	37,4	13,4	18,4	9221,34	6407,83	0,695
UK ₄₀	37,4	13,5	18,3	9239,67	6591,50	0,713



Şekil 4.26. Birim hacim kütle analizi grafiği

4.7.4. Basınç Dayanım Analizi

Basınç dayanım deneyi, TS EN 772-1:2011+A1 standardı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel numunelerin üretildiği Tınkır Bims Tesisi laboratuvarında ve Konya Ticaret Odası Üniversitesi Yapı Laboratuvarında basınç dayanımı deneyi kuvvet kontrollü pres ile yapılmıştır. Deneyden önce numunenin

basınç uygulanacak yüzü harçlanarak düzlem haline getirilmiştir. Bu işleme başlıklama adı verilmektedir. Başlıklamanın yapılması aşama aşama Şekil 4.27 ve 4.28'de gösterilmiştir.



a- Tüm numuneler kağıtla beslenirken



b- % 20 ikameli numuneler kağıtla beslenirken

Şekil 4.27. Numunelerin başlıklanma aşaması (kağıt ile besleme)



a- Kalıplanan yüzey harçlanmış numune



b- Numunenin diğer tarafı harçlanıp başlıklanırken

Şekil 4.28. Numunelerin başlıklanma aşaması (harcın kalıplara yerleştirilmesi)

Başlıklama için 1/1 oranlarında çimento ve ince kum karışımından harç hazırlanmış, briketin delikleri buruşturulmuş kağıt parçaları ile doldurulmuş ve ardından yaklaşık 2-3 cm kalınlığında harç yüzeye uygulanmıştır. Yüzeye uygulanan harcın sertleşmesi için üzeri ıslak bez ile örtülmüştür. Başlıklaması yapılan ve deneye hazır hale gelen numuneler Şekil 4.29'da görülmektedir.



a- % 30 ikameli numune başlıklamadan sonra

b- Kontrol numunesi başlıklamadan sonra



c- Tüm numuneler başlıklamdan sonra

Şekil 4.29. Numunelerin başlıklanma aşaması (kalıpların sökülmesi ve deneye hazır numuneler)

Basınç dayanım deneyi için hazırlanan numunelerin saniyede maksimum 1 MPa yük uygulanarak, preste kırımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.30 - Şekil 4.33'de basınç dayanım deneyinin yapıış süreci ile ilgili görüntüler bulunmaktadır.



Şekil 4.30. Basınç dayanım deneyi (deney cihazı pres)



a- Kontrol numunesi cihaza yüklenmesi

b- % 30 ikameli ürün cihaza yüklenmesi

Şekil 4.31. Basınç dayanım deneyi (numunelerin cihaza yüklenmesi)



a- Kontrol numunesi kırılma anı

b- % 30 ikameli ürün kırılma anı

Şekil 4.32. Basınç dayanım deneyi (basınç uygulama ve testlerin yapılması)



a- % 20 ikameli ürün deneyden sonra

b- % 30 ikameli ürün deneyden sonra

Şekil 4.33. Basınç dayanım deneyi (kırılmış numuneler)

Deneyin gerçekleştirildiği basınç cihazının bağlı olduğu bilgisayarda değerler anbean izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Kontrol numunesine ait 7 günlük basınç dayanım test sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₀ Kontrol Numunesi - 7 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Başlıklı Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8740	66,8	1,32
UK ₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8699	64,8	1,28
UK ₀ – 3	37,5	13,5	506,250	9115	77,4	1,53
ORTALAMA					69,7	1,38

Uçucu kül ikame edilmemiş bu kontrol numunelerinde uygulanan basınç dayanım değerleri ayrı ayrı belirlendikten sonra bu üç numune için ortama değer hesaplanmıştır. Kontrol numunesine ait 28 günlük deney sonuçları ise Çizelge 4.8’de görüleceği üzere bir tabloya aktarılmıştır.

Çizelge 4.8. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₀ Kontrol Numunesi - 28 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8740	69,4	1,37
UK ₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8699	68,6	1,35
UK ₀ – 3	37,5	13,5	506,250	9115	73,4	1,45
ORTALAMA					70,5	1,39

Basınç dayanım deneylerinin uygulanması aşamasında başlıklanmış numuneler tekrar tartılmış ve tabloya işlenmiştir. Ağırlıkça %20 oranında uçucu kül ikame edilmiş numunelere ait 7 günlük basınç dayanım değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₂₀ - 7 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₂₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8626	66,9	1,31
UK ₂₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8534	63,9	1,28
UK ₂₀ – 3	37,5	13,5	506,250	8864	65,7	1,38
ORTALAMA					65,5	1,32

Çizelge 4.10’da 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri görülmektedir. Tablodan da görüleceği üzere bu değerler kontrol numunesine ait 28 günlük değerlere çok yakındır. Kontrol numunesi ile %20 ikameli numuneye ait basınç dayanım değerleri arasında %4,88’lik bir fark olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.10. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₂₀ - 28 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₂₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8626	70,5	1,38
UK ₂₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8534	71,9	1,44
UK ₂₀ – 3	37,5	13,5	506,250	8864	74,3	1,56
ORTALAMA					72,2	1,46

Deneye tabi tutulan diğer numuneler de teker teker tartımdan geçmiş, değerleri kayıt altına alınmıştır. % 30 oranında uçucu kül ikame edilmiş numunelerin birim hacim ağırlığında %3 civarı bir azalma görülürken, basınç dayanım değerlerinin %10 arttığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.11’de %30 ikameli numune için hazırlanmış tablo görülmektedir.

Çizelge 4.11. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₃₀ - 7 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₃₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8517	79,6	1,55
UK ₃₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8803	85,0	1,68
UK ₃₀ – 3	37,5	13,5	506,250	8586	67,3	1,33
ORTALAMA					77,3	1,52

Ağırlıkça % 30 oranında uçucu kül ikameli üç adet numunenin ortalama basınç dayanım değerleri 1,592 N/mm²’dir. Kontrol numunesine ait ortama değerden %12,5 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu hesaplanmıştır. 28 günlük basınç dayanım test sonuçları %30 ikameli ürünler için çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₃₀ - 28 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₃₀ - 1	37,5	13,5	506,250	8517	80,0	1,58
UK ₃₀ - 2	37,5	13,5	506,250	8803	87,8	1,73
UK ₃₀ - 3	37,5	13,5	506,250	8586	74	1,46
ORTALAMA					80,6	1,59

Üretimi gerçekleştirilen % 40 ikameli ürünler, konfigürasyon ve görünüş analizinden olumlu sonuç alamadığı için basınç dayanım değer sonuçları merak edilmiştir. 7 günlük değer sonuçları ortalaması 1 N/mm² olduğu görülmüştür. Bu değer, kontrol numunesinin 1,38 N/mm² değerinden çok düşük kalmıştır. Çizelge 4.13'de 7 günlük basınç dayanım test sonuçları tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₄₀ - 7 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₄₀ - 1	37,5	13,5	506,250	8817	49,6	0,98
UK ₄₀ - 2	37,5	13,5	506,250	8888	58,2	1,15
UK ₄₀ - 3	37,5	13,5	506,250	8752	45,1	0,89
ORTALAMA					51,0	1,00

Deneye tabi tutulan ağırlıkça % 40 oranında uçucu kül ikame edilmiş ürünlerin 7 günlük ve 28 günlük değerleri de birbirinden farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. 28 günlük deney sonuçları bir miktar artış gösterse de kontrol numunesinin elde ettiği değere ulaşamamıştır. 28 günlük basınç dayanım deney sonucu 1,14 N/mm² değerine kadar ulaşabilmiştir. Kontrol numunesi ve deney ürünü basınç dayanım değerleri arasındaki oransal fark % 18 dir. % 40 karışım oranlı numunenin 28 günlük deney sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Basınç dayanım analizi test sonuçları (UK₄₀ - 28 günlük)

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı (cm ²)	Numune Ağırlığı (gr)	Basınç Dayanımı	
					Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₄₀ – 1	37,5	13,5	506,250	8817	53,7	1,06
UK ₄₀ – 2	37,5	13,5	506,250	8888	70,5	1,39
UK ₄₀ – 3	37,5	13,5	506,250	8752	48,9	0,96
ORTALAMA					57,7	1,14

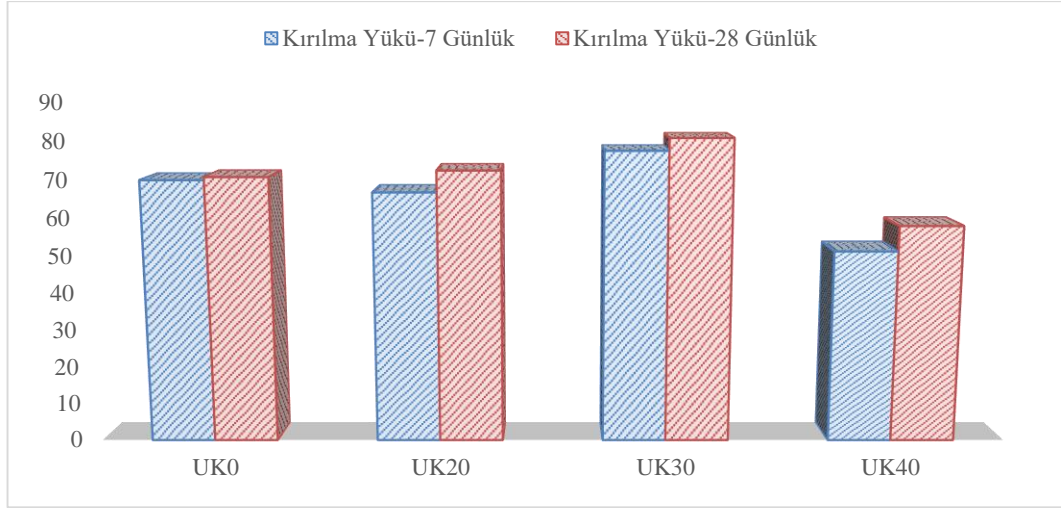
Tüm deney ürünlerinin 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanım deney sonuçlarına ait değerler icmal edilmiş ve Çizelge 4.15’de sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Basınç dayanım analizi test sonuçları (Tüm Numuneler İcmal Tablosu)

Numune Adı	Basınç Dayanımı (Ortalama Değerler)		Basınç Dayanımı (Ortalama Değerler)	
	7 günlük		28 günlük	
	Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²	Kırılma Yüğü kN.	Basınç Dayanımı N/mm ²
UK ₀	69,7	1,38	70,5	1,39
UK ₂₀	66,5	1,32	72,2	1,46
UK ₃₀	77,3	1,52	80,6	1,58
UK ₄₀	51,0	1,00	57,7	1,14

Şekil 4.34’de basınç dayanım analizi icmali grafik olarak hazırlanmış ve sunulmuştur. Grafiğe göre %20 uçucu kül ikameli numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri %3 kadar düşük kalsa dahi, 28 günlük değerlerde bir miktar artış meydana gelmiş ve yaklaşık %5 artarak 1,46 N/mm² basınç değerine ulaşmıştır.

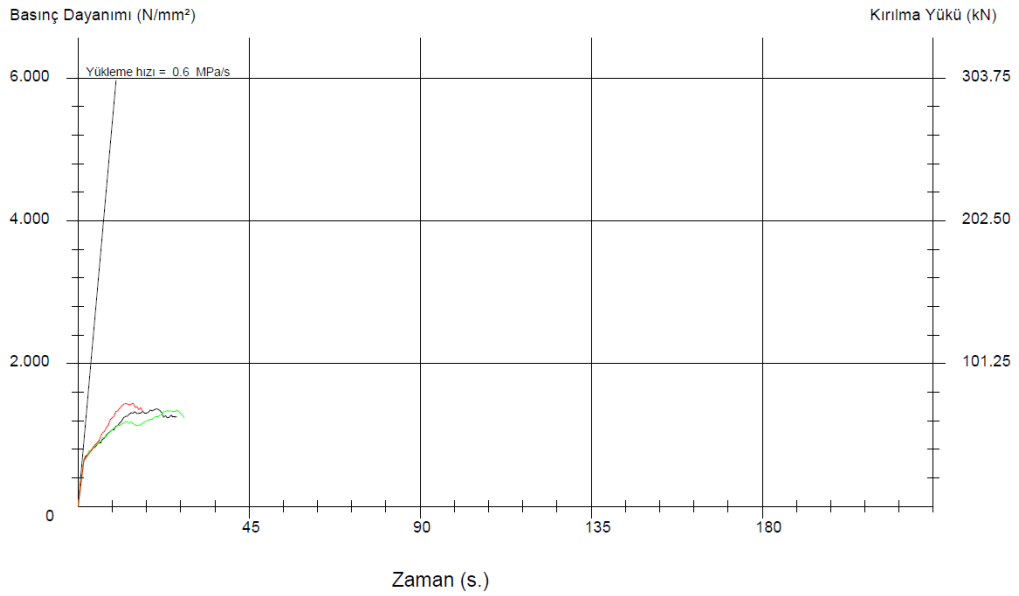
%30 ikameli ürünler için, uygulanan 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanım test sonuçları karşılaştırıldığında, uçucu kül ikamesi ile basınç değerinin arttığı söylenebilir. En yüksek değere %30 uçucu kül ikamesi ile ulaşıldığı grafikte de görülebilir.



Şekil 4.34. Basınç dayanım analizi icmal grafiğı

28 günlük deney sonuçlarına ait basınç dayanım ve zaman grafiğı aşağıda verilmiştir. Kontrol numunesine ait grafik Şekil 4.35’de görülmektedir.

Deney Grafiğı



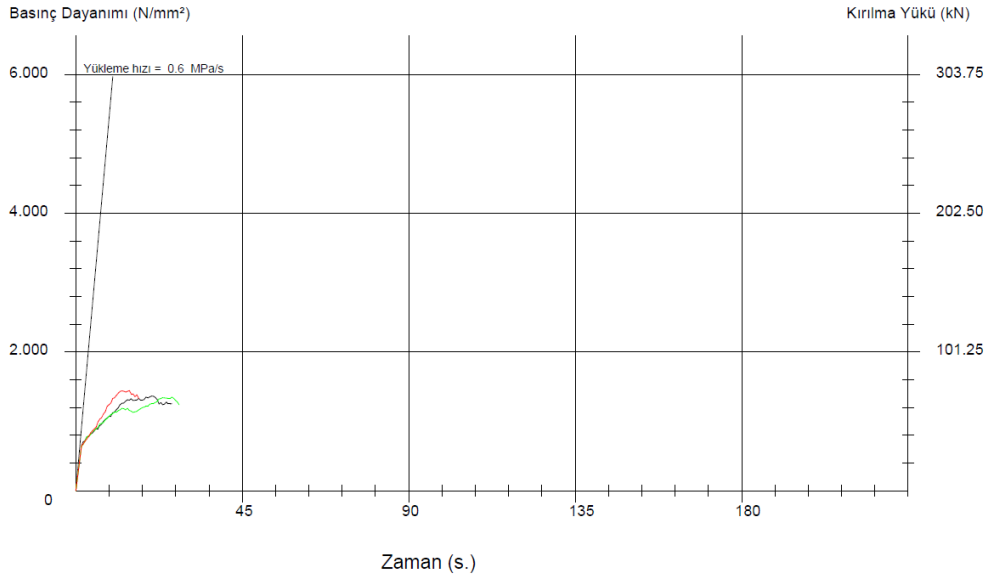
Açıklamalar:

NORMAL

Şekil 4.35. Basınç dayanım deneyi grafiğı (UK₀ Kontrol Numunesi - 28 günlük)

Yüklemeye hızı tüm numunelerde sabit tutulmuştur. 0,6 MPa/s yüklemeye yapılarak numunelerin kırılmaları gerçekleştirilmiştir. % 20 ikameli numuneye ait grafik Şekil 4.36’da görülmektedir.

Deney Grafiği



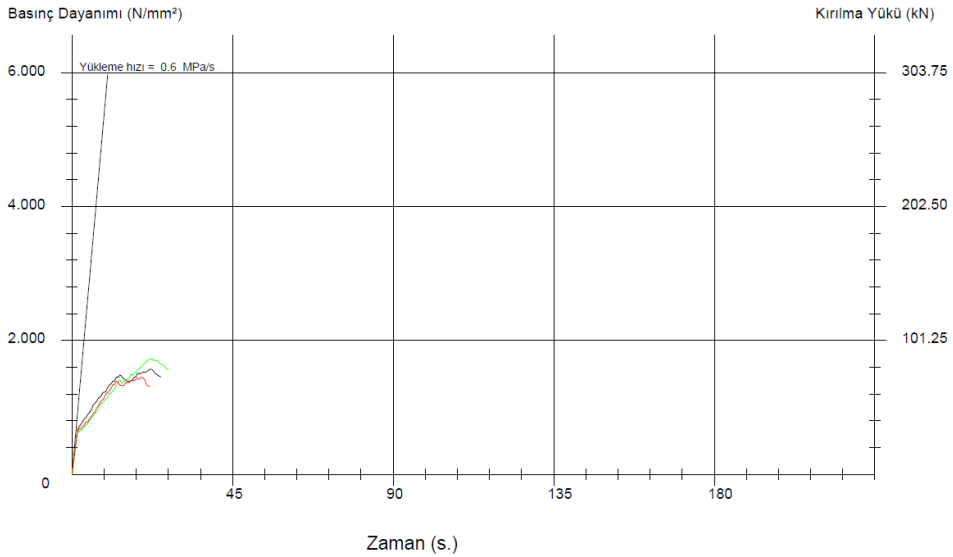
Açıklamalar:

20 KÜL

Şekil 4.36. Basınç dayanım deneyi grafiği (UK₂₀ - 28 günlük)

Üretilen numunelerden belirlenen her karışım oranında 3 adet ürünün başlıklamaları yapıldıktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Ağırlıkça % 30 oranında uçucu kül ikameli numuneye ait grafik Şekil 4.37’de görülmektedir.

Deney Grafiği



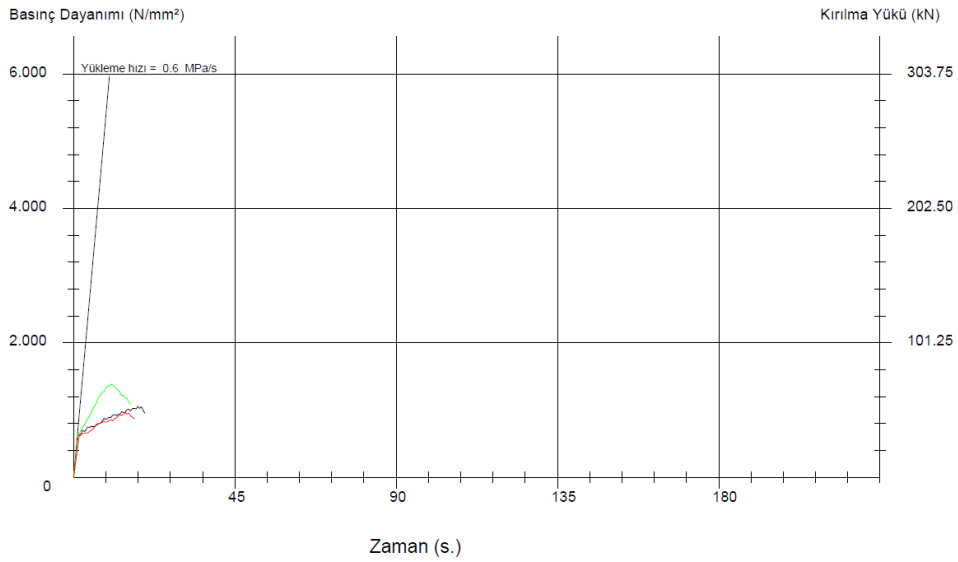
Açıklamalar:

%30 KÜL

Şekil 4.37. Basınç dayanım deneyi grafiği (UK₃₀ - 28 günlük)

% 40 ikameli ürün için bilgisayar kayıtlarından çıkartılan grafik Şekil 4.38’de görülmektedir. Bir adet numunede basınç dayanım değeri $1,393 \text{ N/mm}^2$ çıkmasına rağmen diğer 2 numunede değer 1 N/mm^2 değerine yakın seyretmiştir. Grafikten de bu fark anlaşılmaktadır. Yaklaşık 50 kN değerine ulaşıldığında numunelerde kırılma meydana gelmiştir.

Deney Grafiği



Açıklamalar:

% 40 KÜL

Şekil 4.38. Basınç dayanım deneyi grafiği (UK₄₀ - 28 günlük)

5. MALİYET ANALİZİ

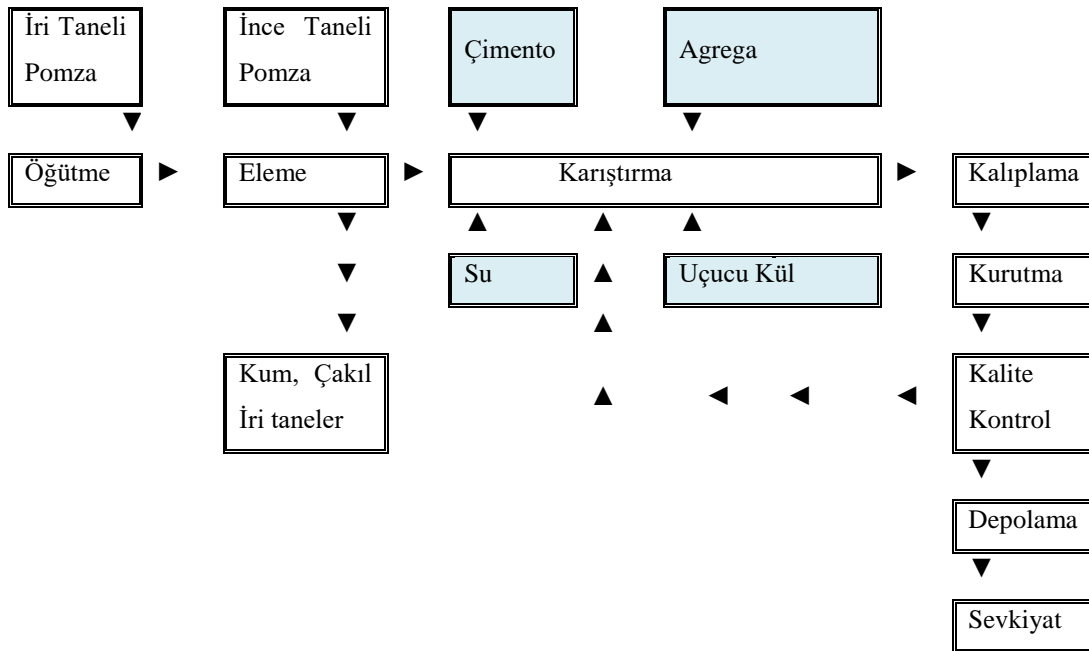
İnşaat ve yapı malzemeleri sektörü pek çok ülkede olduğu kadar ülkemizde de lokomotif bir sektördür. Ülkemizde bir dönem büyümeyi olumlu yönde etkileyen inşaat ve gayrimenkul sektörleri, şuan ciddi problemler ile karşı karşıya kalmıştır. 2018 yılı inşaat sektörü için duraklama dönemi olmuştur. Ancak, ülkemizde konuta her zaman önem verildiği için, gayrimenkul satışı buna bağlı olarak inşaat faaliyetleri bir şekilde yaşamına devam edeceği düşünülmektedir.

Bu durumda yapı malzemeleri sektöründe sağlam ve güvenilir aynı zamanda ekonomik yapı malzemeleri temini bir adım daha önce çıkmaktadır.

Bu bölümde, deneysel çalışmaların bir sonucu olarak uygun evsafağı uçucu kül katkılı bims blok numunesinin endüstriyel boyutta üretiminin gerçekleştirilmesi durumunda elde edilecek ekonomik kazanç hesaplanmıştır.

5.1. Tesisin Çalışma Prensipleri ve Yenilikler

Üretimin gerçekleştirildiği tesisin uçucu kül kullanabilmesi için tesiste birkaç küçük revizyonun yapılması gerekmektedir. Ayrıca, uçucu külün üretim tesisine silobas traylerler vasıtasıyla nakledileceği düşünülmüş, ürün bedeli ve üretim tesisine bu ürünün nakli için yaklaşık bedeller alınmıştır. Bu bağlamda tesisin uçucu kül kullanabilmesi için oluşturulmuş üretim akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Uçucu kül ilaveli üretim akış diyagramı

Üretim tesisine getirilen uçucu kül, sahada kendisi için ayrılmış siloya boşaltılması gerekecektir. Üretim aşamasında çimento ile birlikte uçucu kül de karıştırıcıya basılacaktır. Bu işlem için bir adet dikey siloya ve bu silodan mikser üretilen için pinomatik bir göndericiye ihtiyaç vardır. Yapılan hesaplamalar 100 ton'luk bir silonun bu tesisin idamesi için yeterli olacağını göstermiştir. Bu tip bir silonun maliyeti yaklaşık 45.000 TL ile 55.000 TL arasındadır. Ayrıca, uçucu kül için silo üstü filtre ve uçucu kül tartım bandı da bu bedele dahil edilmiştir. İkinci el bir ürün daha ucuza temin edilebilir. Böylece uçucu kül ikame edilecek ürünlerin üretimi için mevcut tesise ilave fazla bir yük getirmemiş olacaktır.

5.2. Maliyet Analizi Hesabı

Hazırlanan akış şemasına göre termik santrallerden temin edilen uçucu kül silobas traylerlere yüklenerek üretim tesisine nakledilecektir. Termik santralin üretim tesisine uzaklığı eğer yeni çevre yolu tamamlanırsa 70 km, mevcut karayolu kullanılırsa 85 km'dir. Nakliye hesabı en olumsuz şarta göre yapılmış ve 85 km olarak alınmıştır. 85 km için birim nakliye bedeli 23 TL/ton'a tekabül etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan Bayındırlık Birim Fiyatlarına göre, 04.703/A pozunu ile anılan uçucu kül, 2019 yılı rayiç değerlerine göre birim fiyatı 30 TL/ton olarak belirlenmiştir. Bu bedele nakliye ücreti de eklendiğinde 53 TL/ton olarak hesaplamalarda kullanılacaktır.

Hesaplamalarda, çimento fiyatı 04.008/2D pozunu ile anılan Portland çimentosu (Dökme) TS EN 197-1 CEM I 42.5 R), 2019 yılı rayiç değerlerine göre birim fiyatı 221 TL/ton'dur.

Maliyet hesabında çimento ve uçucu küle ait birim fiyatlar etkili olduğundan agrega ve pomza bedeli yerel kaynaklardan alınan birim fiyatlar kullanılarak ayrı ayrı hazırlanmıştır.

Bu bilgiler ışığında, uçucu kül ikamesiz kontrol numunesi maliyet analizi Çizelge 5.1.a ve Çizelge 5.1.b'de verilmiştir.

Çizelge 5.1.a UK₀ maliyet analizi

UK ₀ (Kontrol Numunesi Uçucu kül ikamesiz harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Malzeme Adı	Kullanılan Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Agrega	575 kg	13 TL/ton	7,48 TL
Pomza	2375 kg	36 TL/ton	85,50 TL
Çimento	240 kg	221 TL/ton	53,04 TL
Su	103 kg	0 TL/ton	0,00 TL
Uçucu Kül	0 kg	53 TL/ton	0,00 TL
TOPLAM			146,02 TL

Kullanılan birim miktarları verilen malzemeler ile 16 adet baskı yapılabilir. Her bir baskıda bir palet üzerine 12 adet briket basıldığı düşünüldüğünde bu miktarlar kullanılarak toplam 192 adet briket basımı gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 5.1.b UK₀ maliyet analizi

UK ₀ (Kontrol Numunesi Uçucu kül ikamesiz harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Numune Adı	Toplam Tutar	Basılan ürün sayısı	Birim Fiyat (Maliyet)
UK ₀	146,02 TL	192 adet	0,76 TL/adet

% 20 oranında uçucu kül ikame edilmiş, numunenin maliyet analizi Çizelge 5.2.a ve Çizelge 5.2.b'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere maliyete etki eden iki adet bedel vardır. Bunlardan biri çimento bedeli, diğeri ise uçucu kül bedelidir. Agreg, pomza ve su için belirlenen bedeller, maliyet analizinde herhangi bir değişikliğe etkisi yoktur.

Çizelge 5.2.a UK₂₀ maliyet analizi

UK ₂₀ (%20 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Malzeme Adı	Kullanılan Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Agrega	575 kg	13 TL/ton	7,48 TL
Pomza	2375 kg	36 TL/ton	85,50 TL
Çimento	192 kg	221 TL/ton	42,43 TL
Su	103 kg	0 TL/ton	0,00 TL
Uçucu Kül	48 kg	53 TL/ton	2,54 TL
TOPLAM			137,96 TL

Çizelge 5.2.b UK₂₀ maliyet analizi

UK ₂₀ (%20 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Numune Adı	Toplam Tutar	Basılan ürün sayısı	Birim Fiyat (Maliyet)
UK ₂₀	137,96 TL	192 adet	0,72 TL/adet

Basınç dayanım deneylerinin de olumlu olduğu tespit edilen % 30 oranında uçucu kül ikame edilmiş numunenin ekonomiye büyük bir kazanç sağlayacağı düşünülmüş değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu ürüne ait maliyet analizi Çizelge 5.3.a ve Çizelge 5.3.b’de verilmiştir.

Çizelge 5.3.a UK₃₀ maliyet analizi

UK ₃₀ (%30 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Malzeme Adı	Kullanılan Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Agrega	575 kg	13 TL/ton	7,48 TL
Pomza	2375 kg	36 TL/ton	85,50 TL
Çimento	168 kg	221 TL/ton	37,13 TL
Su	103 kg	0 TL/ton	0,00 TL
Uçucu Kül	72 kg	53 TL/ton	3,82 TL
TOPLAM			133,92 TL

Her bir baskı için hazırlanan ve mikserde karıştırılan miktarlar incelendiğinde çimento miktarı %30 oranında toplamda 72 kg kadar azalmıştır. Bunun yerine 72 kg

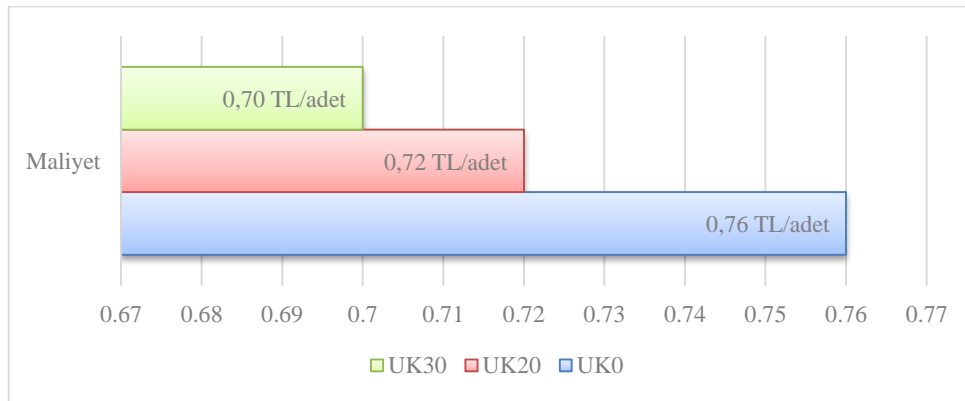
uçucu kül ilave edilmiştir. Bu miktarlar ile 192 adet briket basımı gerçekleştirilmiştir. Malzeme bedelleri toplamı 133,92 TL'ye tekabül etmektedir. Bu bağlamda 192 adet baskının birim maliyeti 0,70 TL/adet'e karşılık gelmektedir. Kontrol numunesinin birim fiyatının 0,76 TL/adet olduğu düşünüldüğünde bir adet bims blok da 6 kr/adet maliyet azalması tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3.b UK₃₀ maliyet analizi

UK ₃₀ (%30 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilen harç ile üretilen 13,5x39,5x18,5 ebatlarındaki bims blok)			
Numune Adı	Toplam Tutar	Basılan ürün sayısı	Birim Fiyat (Maliyet)
UK ₃₀	133,92 TL	192 adet	0,70 TL/adet

Yapılan çalışmalar en uygun karışım oranın %20 ve %30 olduğunu bize göstermiştir. % 40 oranında uçucu kül ikame edilmiş numunenin basınç dayanım deney sonuçları ve konfigürasyon analizi deney sonuçlarının olumlu çıkmaması nedeni ile maliyet analizinin yapılmasına gerek yoktur.

Elde edilen birim fiyatları gösterir grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Maliyet analizi

Oran Ortadoğu Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan 2013-2014 yılı sektör raporuna göre ülkemizde bir yılda yapılacak konutların duvar örgüsünün toplamının yaklaşık 60 milyon m² dolaylarında olduğu bildirilmektedir. Bu alanın tamamının bims bloklar ile kapatıldığı varsayılırsa 940 milyon adet blok ihtiyacı doğacaktır. %30 karışimli briket üretilmesi durumunda hesaplanan karlılığın 0,06 TL/adet olduğu

düşünülürse, toplam yıllık ihtiyaç ile karşılaştırıldığında oluşan karlılık 56.400.000 TL dolaylarında olacaktır.

Aynı zamanda 100 m² büyüklüğünde tek katlı bir ev için farklı boyutlarda yaklaşık 2.400 adet bims blok ihtiyacı vardır. Tamamı çimento kullanılarak üretilen ürün ile yapılması durumunda bims blok bedeli ile %30 oranında uçucu kül ikame edilmiş ürün ile bu yapının yapılması durumunda ortaya çıkacak bims blok bedeli için bir fiyat karşılaştırılması da ayrıca yapılmıştır. Karşılaştırma tablosu Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. 100 m²'lik tek katlı bir ev için yaklaşık briket maliyeti hesap tablosu

Numune Adı	100 m ² alanlı tek katlı ev			Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)	Oran (%)
	Duvar Alanı (m ²)	Briket Sarfıyatı (adet/m ²)	Briket Miktarı (adet)			
UK ₀	192	12,5	2.400	0,76	1.824,00 TL	-
UK ₂₀	192	12,5	2.400	0,72	1.728,00 TL	% 5,5
UK ₃₀	192	12,5	2.400	0,70	1.680,00 TL	% 8,5

Not: Değerler 100 m² oturma alanına sahip tek katlı bir ev için tespit edilmiş ortalama değerlerdir. Oluşan maliyet farklılığı gösterilmek üzere yaklaşık miktarlar alınmıştır. Birim fiyat piyasa satış fiyatı değil hesaplanan maliyet rakamıdır. Tesis işletme giderleri, nakliye gibi kalemler eklenmemiştir.

Tamamı çimento kullanılarak üretilen ürün için hesaplanan malzeme bedeli toplam 1.824,00 TL dir. % 20 uçucu kül ikameli ürün için ödenmesi gereken malzeme bedeli 1.728,00 TL, %30 uçucu kül ikameli ürün için ödenmesi gereken malzeme bedeli ise 1.680,00 TL olacaktır. Bu durumda 100 m²'lik tek katlı bir ev için %20 ikameli ürün kullanılması durumunda oluşan karlılık %5,5, %30 ikameli ürün kullanılması durumunda oluşan karlılık %8,5 olacaktır.

Hesaplamalar gösteriyor ki, uçucu kül ikame oranı ister %20 olsun isterse %30 olsun kontrol numunesine göre çimento miktarındaki azalmadan kaynaklı bir tasarruf sağlanmıştır. Hem atık bir malzemenin kullanımı ile çevreye verilen zarar önlenmiş, hem de standartlara uygun evsafa ekonomik bir yapı malzemesi üretilerek ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bims blok üretimine esas karışım oranlarına ait deneysel çalışma sonuçları değerlendirildiğinde;

Üretimde kullanılan Çumra Şeker Entegre Tesislerine ait uçucu külün kimyasal yapısı incelendiğinde ASTM C618 standardına göre C sınıfı yüksek kireçli uçucu kül sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar Çumra Şeker Entegre Tesislerine ait uçucu külün bims blok üretiminde belirlenen karışım oranında çimento ikame malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Üretilen bims blok numunelerine Boyut ve tolerans analizi, Konfigürasyon ve Görünüş analizi, birim hacim kütle analizi, basınç dayanımı analizleri uygulanmıştır. Üretilen bims blokların birim hacim ağırlığında uçucu kül ikamesi ile meydana gelen bir azalma görülmüştür. Ancak bu değer %2'ler seviyesindedir. Ortalama değerler üzerinden bakıldığında referans numune 0,707 gr/cm³ ağırlığa sahipken, %20 ikameli ürün 0,696 gr/cm³, %30 ikameli ürün 0,684 gr/cm³ ve %40 ikameli ürün 0,703 gr/cm³ birim ağırlık değerlerini görmüştür.

Daha hafif bims blok üretmek, yapılara gelen yükün de azalmasını sağlayacaktır. Statik hesaplarda yapılara etkiyen yükler azalacak, kullanılacak demir ve beton miktarını bir nebze olsun düşürecektir. Aynı zamanda, yapı ağırlığının deprem yükleri ile doğrudan ilişkili olduğu da göz önüne alındığında bu çok katlı ve büyük yapılar için bir kazanım sağlayacaktır.

Basınç dayanım deney sonuçlarına ait grafikler incelendiğinde; % 20 oranında uçucu kül ikamesi ile kontrol numunesine ait basınç dayanım değerleri birbirine çok yakın seyretmiştir. %4,88 oranında bir değişim gözlenen bu iki numune için belirlenen bu oranın briket üretiminde çok etkili olmadığını, uçucu külün nerede ise çimento gibi davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

% 30 oranında uçucu kül ikameli ürünün ise kontrol numunesine oranla oldukça fazla bir dayanım gösterdiği görülmüştür. Kırılma yükleri arasında %10'luk bir fark oluşurken, basınç dayanımları arasında %12'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. %40 oranında ikameli ürünün ise dayanım değerleri oldukça düşüktür. Uçucu kül ikame oranının artması bir bakıma dayanımı artırmış ancak %30 oranından sonra dayanım

değeri düşmüştür. Bu sonuçlara göre, % 20 ve % 30 oranında uçucu kül ikameli ürünler standartlarda belirtilen basınç dayanım şartlarını sağlamaktadır.

Uçucu küller kimyasal yapıları gereği, çimento gibi davranarak bağlayıcılığı sağlamıştır. Bims blokta pomza ve agreganın birbirine bağlanmasını artırmıştır. % 20 ve % 30 oranında ikame edilen ürünler ile kontrol numuneleri arasında fiziksel bir ayırım tespit edilmemiştir. Ancak, % 40 oranında uçucu kül ikame edilen ürünlerde işlenebilirlik arttığından yüzeyler daha pürüzsüz çıkmıştır. Ancak, dayanım değerleri kontrol numunesindeki değerleri yakalayamamıştır.

Bims blok numunelerine uygulanan deneylerin topluca değerlendirilmesinden; çimentonun ağırlıkça % 30 oranında uçucu külle yer değiştirmesinden elde edilen numuneye ait sonuçların olumlu olması, bims blok üretiminde uygun oranın % 30 olduğunu göstermektedir. Bu oranda bir yer değiştirme ile birim hacim ağırlığında % 3'lük bir azalma gerçekleşmiştir. Aynı zamanda çimentodan tasarruf sağlanarak, termik santrallerin atığı değerlendirilebilmiştir.

Uçucu kül ikame edilerek üretilen bims bloklar için birim fiyat analizi yapılmıştır. Analiz neticesinde % 20 ikame oranında gerçekleştirilen ürün için %5,56 , %30 ikame oranında gerçekleştirilen ürün için %8,57 lik bir maliyet azalması hesap edilmiştir. Bu hesaplamada uçucu kül için Bayındırlık Birim Fiyatlarına göre bir bedel eklenerek en olumsuz durum tespit edilmiştir. Külün bedelsiz temini durumunda sadece nakliye bedeli maliyete yansıtacağı için, bu oranlar %20 ikame oranında üretilen üründe % 7,04, %30 ikame oranında üretilen üründe %10,14'e çıkmaktadır. %8 veya %10 gibi bir maliyet azalması günümüz ekonomik şartlarında büyük bir avantaj olacaktır.

6.2. Öneriler

Uçucu küllerin yapı malzemesi üretiminde kullanımı ile termik santral atıklarının çevresel etkileri azaltılmış olacaktır. Aynı zamanda çimento miktarındaki azalma ile doğal kaynakların korunması da sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma göstermiştir ki, ülkemizdeki doğal kaynakların korunması, atıkların geri kazanımı ile daha ekonomik yapı malzemelerinin üretiminin sağlanması ile çevre ve toplum açısından yaşam standartları gelişecektir. Avrupa ülkelerinde üretilen uçucu külün % 80'i farklı alanlarda kullanılabilirken, ülkemizde de bu oran % 2-3 seviyesinden, daha yüksek seviyelere çıkartılabileceği kesindir.

Bu tez sonuçlarından yola çıkılarak, uçucu kül ikameli bims blokların piyasa koşullarında üretiminin gerçekleştirileceği varsayılırsa, ısı geçirgenlik katsayısının tespit edilmesi de ayrıca gereklidir. Çalışmaların bu tip ürünler üzerinde TS 825'e göre ısı geçirgenlik analizlerinin yapılması, belirlenecek bölge koşullarına göre değerlerin sağlayıp sağlamadığının tespit edilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ağırdır, M.L., 1989, Altınapa Bims Agregasından TS3234 e uygun hafif beton briket imali, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aksoy, H. S. ve ark., 2007, “Killi Zeminin Tunçbilek Uçucu Külü Kullanılarak Stabilizasyonu”, 2. Geoteknik Sempozyumu, Artı ofset.
- Alkaya, D., 2009, “Uçucu Küllerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanılmasının İncelenmesi” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:5 No:1.
- Anuk, O., 2004, CEM I 42,5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda F Tipi Uçucu Külün Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aruntaş, H., Y., 2006, “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara.
- Aslan, A. ve ark., 2009, Soma Termik Santrali Uçucu Külü İçeren Çimentolarda Radyoaktivite Düzeyinin Araştırılması, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, Manisa.
- Bayat, O., 1995, Uçucu Kül Değerlendirilmesinin Maliyet Analizi, *Madencilik Mart 1995*, Cilt: 34, Sayı:1, Adana.
- Bentli, İ ve ark., 2005, “Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı”, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir.
- Buluş, G., 2003, “Değişik Bağlayıcı Maddeler Kullanılarak İyileştirilmiş Taban Küllerinin Mühendislik Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği”, *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bünyamin Ş., 2009, Tarımsal Toprakların Uçucu Külle Islahı. İzmir İl kontrol Laboratuvar Müdürlüğü *Analiz '35 Dergisi*, Sayı:2, Sayfa: 26, İzmir.
- Çiçek, T. ve Tanrıverdi, M., 2007, Lime Based Steam Autoclaved Fly Ash Bricks, *Construction and Building Materials*,
- Çil, İ., 2003, Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı, *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Çinçin, Y., 2015, Linyit Yakan Termik Santral Uçucu Küllerinden Kireç Katkısı ile Hafif Tuğla Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, İzmir.
- Demir, A., Uçucu Küllü Gazbeton Araştırması, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*.

- Demir, İ ve ark, 2011, Pomza Ağırlıklı Hafif Beton Isıl Özelliklerine Polistiren Köpük ve Uçucu Kül Katkısının Etkileri, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir*.
- Demir, İ ve ark, 2002, Seyitömer Uçucu Külünün Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılabilirliği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi. Sayı: 131-137, Afyon*.
- Demir, İ ve ark, 2008, Seyitömer Uçucu Külü ve Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Tüflerinin Puzolanik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, www.teknolojikarastirmalar.com. ISSN:1305-631X, 39-46, Makale*.
- Demir, İ, 2005, Uçucu Külün Hafif Yapı malzemesi Üretiminde Kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, www.teknolojikarastirmalar.com. ISSN:1305-631X, 21-24, Makale*.
- Engin, Yasin, 2015, www.betonvecimento.com
- Güler, G. Ve ark. 2005, “Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları”, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı IMCET2005, 419-423, İzmir*.
- Gürbüz, Emrah, 2009, “C Tipi Uçucu Küllerin Etkinliği”, İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Gündüz L. (ed.), 1998, Pomza Teknolojisi Cilt I, İsparta.
- Gündüz, L. (ed.), Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt 1, s.285, İsparta.
- Görhan, G ve ark 2008, “Uçucu Kül Bölüm I: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:2, Makale*.
- Görhan, G ve ark. 2009, Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:5, No:2, Makale*.
- Karahan, O ve Atış, C.D. 2005, “Sugözü Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği”, Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, *Araştırma Makalesi, Kayseri*.
- Kahraman, E., Demir, İ., 2005, “Uçucu Külün Yapı Blokları Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması”, *4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Konya*.
- Kaplan, G, Gültekin, B, 2010, “Yapı Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Çevresel ve Toplumsal Etkileri Açısından İncelenmesi”, *International Sustainable Buildings Symposium (ISBS), Ankara*,
- Kılıçarslan, S ve Tuzlak, F, 2018, “Uçucu Kül Katkılı Köpük Betonların dayanım ve Isı İletkenlik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi Sayı:2, Cilt:1, Sayfa:1-5, Makale*.

- Kızgut, S ve ark, 2001, “Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması”, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Makale*.
- Koçak, Y, 2011, “Termik Santral Atığı Uçucu Külün Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi, Araştırma Makalesi*.
- Koçkal, N. U. Ve Özturan, T., 2007, “Sinterleme Sıcaklığının Uçucu Kül Hafif Agregaların Özelliklerine Etkisi”, *7. Ulusal Beton Kongresi. Bega Basın Yayın*.
- Montemor, M.F., Simoes, A.M.P., Salta, M.M., 2000, “*Effect of Fly Ash on Concrete Reinforcement Corrosion Studied by EIS*”, *Cement&Concrete Composites, Cilt 22, No 3, 175-185*.
- Özmen, E, 2011, “Termik Santrallerden Kaynaklanan Küllerin Yönetimi”, *Çevre Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, Sunum, Antalya*.
- Özkan, Ş. G., Tuncer, G. 2001. Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2011, İzmir, Türkiye.
- Öztürk, M, 2012, “Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Postacıoğlu, B., 1986, Beton-Bağlayıcı Maddeler, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul,
- Ravina, D., 1997, *Properties Of Fresh Concrete Incorporating A High Volume Of Fly Ash As Partial Fine Sand Replacement, Materials and Structures*
- Ravina, D., 1998, *Mechanical Properties Of Structural Concrete Incorporating A High Volume Of Class F Fly Ash As Partial Fine Sand Replacement, Materials and Structures*.
- Söylemez, M ve Yıldırım, A, 2016, “Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi”, *Araştırma Makalesi, Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Şengül, Ü, 2002, “Kangal Termik Santralinde Uçucu Kül Atımının Çevresel Etkileri”, *Araştırma Makalesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas*
- Tokgöz, H, ve ark, 2004, “Silis Dumanlı Briketin Basınç Dayanımının Araştırılması”, *Politeknik Dergisi, Araştırma*.
- Tokyay, M, 2013, “Betonda Uk, GYFC ve SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi”, *Hazır Beton Kongresi, Ankara*.

- Topçu, İ,B, Canbaz, M, 2001, “Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt:14, Sayfa:2*
- Topçu,İ,B ve Kara,İ, 2008, “Azot Fabrikası Cürufu ve Termik Santral Küllerinden Hafif Duvar Bloğu Üretilmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:XXII, Sayı:2,Makale.*
- Topçu, İ,B, Karakurt, C, “Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak., Eskişehir.*
- Turgut, P, 2016, “Uçucu Kül, Kireç ve Cam Tozu Kullanılarak Blok Üretimi”, *Pamukkale Üniversitesi, Bilim Dergisi.*
- Türker, P ve ark, 2009, “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, ARGE Enstitüsü, Y03.03, Ankara.*
- Ünal,O ve ark, 2015, “Yatağan Uçucu Külünün Yapısal Alanda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Araştırma Makalesi.*
- Ünal,O ve Uygunoğlu, T, 2004, “Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi”, *Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı, Zonguldak.*
- Wasserman, R. and Bentur, A., 1997, *Effect Of Lightweight Fly Ash Aggregate Microstructure On The Strength Of Concretes, Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 4.*
- Xu, A., 1997, “Fly Ash in Concrete”, *Part-3, Waste Materials Used in Concrete Manufacturing,Editor: Satish Chandra, Sweden*
- Yanık, S, 2007, “Bazik Pomzaların Beton Agregaası Olarak Kullanılabilirliği”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.*
- Yıldırım, A,N, 2007, “Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.*
- Yılmaz, Y, 2014, “Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi”, *Namık Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.*
- Yüksek, S ve Kaya,S, 2017, “Kömür Baca Külü, Kireç ve Jips Ürünlerinden Yapı malzemesi Yapımı”, *Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Makale.*
- Yüksel,İ, ve ark, 2006, “Kazanaltı Külü ile Briket Üretimi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Makale.*

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serhat DENKTAŞ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara- 11.01.1979
Telefon : 0.530.763 72 12
Faks : -
E-Posta : serhatdenktas@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Lisesi	Meram	Konya	1997
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2002
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	Selçuklu	Konya	-
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-2010	MFA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.	Şantiye Mühendisi
2010-2013	Konya Şeker San. Tic. A.Ş.	Kontrol Mühendisi
2013-2016	Konya Şeker San. Tic. A.Ş.	Emlak ve İmar Şefi
2016-2018	Konya Şeker San. Tic. A.Ş.	Emlak ve İmar Müdürü
2018-	Anadolu Birlik Holding	Emlak ve İmar Müdürü
2016-	Pankent Mim. İnş. Loj. San. Tic. A.Ş.	Yönetim Kurulu Üyesi

UZMANLIK ALANI

Windows, Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint, Access, Internet)
 İdecad, Autocad, Sap2000, Tekla Struktüre (X Steel), STA4Cad , Netcad (üst düzey)
 Primavera, M.S. Project (üst düzey)
 SAP Business (FI,CO,MM,SD,HR Modülleri) (orta düzey)

YABANCI DİLLER

-İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Mal ve Hizmet Alımı konularında aşağıdaki kanun ve yönetmelikler güncellenerek takip edilmektedir.

Kanunlar

4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu
 4735 Sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanunu
 2886 Sayılı Devlet İhale Kanunu

Yönetmelikler

Uygulama Yönetmelikleri

Mal Alımı İhaleleri Uygulama Yönetmeliği

Hizmet Alımı İhaleleri Uygulama Yönetmeliği

Yapım İşleri İhaleleri Uygulama Yönetmeliği

Danışmanlık Hizmet Alımı İhaleleri Uygulama Yönetmeliği

Muayene ve Kabul Yönetmelikleri

Mal Alımları Denetim Muayene Ve Kabul İşlemlerine Dair Yönetmelik

Hizmet Alımları Muayene Ve Kabul Yönetmeliği

Yapım İşleri Muayene Ve Kabul Yönetmeliği

Danışmanlık Hizmet Alımları Muayene Ve Kabul Yönetmeliği

Coğrafi Bilgi Sistemleri

2017 yılında Anadolu Birlik Holding ve İştirak şirketlerine ait tüm Gayrimenkuller ile ilgili CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kurulumu yapılmıştır.

YAYINLAR

-

EĞİTİM VE SEMİNERLER

- 01/2017 Coğrafi Bilgi Sistemleri (ARCGİS) Eğitimi, Konya Şeker San. Tic. A.Ş. – Hacettepe Teknokent PROGİS Yazılım İşbirliği
- 01/2017 6203 Sayılı Kamulaştırma Kanunu ve Uygulamalı Kamulaştırma Tekniği, Konya Şeker San. Tic. A.Ş.
- 04/2016 İş Sağlığı ve Güvenliğine Yönelik Alınacak Önlemler ve İşçi Güvenliği, Konya Şeker San. Tic. A.Ş.
- 09/2015 Maliyet Analizi ve Yatırım Projelerinde Maliyet Yönetimi, Konya Şeker San. Tic. A.Ş.
- 08/2015 NETCAD Kampüs, Sertifika, Netcad, Konya Şeker San. Tic. A.Ş.
- 07/2006 Şantiyelerde Malzeme Zayıyatı ve Önleme Yolları, MFA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.
- 03/2005 K.İ.K Kanun ve Yönetmelikler Üzerine Çalışma, MFA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.
- 04/2004 Şantiyelerde İş Sağlığı ve Güvenliğine Yönelik Alınacak Önlemler ve İşçi Güvenliği, MFA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.