

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK MALZEMELER KULLANILARAK ALTERNATİF DUVAR
ELEMANI ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba KARTALTEPE

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç Dr. S.Taner YILDIRIM

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK MALZEMELER KULLANILARAK ALTERNATİF DUVAR
ELEMANI ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Tuğba KARTALTEPE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 HAZİRAN 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 26 TEMMUZ 2010

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Salih Taner YILDIRIM

(.....)

Üye

Yrd.Doç.Dr. Aydın KAVAK

(.....)

Üye

Prof.Dr. Kemalettin YILMAZ

(.....)

KOCAELİ, 2010

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince, ilgisini, bilgisini, kısaca bugüne kadar edinmiş oldukları tüm deneyimlerini benden esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. S. Taner YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve sürekli eksiklerimi gidermeye çalışan anneme, babama, ve özellikle eşim Arş. Gör. Temel TEMİZ'e en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvarımıza alınan cihazlarda bizlere projeler kapsamında büyük destek sağlayan Sayın Rektörümüz Prof. Dr. Sezer Şener KOMSUOĞLU'na ve Sayın Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Arif DEMİR'e, laboratuvarında ve tezimde bana yardımcı olan arkadaşım Ersin KİRAZ'a, malzemelerimizi temin etmemizde bize önemli yardımları olan Nuh Çimento Çimento Kalite Kontrol Müdürü Sayın Beyhan ÜÇYİĞİT'e, Nuh Beton Kalite Kontrol Müdürü Sayın Mehmet MUTLU'ya, Kavanlar Hazır Beton Teknik Müdürü Sayın İlhan YILMAZ ve Özyapı Beton A.Ş. Laboratuvar Sorumluluğunu bir dönem yapmış olan Abdullah PİŞKİN'e, ayrıca çalışmalarımı bitirmem için beni sürekli çalışmaya teşvik eden değerli dostlarım ve iş arkadaşlarımdan tümüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
SİMGELER.....	vi
ÖZET.....	vii
İNGİLİZCE ÖZET.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Duvar Malzemesi Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	3
2.1.1. Uçucu Kül.....	3
2.1.2. Pomza.....	4
2.1.3. Bor ve Atıkları.....	4
2.1.4. Perlit.....	5
2.1.5. Zeolit.....	6
2.1.6. Fosfojips.....	7
2.2. Yapılarda Kullanılan Önemli Duvar Malzemeleri.....	7
2.2.1. Tuğla.....	7
2.2.2. Gazbeton.....	9
2.2.3. Bims Bloklar.....	10
2.2.4. Kompozit Duvar Malzemeleri.....	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1. MALZEME.....	20
3.1.1. Çimento.....	20
3.1.2. Kireç.....	21
3.1.3. Zeolit.....	21
3.1.4. Fosfojips.....	22
3.1.5. Su.....	22
3.1.6. Perlit.....	23
3.1.7. Kum.....	23
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Basınç dayanımı deneyi.....	28
3.2.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	29
3.2.3. Ultrases deneyi.....	29
3.2.4. Su Emme Deneyi.....	30
3.2.5. Birim Ağırlık Deneyi.....	30
3.2.6. Isıl İletkenlik Katsayısı Deneyi.....	31
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
4.1. Ön Deney-1. Aşama.....	35
4.2. Ön Deney-2. Aşama.....	40
4.2. Esas Deney Aşaması.....	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: Fosfojipsin granülometri eğrisi.....	22
Şekil 3.2: Kırma kumun granülometri eğrisi.....	24
Şekil 3.3: 40x40x160 mm çelik kalıp	25
Şekil 3.4: 105x225x75 mm çelik kalıp	25
Şekil 3.5: Yayılma tablası	26
Şekil 3.6: Hobart mikser	26
Şekil 3.7: Harcın sıkıştırılması.....	27
Şekil 3.8: Kalıba yeni dökülmüş numuneler	27
Şekil 3.9: Hızlı küre bırakılmış numuneler	28
Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı deneyi	29
Şekil 3.12: Ultra ses deneyi.....	30
Şekil 3.13: Isıl iletkenlik deney cihazı	32
Şekil 3.14: Isıl iletkenlik deney numunesi ve termokupullar.....	32
Şekil 4.1: Hızlı kür numune basınç dayanım grafiği.....	37
Şekil 4.2: Hızlı kür numunelerinin eğilme dayanımı grafiği	38
Şekil 4.3: 28 günlük kür numune basınç dayanımı grafiği	39
Şekil 4.4: 28 günlük kür numune eğilme dayanımı grafiği.....	40
Şekil 4.5: Hızlı kür uygulanan numunede basınç dayanımı grafiği	43
Şekil 4.6: Hızlı kür uygulanan numunede eğilme dayanımı grafiği	43
Şekil 4.7: Hızlı kür uygulanan numunede birim hacim ağırlık grafiği	45
Şekil 4.8: Hızlı kür uygulanan numunelerde su emme	45
Şekil 4.9: Deney 2. aşama numunelerinin basınç dayanımı grafiği.....	49
Şekil 4.10: Deney 2. aşama numunelerinin eğilme dayanımı grafiği	49
Şekil 4.11: Deney 2. aşama numunelerinin ultrases deneyi grafiği	50
Şekil 4.12: Deney 2. aşama numunelerinin ısıl iletkenlik katsayısı grafiği	51
Şekil 4.13: Deney 2. aşama numunelerinin ısıl direnç katsayısı grafiği	52
Şekil 4.14: Isıl özellikler ile birim ağırlık arasındaki ilişki.....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1: Çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları	20
Tablo 3.2: Çimentoya ait fiziksel analiz sonuçları	20
Tablo 3.3: Kirece ait kimyasal analiz sonuçları	21
Tablo 3.4: Zeolite ait kimyasal analiz sonuçları	21
Tablo 3.5: Fosfojipse ait kimyasal analiz sonuçları	22
Tablo 3.6: Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi	23
Tablo 3.7: Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri	23
Tablo 4.1: Üretilen harç numuneleri ve ağırlıkça bağlayıcı oranları	36
Tablo 4.2: Hızlı kür uygulanan numunelerin birim hacim ağırlıkları	36
Tablo 4.3: Hızlı kür tabi tutulan numunelerin dayanım değerleri	37
Tablo 4.4: 28 günlük kür edilmiş numunelerin dayanım değerleri	39
Tablo 4.5: Malzeme oranlarına göre numune isimlendirme	41
Tablo 4.7: Hızlı kür uygulanan numunelerin dayanım değerleri	42
Tablo 4.8: Hızlı kür uygulanan numunelerin birim hacim ağırlık ve	
su emme değerleri	44
Tablo 4.9: Deney 2. aşama numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı değerleri	48
Tablo 4.10: Deney 2. aşama numunelerinin ultrases değerleri	50
Tablo 4.11: Deney 2. aşama numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı deneyi değerleri	51

SİMGELER

σ	: Basınç dayanımı (N/mm ²)
P	: Kırılma anındaki yük (N)
b	: Çelik plaka genişliği (mm)
d	: Çelik plaka uzunluğu (mm)
σ_e	: Eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)
F	: Kırılma anındaki yük (N)
L	: Mesnet açıklığı (mm)
l	: Harç numunesinin genişliği (mm)
h	: Harç numunesinin yüksekliği (mm)
mk	: Kuru numune ağırlığı (g)
ms	: Suyu doymuş numune ağırlığı
as	: Su emme oranı
W_{dyk}	: Suyu doymuş numune kütlesi
V_s	: Numune hacmi
Δdyk	: Doymuş yüzey kuru birim ağırlık
Wk	: Kuru numune kütlesi
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı
R	: Isıl direnç(m ² K/W)
D	: Numune kalınlığı(m)
A	: Ölçme alanı (m ²)
Q	: Ölçme kutusuna sağlanan güç
T_n	: Çevre sıcaklığı
T_a	: Civardaki çevre sıcaklığı (K veya °C)
T_r'	: Deney numunesinde görülen ortalama radyant sıcaklık
T_s	: Deney numunesinin yüzey sıcaklığı (K veya °C)
E	: Salım faktörü (0,9)
h_r	: Radyasyon katsayısı (W/m ² K)
σ	: Stefan Boltzman sabiti [5,67 x 10 ⁻⁸ W/(m ² .K ⁴)]

ATIK MALZEMELER KULLANILARAK ALTERNATİF DUVAR ELEMANI ÜRETİMİ

Tuğba KARTALTEPE

Anahtar kelimeler: Kompozit Duvar Malzemesi, Fosfojips, Perlit, Zeolit, Hafiflik, Yalıtım

Özet: Bu çalışmada atık malzeme kullanarak elde edilen duvar malzemesinden beklenen teknik özellikler olan yeterli basınç ve eğilme dayanımı, su emme, hafiflik ve yalıtım özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu yaklaşıma uygun olarak üzerinde çalışılan duvar malzemesinin ekonomik ve çevre dostu bir malzeme olabilmesi için atık alçıtaşı malzemesi (fosfojips), hafifletmek ve yalıtım değerini arttırmak için genleşmiş perlit, bağlayıcı olarak da zeolit, kireç ve çimento kullanılmıştır.

Çalışma iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda atık malzeme ile üretilecek olan duvar malzemesine ait bağlayıcı oranlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Harç numuneleri olarak 40x40x160 mm'lik kalıplar kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 35 °C'lik suda 24 saatlik hızlı kür ve 28 günlük normal küre tabi tutulmuştur. 24 saatlik hızlı kür ve 28 günlük numunelerin mekanik özelliklerinin fazla farklılık göstermediği gözlemlenmiştir. Daha sonra perlit ve fosfojips oranları değiştirilerek özellikler incelenmiştir. Bu aşamada fosfojips kalsine edilerek de kullanılmış ve sadece hızlı kür ile devam edilmiştir. Esas aşamada ise gerçek duvar malzemesi boyutlarına geçilerek 105x225x75 mm'lik kalıplar kullanılmıştır. Çalışma sonuçları harç numuneleri ile benzerlikler göstermiştir. Ayrıca numunelerin ısı izolasyonu değerlerine bakılmıştır.

Sonuç olarak yapılarda kullanılacak duvar malzemesi yapımında ısı performans, mekanik dayanımlar, hafiflik ve kolay işlenebilme, şekillenebilme ve ekonomi göz önüne alındığında fosfojipsin katkı olarak önemli fayda sağladığı ve özellikle çalışmanın atık malzemenin bertaraf edilebilmesi için önemli bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

PRODUCTION OF ALTERNATIVE MASONRY BLOCK USING THE WASTE MATERIALS

Tuğba KARTALTEPE

Keywords: Composite brick, phosphogypsum, perlite, zeolite, lightness, insulation

Abstract: The aim of this study was to investigate the technical properties such as the compressive and flexural strength, capillarity, lightness and insulation of brick which are produced by using waste materials.

According to this approach; phosphogypsum was used to produce an economical and sensitive for environment, perlite to lighten and increase insulation properties, cement, lime and zeolite as binder. The study contained two parts. In the first part, it was studied to determine the best binder ratio for the composite brick produced by waste materials. For that; first samples were used to determine the binder ratios. The samples used for comparison which were mortars 40x40x160 mm. These samples were experimented for 24 hour and 35 °C water in fast cure and for 28 days in normal cure. It was seen that mechanical properties of the samples in fast cure and normal cure were not very different. In the second stage, the properties of the samples were investigated by changing rates of perlite and phosphogypsum. Then, phosphogypsum were used be calcinated and it was continued only with the rapid cure. In the essential and the last step, the moulds of 105x225x75 mm were used by passing true brick to size. The results of the study showed similarities with those of the mortars. Also for heat insulation of the samples were taken.

In conclusion; it is determined that using of phosphogypsum as an additive in waste-material based brick, is strongly beneficial for insulation performance, mechanical durability, lightness, workability, forming and economical reasons. Especially it is thought that this study is important for different waste materials.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu için barınma ihtiyacının karşılanabilmesi için yapıların belirli koşulları sağlayarak, amacına uygun, güvenilir, ekonomik ve estetik olması istenir. Bu amaçlar doğrultusunda yapıları inşa ederken çeşitli yapı malzemelerinden faydalanılır ve yapının önemli bir bölümünü de duvar malzemeleri teşkil eder.

Duvar malzemeleri içinde en çok tuğla çok eski zamanlardan beri kullanılmış olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır. Tuğla kullanımının tarihte ilk kez Dicle - Fırat havzası kenarındaki yapılarda olduğu bilinmektedir. Burada bulunan yapı kalıntılarında M.Ö 6000 yıllarında güneşte kurutulmuş tuğlaların kullanıldığı saptanmıştır. M.Ö. 600–500 yıllarında tuğla üretimi farklılaşmış fırınlarda pişirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Anadolu ve Avrupa' da bu tarihsel gelişime paralel olarak ilerleyen üretim şekilleri Romalıların ilk standartları getirmeleri ve bu işin ticaretini yapmaya başlamaları ile farklı bir boyut kazanmıştır. Tuğla, 19. Yüzyıla kadar önemini korumuş ve taşıyıcı duvar elemanlarının en çok aranan malzemesi olmayı başarmıştır (DPT,2000).

20. Yüzyılda betonarme ve çelik yapıların ağırlık kazanarak yapı duvarlarının taşıyıcı konumundan çıkması ile yalıtım ve hafiflik konuları önem kazanmış, duvar malzemeleri de bu doğrultuda üretilmeye başlanmıştır. Özellikle gaz beton ve bims blok gibi duvar malzemeleri bu özellikleri ile ön plana çıkmıştır. Ayrıca atık yönetimi, atık depolamada yaşanan problemler ve atıkların geri dönüştürülerek ekonomiye kazandırılması gibi konular gittikçe önemli hale gelmeye başlamış ve bu doğrultuda kompozit malzeme üretimleri de ağırlık kazanmıştır.

Çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki gübre fabrikalarının yan ürünü olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan ve şlam ismiyle anılan fosfat içerikli atık alçıtaşı (fosfojips) malzemesi kullanılarak üretilen kompozitten beklenen teknik özellikler olan yeterli basınç dayanımı, su emme, hafiflik ve yalıtım özelliklerini sağlayıp

sağlayamayacağıının araştırılmasıdır. Bu sayede ülkeye farklı bir duvar malzemesi kazandırılması amaçlanmaktadır.

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere temin edilen fosfojips (fosfat içeren alçıtaşı), perlit, zeolit, kum, kireç ve çimento karışımları kullanılarak malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Katkısız ve değişik oranlarda katkılı kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitin de fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Türkiye genelinde zeolit ve perlit rezervinin zengin olduğu bilinmekle birlikte bunlardan pek azı ticari olarak işletilmekte ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bunun çeşitli sebeplerinden özellikle iç pazar açısından tüketim alanlarının ve bu alanlarda kullanılan miktarların az oluşudur. Yapılan çalışma ile, zeolit ve perlit yapı malzemeleri sektöründe yeni bir kullanım alanı sunarak Türkiye'deki zeolit ve perlit tüketiminin artırılması amaçlanmaktadır. Aynı şekilde yukarıda da açıklandığı gibi Türkiye'deki birçok atık ciddi anlamda hem depolama sorunu yaratmakta hem de çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Bu proje ile çok fazla depolama alanına ihtiyaç duyulan atık bir malzeme olan fosfojips ekonomiyeye kazandırılacaktır. Diğer taraftan duvar malzemesi üretiminde maliyetin düşürülmesine de katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, farklı oranlarda kompozit karışımları kullanılarak, hafiflik ve yalıtım sağlayacak en iyi kompozisyon bulunmaya çalışılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Duvar Malzemesi Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

2.1.1 Uçucu Kül

Puzolanlar içerisinde uçucu kül yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzeme termik enerji santrallerindeki kömürün ya da kömür ile enerji sağlayan fabrikalardaki kömürün yanmasıyla açığa çıkar. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce gaz içerisinde bulunan ince taneli küller süzülerek ayıklanır. Uçucu kül rutubetli ortamlarda kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek silikat hidrate oluşturan yarı kararlı alümin silikatlar oluşturur. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda 450 milyon tondur. Ancak çıkan bu malzemenin yaklaşık %6 sı yapı malzemeleri karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde uçucu kül üretimi 15 milyon tondur. Uçucu külü yapı malzemelerinde kullanmamızın nedenleri arasında çevre kirliliğini azaltmak, yapı malzemelerindeki maliyeti düşürmek ve malzeme özelliklerini iyileştirmek olarak sıralayabiliriz (Taşdemir ve diğ., 2002).

Tuğla üretiminde kullanılan killer SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O ve Na_2O den meydana gelmektedir. Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilirler. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile, tuğlaların kuruma ve pişme küçülmeleri azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır (Öztürk, 2001).

Uçucu külün tuğla yapımında kullanımı ile bu atık malzemenin doğaya verilerek çevre kirlenmesinin engellenmesinin yanı sıra: külün ekonomik değer kazanması, değirmende öğütme kolaylığı sağlaması, kalıplama ve presleme için daha az güç gereksinimi, kolay kuruma gibi avantajlar elde edilecektir. Uçucu küllü tuğla yapımında kullanılacak külün karıştırılacağı kilin özellikleri önemlidir. Karıştırılacak malzeme ve oranları deneysel olarak saptanmalıdır. Uçucu kül, kil ile

karıştırıldığında kilin porozitesini artırıp yoğunluğunu ve karışım suyunu ve pişme sırasında ısı tüketimini azalttığından tuğla üretiminde kullanılabilir (Güzel, 2003).

2.1.2 Pomza

Pomza akıcı lavların ani soğuması sırasında lavların içerisindeki gazların çıkışı neticesinde geriye kalan boşluklu yapıdaki cam özelliği taşıyan bir taş türüdür. Pomza mikroskop altında “Hyploplitik camı” özellikte görünür. Yapıdaki boşlukların birbiriyle ilintisi yoktur. Asidik magma ısısının çok yüksek olması, lavların püskürme ile çıkması, gaz oranının yüksek olması ve soğuma ile bünyeyi terk etmesi oluşumu kontrol eden faktörlerdir. Çok hafiflerdir. Yoğunluğu 1 gr/cm^3 tür. Suda yüzer. Mohs sertliği 6' dır . Hafif olmaları sebebiyle volkan etrafında kubbeler oluşturur su ve rüzgârla taşınabilirler, göl ortamında çökelerek tortul pomza yatakları oluşur (Uz, 1997).

Ana bileşenleri volkanik cam mineral taneleri (kuvars, kil) ve kaya kırıntılarıdır. Gözenekli yapılarından ve stabil olmayan minerallerden oluşmalarından dolayı kolay bozulmaya meyillidirler. Hava koşulları bu bozulmada çok etkilidir zaman ilerledikçe tane boyutları daha da küçülür (Ulusoy, 2008)

Pomza taşları silikat mineraller ve volkanik cam mineralleri açısından zengindirler bu nedenle bağlayıcı özellik göstererek suyun varlığında bileşenleri şekillendirmek için toz haline getirildikleri zaman kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerler. Türkiye pomza kaynakları açısından oldukça zengindir. Türkiye'nin yaklaşık 155000 m^2 si üçüncü ve dördüncü çağ volkanik kayalarla kaplıdır ki bazaltik pomzalar dördüncü çağda oluşan birikimlerdir. Bazaltik pomzanın gözenekli yapısı kolay ve ekonomik kırılma için bir avantajdır bunun yanında katkı olarak kullanıldığında işlenebilirlik, mekanik dayanıklılık ve ekonomi açısından bizlere olumlu etki sağlar (Binici ve diğ., 2008).

2.1.3 Bor ve Atıkları

B sembolü ile tanınan bor madeni çok az miktarda olmak üzere yer kabuğunda dolayısıyla canlıların yaşadığı ortamda bulunan metal olmayan bir elementtir. Doğal koşullarda serbest element olarak bulunmayan bor, oksijenle bileşik halde (bor oksit olarak) bulunur. Kimyasal formülü B_2O_3 olan bor oksit'in, Na, Ca, Mg gibi metal elementlerle yaptığı bileşiklere borat adı verilir. Dünyada en çok bulunan bor mineralleri bu boratlardır. Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup ticari öneme sahip bor mineralleri; tinkal, kolemanit, kernit, uleksit, pandemit, borasit, szaybelit ve hidroborasittir. Bor mineralleri yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içerirler. Dünyadaki yıllık B_2O_3 tüketiminin 1,5 milyon ton olduğu dikkate alındığında, ülkemiz bor rezervleri, dünya tüketimini 567 yıl boyunca karşılayabilecek düzeydedir.(Yılmaz, 2006)

Çağımızın gereği olan hızlı üretim ve tüketim artışı, birçok sorunu da beraberinde getirerek mevcut hammadde kaynaklarına alternatif olabilecek ikincil hammadde kaynağı olarak görülen atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmaları gündeme getirmiştir. Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, söz konusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları; seramik başta olmak üzere, tuğla ve çimento sektörüne yönlendirmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, tuğla üretiminde kullanılan kilin bor içerikli kil atıklarından karşılanabileceğini göstermiş ve hatta bazı özellikleri nedeniyle, belirli oranlarda normal tuğla toprağına karıştırılan bor atığı ilavesiyle elde edilen tuğlaların özellikleri bakımından çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Oruç ve diğ., 2004).

2.1.4 Perlit

Perlit asidik karakterli volkanik bir camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığında inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir. Isıyla genleşme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır. Perlitte en önemli özellik, hidrasyona uğramış camsı silika yapısındaki %2,5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır. Perlit 750–1200 C°

arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşür. İlk hacminin 20 katına kadar genişebilir. Bu ürüne genişmiş perlit denir. Türkiye’de yapılan araştırmalarda toplam mümkün perlit rezervinin 4,5 milyar ton belirtilmektedir (DPT,2001).

Perlit günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanlardan biride inşaat sektörüdür. Perlit yapısından dolayı tuğla içerisinde kullanıldığında yapıya hafiflik, enerji tasarrufu ve güvenlik sağlar.

Hafif yalıtımlı yapı malzemeleri kullanarak binaların ısınma (soğutma) maliyetleri % 50 oranında azaltabilmektedir. Hafif yapı malzemeleri kullanarak binaların ölü yükünü % 67 oranında azaltmak mümkündür. Hafif yapı malzemeleri kullanılarak birim zamanda örülen duvar ve yapılan sıva miktarları fazla olduğundan işçilik maliyetleri düşüktür. Gelişmiş ülkelerde İnşaatlarda kullanılan tuğla miktarları çok düşük olup sadece restorasyonlarda ve dekoratif amaçlarla kullanılmaktadır, Tuğla yapımında kullanılan topraklar milyonlarca yılda oluşan tarımsal kaynaklarımızdır. Dere kumları ise su kaynaklarımızı süzen doğanın böbrekleridir. Kaynak sularımız dere kumlarından geçerken temizlenmekte ve berraklaşmaktadır. Alternatifi olmayan toprak ve dere kumlarını korumalıyız. Hafif yapı malzemeleri çevre dostu malzemelerdir. (Doğan ve diğ., 2004).

2.1.5 Zeolit

Kristal yapılı yapay yada doğal sulu alüminyum silikat bileşikleri olarak tanımlanan doğal zeolitlerden günümüzde bir çok alanda yararlanılmaktadır. Katalizör, absorblayıcı ve iyon değiştirici olarak kimya endüstrisinde kullanılan yapay zeolitlerin yanı sıra, henüz yapay zeolitler kadar gelişmiş uygulama alanları bulamamış olan doğal zeolitler ise hafif yapı taşı ve puzolanik çimento katkı maddesi olarak inşaat endüstrisinde, katkı maddesi olarak kağıt sanayinde, toprak düzenleyici ve gübre katkı maddesi olarak tarım sektöründe kullanılmaktadır. (Yücel, 1987).

Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzolanlar, son beton ürününün daima yer altı su korozyonuna maruz kalacağı

hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir. Hafif agrega olarak perlit ve diğer volkanik camlar gibi doğal zeolitler de genişlemeye uygundur. Genleştirilmiş zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek olup, genleştirilmiş hafif agrega üretilmektedir. Zeolitik tüfler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı -sağlam yapıdadırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleri ile yapı taşı olarak kullanılırlar. Birçok ülkede uzun yıllar bu amaçla kullanılan devitrifiye volkanik küller ve değişime uğramış tüflerin zeolit içerikli olduğu son yıllarda anlaşılmıştır (M.T.A., 2009).

2.1.6 Fosfojips

Fosfojips fosforik asit üretiminde fosfat taşı ile sülfürik asidin reaksiyona girmesi ile açığa çıkan bir yan üründür ve kimyasal bir atıktır. İnşaat sektöründe; priz geciktirici ve klinker hammaddesi olarak, çimento ve kireç ile birlikte ikincil bağlayıcı olarak kullanılır, yapay agrega üretiminde ve yol stabilizasyonunda kullanılmıştır. Bu atığın çok az bir kısmı toprak ıslahı ve yol stabilizasyonunda kullanılmakta geri kalan kısmı ise genellikle açık arazide depolanmakta veya nehir ve denizlere dökülmektedir. Kısacası bu atığın kullanılması çevresel ve ekonomik açıdan getiriler sağlayacaktır.

Gübre fabrikası atığı olan fosfojipsten bağlayıcı olarak çimento elde edilmek istenmiş bunun üzerine çalışmalar yapılmıştır. Atık düşey fırın olarak adlandırılan akışkan yatak reaktörde pişirilmiştir. Deney atıkların kül fırını, kuvars akışkan reaktör ve seramik akışkan reaktörde 1000 °C ve üzeri sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Pişirilen örneklerin çimento endüstrisinde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için X ışınları difraksiyon analizlerini (XRD) kullanmıştır. Sonuç olarak akışkan yatak reaktörde fosfojips atıklarının kullanımıyla katı fazdan klinker elde etmiştir (Oğuz ve diğ., 1997).

2.2 Yapılarda Kullanılan Önemli Duvar Malzemeleri

2.2.1 Tuğla

Tuğla Hammaddesi kil olan, ateşe, suya, dona karşı oldukça dayanıklı olan tarihte ilk kullanılan temel yapı malzemelerindendir. Malzemenin ucuz, temininin ve kullanımının oldukça kolay olması sebebiyle yapılarda kullanımı oldukça yoğundur. Çeşitli yapı malzemeleri arasında tarihte ilk kullanılan yapı malzemelerindendir. Dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. İnsanlar zaman geçtikçe daha sağlam ve daha yüksek yapılar yapmak istemiş ve ihtiyaçlar bu yönde gelişmiş olduğu için tuğlayı pişirmişlerdir (Görçiz, 2000).

Tuğlanın hammaddesi killi mineraller içeren topraklardır. Bu toprakların tuğla hammaddesi olarak kabul edilebilmesi için aynı zamanda belli oranda su ile (%25 -%35) karıştırıldığında plastik çamur haline gelebilmesi ve şekillenmesi, 800-1000 °C de fırımlandığında çatlamadan sertleşebilmesi gereklidir. Kil içerisinde bulunan demirli, alkali ve silisli bileşikler tuğla malzemesinin ateşe dayanma yeteneğini artırırken, plastiklik yeteneğini azaltırlar (Köktürk, 2002).

Birçok seramik killerinden farkları tuğla killerinin demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Kimyasal yapıda ortalama % 42–64 SiO₂, % 15–20 Al₂O₃ ve % 8 CaO bulunmalıdır. Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) miktarı % 35'in altında % 25- 30'den fazla olmamalıdır. Tuğla-kiremit hammaddesi olarak kullanılacak olan killerde istenen birtakım fiziksel ve mekanik özellikler vardır. Bunlar;

- plastiklik suyu % 25–35,
- pişme rengi koyu kırmızı (% 5 Fe),
- gerekli su miktarı % 20– 30, sertlik 3–5 (Mohs),
- küçülme hacim kaybı % 6 (rötre),
- su emme % 10–15 olarak verilebilir. (DPT, 2001).

Tuğla üretimi hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma ve pişirme olarak dört aşamada gerçekleşmektedir. Hammaddenin hazırlanması aşamasında fiziksel olarak killerin boyut ve bileşim oranları ayarlanır. Hammaddenin iyi bir şekilde

işlenebilmesi ve plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için homojen bir dağılımının olması gereklidir. Bunun için malzemedeki çöpler ve iri taşlar ayrıldıktan sonra geriye kalan malzemeler homojen bir dağılıma sahip olana kadar iyice öğütülür. Öğütme işleminin ardından harmanlama işlemine geçilir. Burada malzemeye ek olarak tebeşir, kireç, kum, kömür külü gibi katkıları eklenir. Su ilave edilerek istenilen kıvama göre yoğrulur. Yoğrulan hamur dinlendirilerek direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme malzemenin kalitesini etkileyen en önemli unsurlardandır.

Hammadde aşamasından sonra şekillendirme aşamasına geçilir. Şekillendirmede farklı yöntemler kullanılarak değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğlalar elde edilir. Şekillendirme makine ile veya el ile yapılabilir. Mekanik olarak yapılan tuğlalarda presleme ve extrude (tel ile kesme) yöntemleri kullanılmaktadır.

Şekillendirilmiş tuğlaların pişirme öncesi belli miktarda mukavemet kazanmaları için ve pişirme sırasında meydana gelebilecek rötreye, çatlama, şekil değiştirme gibi etkileri en aza indirmek için kurutulmaları gerekmektedir. Kurutma işlemi normal doğa şartlarında olabildiği gibi nemi ve sıcaklığı kontrol altında tutulan odalarda yapılabilmektedir (Dönmez,1993).

Tuğla üretiminin son aşaması pişirme aşamasıdır. Pişirme sırasında kil sıcaklığın etkisi ile birtakım kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. Bu esnada yarı mamul tuğla içerisindeki organik maddeler 300°C de tamamen yanar. Isı 550 °C ye çıktığında molekül suyu bileşimi terk ederek karışım alümin ve silis olarak ayrışır. 550 ve 900 °C arasındaki ısıda alümin ve silis tekrar birleşerek meta kaolin silikati ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşturur. Bu yeni oluşan malzeme artık belli bir mukavemete erişmiş, belirli bir rengi olan, sert ve şekil değiştirmeyen bir mamul olmuştur. Pişirme sıcaklığının arttırılması su emiliminin azalmasına bunun yanında mekanik dayanımı ve birim ağırlığının artmasına neden olur. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı ürünün camlaşmasına neden olarak harca yapışmasına engel olur. Bu nedenle pişirme sıcaklığının en fazla 900–980 °C olması istenir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

2.2.2 Gazbeton

TS 453 e göre gaz betonun tanımı şöyle yapılmıştır. Gaz beton, ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturuvcu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif betondur.

Gaz betonu oluşturan ana maddelerden biri kuvarsittir. Kuvarsit, kuvars kumu ile doğada tesadüfen meydana gelmiş silisten oluşan bir çimentonun, birbirine bağlanarak sağlam bir oluşum içerisine girmeleriyle meydana gelen kayaç çeşididir. Bu kayaç direnci yüksek sağlam aşındırıcı öğütülmesi zor bir kayaçtır. Kuvarsitin kimyasal bileşimi kuvars kum taşı kuvars kumu gibi SiO_2 olup içerisinde çeşitli miktarlarda mika, kil, manyetit, kireç taşı, rutil, granat vb. bulunabilir. Gaz betonda ise SiO_2 miktarının en az %90, Fe miktarının en fazla %2 olması istenir (Çiçek ve diğ., 2002).

Gaz betonun tarihçesine baktığımızda doğal malzemeleri yapay olarak elde edip kullanma fikri 19. yüzyılın sonlarına rastlamaktadır. Gaz meydana getiren bir katkı ile gözenekli bir harç meydana getirmenin patenti ilk olarak 1889 da alınmıştır.1914' te çimento harcının içerisine kabarcık özelliği katabilecek çinko tozu, alüminyum tozu ve diğer madeni tozlar eklenerek hafif beton üretilebileceği görüşü ortaya atılmış 1920'li yıllarda ise beton harcına alüminyum tozu katılarak (basınçlı buhar sertleştirme tekniği kullanılarak) bu günkü gaz beton imalat teknolojisinin temelleri atılmıştır (Borhan, 1987)

Avrupa'da ve ülkemizde uzun yıllardan beri kullanılan gaz beton hafif olması, yanıcı olmaması, ısı tasarrufu sağlaması, kolay şekil verilebilmesi gibi birçok nedenden dolayı duvar malzemesi olarak kullanımda tercih sebebidir. Deprem riski olmayan bir çok ülkede gaz betonla yapılan çok katlı binalara rastlanılabilir. Bunun yanında gaz betonun (özellikle nem aldıktan sonra) deprem yükleri karşısındaki davranışına dair birçok karşıt fikirler bulunmaktadır (Çiçek ve diğ., 2002).

2.2.3 Bims Bloklar

Bims asidik veya bazik karakterli volkanizma faaliyetleri sonucunda oluşan bir kayac türüdür. Pomza, süngertaşı, nasır taşı isimleri ile anılabilir. Volkanik bir cam yapısındadır.TSE tarafından, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde 1g/cm³ ten büyük , sertliği mohs skalasına göre 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (Çiçek, 2002).

Bims blokların üretim aşaması çok zahmetlidir. Ocaktan ham bims elde edilmesi zorlu bir aşamadır. Ocağın konumu nitelikleri dekupaj çalışması cevher zonunun şekli ve kaldırılan örtü malzemesinin yerlerinin belirlenmesi aşamalarından sonra üretime geçilir. Üretim aşamasında bims malzemesinin içerisindeki yabancı maddelerden arındırılması gerekir. Malzememiz kayac parçalarından havuzda yüzdürme, kül ve killerden ise yıkama yöntemi ile ayırt edilir (Gündüz, 1998).

Yabancı maddelerden ayrılan bims malzemesi kırma eleme sistemlerinde kullanılabilir. Agregaya boyutlarına indirgenir. Agregaya çimento ve su ile homojen olarak karıştırılır. Oluşturulan karışım yüksek basınç ve vibrasyon altında kalıplara preslenir. Açık alanda kurumaya bırakılan bims bloklar istenilen mukavemet dayanımına ulaştığında nakledilirler (Çiçek, 2002).

2.2.4 Kompozit Duvar Malzemeleri Hakkında Literatür Araştırmaları

Yapılaşmada en önemli unsurlardan biri olan duvar malzemeleri için arayışlar sürmekte ve yeni kompozitler denenmektedir. Günümüzde birçok değişik hammadde bu kompozitlerin içinde yer almakta ve her geçen gün bunlara bir yenisi eklenmektedir. Çalışmalarda çok farklı kompozisyonların da kullanılıyor olması dikkat çekicidir ve özellikle atık maddelerin katkı olarak değerlendirilmesi konusu çevre ve ekonomi açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Değirmenci (2005) çalışmasında ise düşük basınç dayanımına sahip ve suya karşı direnci az olan kerpicingin bu zayıf yönlerini endüstriyel atıklar kullanarak giderilmesini araştırmıştır. Fosfojips, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 2.28 MPa ile 3.78 MPa arasında bulunmuştur. Katkısız numuneler ise 1 saatten sonra su içinde tamamen dağıldığından 24 saat su içinde tutulduktan sonra basınç dayanımlarını ve kılcallıkla su emme değerlerini tayin etmek mümkün olamamıştır. Katkılı numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları $1.779 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile $3.267 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$ arasında değişmektedir. Fosfojips katkısının kılcallıkla su emme değerlerini arttırdığı suya karşı dayanımı bir miktar düşürdüğü görülmüştür. Fosfojips, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç örneklerinin kuru birim ağırlıkları 1.40 kg/lt ile 1.50 kg/lt arasında değişmektedir. Fosfojips katkı oranının artışı kuru birim ağırlıkta azalmaya neden olmaktadır. Katkısız kerpiç numunelerinin kuru birim ağırlıkları 1.69 kg/lt olarak elde edilmiştir.

Değirmenci (2008a,b) yaptığı çalışmalarda fosfojipsin uçucu kül ve kireç ile birlikte inşaat sektöründe kullanım potansiyelini araştırmıştır. Fosfojips, çimento bağlayıcısı yapmak için ham ve kalsine edilerek kullanmıştır. Çalışmalarda fosfojips farklı sıcaklık ve sürelerde pişirilerek kalsine edilmiş ve alçıya dönüştürülmüştür. Karışımlar %10 kireç oranında sabit tutularak, değişik uçucu kül ve fosfojips yüzdelerinde oluşturulmuştur. Her karışımın su içeriği yayılma tablasında 110-115 mm yayılma yapacak şekilde ayarlanmıştır. 28 gün kürlenmiş numunelerden elde edilen sonuçlara göre fosfojips eklenmemiş numuneler hariç dayanımda bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca fosfojipsin ham ve kalsine edilerek kullanılması numune dayanımlarında farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Fosfojipsin ham olarak %50 oranında kullanılması ile 28. günde 2,29 MPa'lık bir basınç dayanımı elde edilirken, aynı oranda kalsine edilmiş fosfojipsin kullanılması durumunda 13.76 MPa'lık bir değere ulaşılmıştır. Ayrıca kalsinasyon için en ideal süre ve sıcaklığın 150°C ve 2 saat olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre fosfojips-uçucu kül-kireç karışımlarının tuğla ve blok gibi iç duvar malzemesi üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Singh ve Garg (1995) ise kalsine edilmiş fosfojips, uçucu kül, hidrate kireç ve portland çimentosuna dayanan çimento bağlayıcısının formülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Dayanım özelliklerini ve çimento bağlayıcısının hidratasyonunu %90 üzerinde bağıl nem ile 50 °C oda sıcaklığında araştırmışlardır. Diferansiyel termal analiz ve taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla incelenen çimento bağlayıcısının hidratasyonu göstermiştir ki, ileriki yaş dayanım gelişimi CSH ve etrenjitin oluşumu ile ilişkiliyken, çimento bağlayıcısındaki erken yaş dayanımının portland çimentosunun hidratasyonu ve pişirilerek öğütülmüş jipsin sertleşmesine bağlı olduğu görülmüştür.

Kumar (2000, 2001) uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının basınç dayanımı, su emmesi, yoğunluğu ve durabilitesini çeşitli miktarlarda uçucu kül, kireç ve kalsine edilmiş fosfojips kullanarak incelemiştir. Uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının özelliklerini sıradan pişirilmiş kil tuğlaları ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, bu tuğlaların daha hafif olduğunu, agresif ortamlarda durabil olduğunu ve yapı inşaatında kullanılmaları için yeterli dayanıma sahip olduklarını göstermiştir. Diğer bir çalışmada benzer şekilde uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının ve delikli blokların fiziksel ve mekanik özellikleri ile durabilitesini değişik miktarlarda uçucu kül, kireç ve jips kullanılarak incelemiştir. Bu blokların yük taşıyan duvarlarda kullanılmaları için yeterli dayanıma sahip oldukları gözlemlenmiştir. Yüksek miktarda uçucu kül içeren FaL-G tuğlaların yük taşımayan duvarlar ve bölmeler için çok katlı apartmanlarda kullanılabilir olduğunu tespit etmiştir.

Garg ve diğ.(1996) kalsine edilmiş fosfojips, uçucu kül ve kirece dayanan çimento bağlayıcısının durabilitesinde kür sıcaklığının etkisini incelemiştir. Bağlayıcı durabilitesi suda ve hızlandırılmış yaşlandırmada, 27 °C' den 60 °C' ye sıcaklıklarda ısıtma ve soğutma çevrimlerinin yanı sıra birbirini izleyen ıslanma ve kuruma performansı ile araştırılmış, elde edilen sonuçlar bağlayıcı dayanımının düştüğünü, kütle kaybının maruz bırakılan sıcaklık ve çevrimlerdeki artışla birlikte arttığını göstermiştir. Dayanım ve kütle kaybındaki değişimler diferansiyel termal analiz ve elektron mikroskop taraması ile belirlenmiştir. Dayanımdaki maksimum düşüş 60 °C' de gerçekleşmiştir.

Emrulloğlu ve diğ. (2002) tarafından ‘Eti bor Kırka boraks atığı ile Afyon Reis mermer atığından beyaz tuğla üretiminin araştırılması’ incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; Kırka boraks atıklarında bağlayıcı görevi görebilecek kil minerallerinin bulunduğu XRD analizi ile tespit edilmiştir. Ayrıca bor minerallerinin 600–700 °C’ lerde sıvı faz oluşturmaları, soğuyunca katılaşmaları da sıvı faz sinterlemeyi sağladığını göstermiştir. Elde edilen tuğla ürünlere uygulanan analizler sonucunda bor atıklarının beyaz tuğla üretiminde mermer tozu ile kullanılabilceğini göstermiştir. Kavas ve diğ. (2002) aynı atığın pres tuğla üretiminde ergitici eleman olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapılan deneylerde %15 konsantratör kil pestili ve %10 konsantratör şlam atığı Afyon bölgesi tuğla harmanına ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda üretilen numunelerin normal üretim pişirme sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta (800 °C) pişirilmelerine rağmen 900 °C’ de pişirilen normal pres tuğlaların basınç ve eğilme dayanımlarına ulaştığı, su emme değerlerinin düştüğü, birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı ve tozuma açısından büyük bir sorun yaşanmadığı saptanmıştır. Sonuç olarak bor atığı kullanarak pişirme maliyetlerinin düşürülebileceği belirtilmiştir. Uslu ve diğ. (2004) tarafından ‘Eti Kırka boraks işletmesi atıklarının tuğla katkısı olarak kullanılabilirliği’ incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda %30’ a kadar bor atığı ilavesiyle üretilen tuğlaların basma ve eğilme dayanımlarında artış, su emme, kuru küçülme ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma görülmüştür. Genelde tuğla üretiminde kullanılan 900 °C pişirme sıcaklığının 800 °C – 850 °C ye düşürülebileceği ve bu sıcaklıklarda oluşan camsı fazın artacağı bildirilmiştir. Yamık ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada ‘Bor atığının Tuğla sanayinde kullanılabilirliği’ incelenmiştir. Çalışmada bor atığı olarak Emet Kolemanit işletmesi bor atığı kullanılmıştır ve yapılan deneyler sonucunda TSE standartlarına uygun atık içeren tuğla reçeteleri geliştirilmiştir.

Demir ve diğ. (2002) tarafından ‘Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi’ incelenmiştir. Bu çalışmada bor atığı malzemesi pomza kumu ile karıştırılarak hafif yapı bloğu üretilmesi araştırılmıştır. Pomzanın bor atığı ile ağırlıkça %50 oranında karışımı yapılarak 900 °C sıcaklıkta pişirilmesi ile porozitesi yüksek, birim hacim ağırlığı düşük bir malzeme üretilebileceği belirlenmiştir.

Kula ve diğ. (2002) tarafından ‘Kolemanit atığı, kömür külü ve uçucu külün çimentonun özellikleri üzerindeki etkileri’ incelenmiştir. %3 Portland çimentosu ile kolemanit atığının yer değiştirmesi karışımın eğilme mukavemetini 28 günde büyük oranda arttırdığı görülmüştür.

Poon vd. (1999)’nin yaptığı çalışmada; uçucu kül, silis dumanı ve çimento karışımlarının gözeneklilik ve gözenek büyüklüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kullanılan malzemeler; portland çimentosu, düşük kalsiyum içerikli ASTM F sınıf uçucu kül, silis dumanı, 10-20 mm. max büyüklükte kırma taş ve doğal nehir kumudur. Su / bağlayıcı oranı 0,3-0,5 olarak 2 seri çimento hamuru hazırlanmıştır. _ki seride de; %0, 15, 25, 45, 55 uçucu kül + çimento ve %0, 10, 20, 40, 50 uçucu kül %5 silis dumanı + çimento oranı esas alınmış ve çimento hamuruna 28 ve 56 gün kür uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; uçucu kül ilavesi poroziteyi yükseltmiş fakat gözenek büyüklüğünü azaltmıştır. %5 silika dumanı ilavesi, gözeneklilik oranını ve gözenek büyüklüğünü önemli bir ölçüde değiştirmemiştir. 28 ve 56 günlük harçlar da %15–45 uçucu kül karışımı, çimento harçları karşılaştırdığında içyapıdaki gözeneklilik daha azdır. Uçucu külle beraber %5 oranında silis dumanı ilavesi içyapıdaki gözenekliliği oldukça azaltmıştır.

Öztürk (2001) yaptıkları çalışmada, endüstriyel bir atık olan Tunç bilek termik santral linyit kömürü uçucu külü ile Kılıçoğlu kiremit - tuğla fabrikasından aldıkları kilden belirli oranlarda karışım hazırlamış ve farklı sıcaklıklarda sinterledikleri puzolanik uçucu kül katkılı tuğla numuneler üzerinde içyapı analizi, kuruma, pişme, toplam küçülmeler, plastisite suyu, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, statik elastisite modülü, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testlerini uygulayarak tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Bu araştırma sonucunda iç yalıtım değeri arttırılmış, uçucu kül katkılı tuğla üretiminin mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Arıöz ve diğ. (2001), Çayırhan termik santrali uçucu külüne desülfürizasyon alçısı ve kireç karıştırarak basınçla şekillendirme yöntemiyle tuğla üretmişlerdir.

Pancar ve Kara (2001) farklı bir tuğla katkısı için kiremit üretimi esnasında açığa çıkan pişmiş atıkların cephe kaplama tuğlası üretiminde değerlendirilebileceğini incelemişlerdir.

Kavaklı ve Arcasoy (1998) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Gencer Alüminyum Tesisi atık su arıtma çamurunun (kırmızı çamur) değişik oranlardaki (%0, %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90) kompozisyonu ile Karabük Demir-Çelik Tesisi'nde yan ürün olarak açığa çıkan yüksek fırın cürufu homojen bir şekilde karıştırılarak seramik yapı malzemesi üretilmiştir.

Tanaçan, L. [1996], genleşmiş perlit, cam tozu ve bor bileşiklerini kullanarak farklı kompozisyonlarda tuğla üretmiştir. Çalışmada sinterleşme etkisi nedeniyle genleşmiş perlit, mukavemetin sağlanması için cam tozu ve bor katkısı tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre perlit katkı oranı arttıkça su emme değeri artmış, buna paralel olarak birim hacim ağırlığı azalmıştır. Cam tozu katkısının mekanik dayanımlarda olumlu artışlara neden olduğu fakat cam tozunun elde edilmesi ve öğütülmesinin ek bir gider oluşturduğu saptanmıştır. Bor içerikli Borik asit ve Boraks Fabrikası üretim artışı nispeten düşük sıcaklıkta camlaşmayı sağlayabilmiş, dolayısıyla 8500 °C'de 2 saatlik pişirme süresi perlit taneciklerinin erimesini de engellediğinden uygun bir sıcaklık olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen basınç dayanımı değerleri TS 705'de verilen basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırıldığında, üretilen tüm örneklerin standartta verilen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Standartın en büyük birim hacim ağırlığı olan 2.00 kg/m³ için belirlediği basınç dayanımı değerleri 23,5-17,6 ve 11,8 N/mm²'dir.

Bu çalışmada ise; birim hacim ağırlığı 0,87 kg/m³ olan %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 13,60 N/mm², birim hacim ağırlığı 0,96 kg/m³ olan %10 cam tozu ve %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 17,49 N/mm² ve yine birim hacim ağırlığı 0,92 kg/m³ olan %15 atık ve %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 24,07 N/mm² olarak bulunmuştur. Yukarıdaki çalışmaya paralel bir çalışmada, Kırka Boraks işletmesi konsantratörü atık ürünlerinin seramik yapıda atık malzeme ve seramik üretimi için uygun olabilecek bir malzemenin potansiyel kullanımını araştıran sonuçlar sunmaktadır (Çolak, 1999).

Naik ve Singh (1997)'in yaptığı çalışmada, maden ocağından temiz kum, çelik üretim dökümhanesinden dökümhane kumu, farklı kaynaklardan F sınıfı iki ayrı uçucu kül ve Portland çimentosu temin edilerek, akıcı şerbet karışımlarda geçirimsizlik etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, ASTM F sınıfındaki iki farklı uçucu kül, 28 günlük mukavemeti 0,34-0,69 MPa arasında olan akıcı uçucu kül şerbeti farklı oranlarda kullanılmıştır. Diğer karışımlarda uçucu kül yerine, temiz ve kullanılmış dökümhane kumu %30-85 arasında katılmıştır. Akıcı karışımların geçirimsizliği ya çimentosu malzeme oranının ya da dökümhane kumu içeriğinin artmasından etkilenmiştir. Geçirimsizlik değerleri, %85 dökümhane kumu yerine uçucu kül ile dolgu yapıldığında azalmaktadır. Bu değerler test edilen karışımlarda 3×10^{-6} ile 74×10^{-6} cm/s. arasında değişmektedir. Akıcı şerbet karışımların üretiminde uçucu kül yerine %85 den fazla dökümhane kumu kullanıldığında; 28 günlük basınç dayanımı 0,27-0,61 MPa civarında olmaktadır.

Özkul ve Koral (1995)'in yaptığı diğer bir çalışmada; baca gazı desülfürizasyon sistemi kurulan Çayırhan Termik Santralında açığa çıkan iki atık ürün (uçucu kül ve desülfojips) ve kireç ile kalsiyum sülfö-alüminat ve kalsiyum silikat hidrate ürünlerini oluşturarak bağlayıcı malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır. Desülfojips, uçucu kül ve kireç çeşitli oranlarda karıştırılarak 40x40x50 mm. Boyutlarda numuneler üretilmiştir. Desülfojips oranı karışımlarda ağırlıkça %10 ve %20 alınmıştır. Uçucu kül %80-70-60 ve kireç %20-30-40 olarak karışım oranları belirlenmiştir. Üretilen numunelere laboratuvar şartlarında kür uygulanmış ve 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları saptanmış ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Kür sıcaklığının artırılmasının sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; uçucu kül kireç karışımına kimyasal alçı (desülfoalçı) ilave etmenin aktiviteyi arttırdığı ve en yüksek dayanımların %10-20 alçıtaşı ilaveli serilerde olduğu görülmüştür. Kür sıcaklığını arttırmak, hidratasyon hızının artmasına neden olmuş ve buna paralel dayanımlar artmış, yaklaşık 50 MPa dayanım elde edilmiştir. Kür sıcaklığındaki artış basınç dayanımlarını arttırırken, birim hacim ağırlıklarda düşüşe ve hacimce su emmelerde ise artışa neden olmuştur.

Uygunoğlu ve Ünal (2006) yapmış oldukları bu çalışmada, Afyon ve çevresinde bulunan diyatomit hafif agregası ile üretilen hafif blok elemanların mekanik özellikleri araştırmışlardır. Karışımlarda, su/çimento oranını 0.15 olarak sabit tutmuşlardır. 4 farklı granülometri ve 2 farklı çimento miktarında olmak üzere 8 seri üretmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde, basınç dayanımı ve ultra ses hızı deneyleri yaparak birim hacim ağırlık ve görünen porozite değerleri belirlenmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda üretilen numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları, 0.95-1.2 kg/dm³ arasında değişirken, basınç dayanımları da 2.5-6 N/mm² arasında değişmiştir. Sonuç olarak diyatomit ile üretilmiş olan hafif blok elemanların bölme elemanı olarak kullanılması ile yapının zati yükünün azaltılmasında fayda sağlayacağı görülmüştür.

Bentli ve diğ. (2005) yapmış oldukları bu çalışmada Seyit Ömer Termik Santral uçucu küllerinin kimyasal ve mineralojik özellikleri tespit edilmiş ve inşaat tuğlası yapımında katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seyit Ömer termik santralinden alınan uçucu baca külü ile endüstriyel çaptaki tuğla fabrikasında dört farklı reçetede %2.5, %5, %10, %15 baca küllü tuğlalar hazırlanmıştır. Uçucu kül katkılı tuğla reçeteleri ile fabrikada üretilen referans tuğlanın fiziksel ve mekanik testleri laboratuarda yapılmıştır. Bu testler sonucunda referans tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda artırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmamıştır. Uçucu kül ilavesi, üretilen tüm reçete tuğlalarda su emme miktarını referans tuğlaya göre azaltmış, buna karşılık tuğlaların hiçbirinde referans tuğlada elde edilen dayanım değerine ulaşamamıştır.

Turgut (2003) tarafından atık kireçtaşı tozu, cam tozu ve az miktarda Portland çimentosu, su ile nemlendirilerek karıştırılmış ve çelik kalıp içerisinde sıkıştırılarak yapay kireçtaşı numuneleri üretilmiştir. Karışım içerisinde, kireçtaşı tozu ağırlığının, % 10, 20 ve 30'u oranında cam tozu kullanıldığında, cam tozunun karışım içerisindeki puzolanik etkisinden dolayı fiziksel, mekaniksel ve termal özelliklerde, cam tozu içermeyen kontrol numunesine kıyasla önemli derecede iyileşme gözlenmiştir. Kireçtaşı tozu ve cam tozu kullanılarak üretilen yapay kireçtaşlarının rengi ve dokusu doğal kireçtaşına benzemekte olup, betonarme yapılara tarihi doku

vermek amacıyla, dış cephe ve iç mekân kaplamalarında kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada, kireçtaşı tozu ile cam tozunun, yeni yapı malzemelerinin üretilmesi bakımından büyük bir potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir.

Aksin (2007) çalışmasında, Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan ana malzeme olan kil ile sanayi atıkları olarak nitelendirilen uçucu kül ve fosfojips karışımlarından yeni bir tuğla – kiremit hammaddesi elde etmenin yolları araştırmıştır. Uçucu kül malzemesinde bulunan yanmamış karbon parçacıklarının üretim sırasında verilen yüksek sıcaklığın etkisi ile yanarak bünyeden uzaklaşıp geride küçük çaplı boşluklar bırakacağı öngörülmüş ve bu malzeme deneysel çalışma kapsamına alınmıştır. Sonuç olarak tuğla bünyesinde oluşan mikro boşlukların avantajları, nemin kapilarite ile tasınım imkânını gözlemlenebilir oranda yavaşlatması, ısı izolasyonuna yardımcı olması ve hafifletici etki oluşturması gözlemlenmiştir. Fosfojips malzemesi de ikinci katkı malzeme olarak kullanılmış ve hafifletici etkisinden olduğu gözlemlenmiştir.

Bideci ve diğ. (2008) yapmış oldukları bu çalışmada, diyatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bunun için Ankara İmrahor Bölgesindeki tuğla fabrikalarından alınan tuğla kili ve Ankara Şeker Fabrikası diyatomit tesislerinden alınan diyatomit hammaddesi kullanmışlardır. TSE 705 (TS EN 771-1) standardında verilen dolu tuğla sınıfı, (1.8/100) tuğlanın mekanik özellikleri göz önüne alınarak, farklı karışım oranlarındaki deney numuneleri, 800 °C, 900 °C ve 1000 °C 'de pişirme sıcaklıklarında pişirilmiştir. Uygun tuğla üretimi için, pişirilen deney numuneleri üzerinde standart testler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda %20 diyatomit katkılı ürünlerin 900 °C 'de pişirilmesi ile gerekli mekanik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceği görülmüştür.

Satapath (2000)'de zirkonya ve uçucu kül katkıları ile farklı kompozisyonlarda tuğla üreterek, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda artan katkı oranıyla su emme azalmış ve sertliği artmıştır. Üç noktalı eğilme dayanımı %10 katkı oranına kadar artış göstermiş, fakat %10 oranın üstündeki karışımlarda bu değer azalmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1.Çimento

Bağlayıcı olarak Nuh Çimento A.Ş.'den alınan TS EN 197-1 CEM 1 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait analiz sonuçları Tablo 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI	%
SiO ₃	20,5
Al ₂ O ₃	4,65
Fe ₂ O ₃	3,40
CaO	64,73
MgO	1,02
SO ₃	2,71
Çözünmeyen Kalıntı	0,60
Kızdırma Kaybı	2,15
Serbest Kireç	1,03
Toplam Alkali	0,59
Na ₂ O+0,658 K ₂ O	
Klorür	0,0084

Tablo 3.2: Çimentoya ait fiziksel analiz sonuçları

Özellikler	Değer	
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,13	
Donma Süresi	Başlangıç	Son
(Vicat, dakika)	153	188
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3596	
90 µ Elek Üstü (%)	0,2	
45 µ Elek Üstü (%)	12,8	
Hacim Sabitliği (mm)	2	
1 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	30,2	
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,1	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	62,2	

3.1.2. Kireç

Çalışmalarda kullanılan kireç Nuh Yapı Ürünleri ve Makine San. A.Ş. den alınan TS EN 459-1 (CL 80 S) tipi kireçtir. Kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Kirece ait kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık	TS EN 459-1
Ca(OH) ₂	82,3	-
CaO	88,59	-
MgO	1,2	Min. 5
CaO+MgO	89,79	Min. 80
Kızdırma Kaybı	6,1	Mak. 7
SO ₃	1,3	Mak. 2
Serbest Su	0,6	Mak. 2

3.1.3. Zeolit

Çalışmalarda Ege Zeolit San. Tic. Ltd. Şti. den alınan zeolit Puzolanik katkı olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Zeolite ait kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
CaO	2,98
MgO	1,46
SiO ₂	70,14
TiO ₂	0,097
Al ₂ O ₃	11,46
Fe ₂ O ₃	0,85
K ₂ O	4,37
K.K	8,17
Na ₂ O (ppm)	354
Asitte B (ppm)	131,13

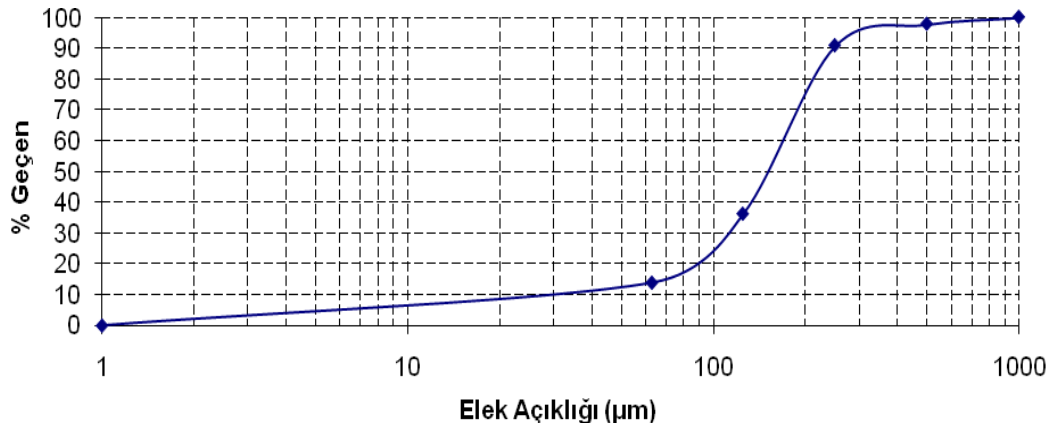
Mineralojik inceleme sonucunda örneğin tamamen zeolitleşmiş volkan camından oluşmakta olduğu gözlenmiştir. Yer yer mangan boyamalarına rastlanmıştır.

3.1.4. Fosfojips

Atık malzeme olarak kullanılan fosfojips Bandırma Bağfaş Gübre Fabrikası A.Ş. nin stok sahasından temin edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 3.5’te, malzemenin granülometri eğrisi de Şekil 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.5: Fosfojipse ait kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
Toplam P ₂ O ₅	0,35
CaO	32,26
MgO	0,02
Fe ₂ O ₃	0,02
Al ₂ O ₃	0,03
SO ₃	54,15
F-	0,04



Şekil 3.1: Fosfojipsin granülometri eğrisi

3.1.5. Su

Deneylerde Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'na şehir şebekelerinden gelen musluk suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Perlit

Deneylerde kullanılan perlit Taşper Perlit San. ve Tic. Ltd. Şti. den temin edilen 0-3mm boyutunda olan genişmiş perlittir. Analiz sonuçları Tablo 3.6 ve 3.7’de sunulmuştur.

Tablo 3.6: Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi

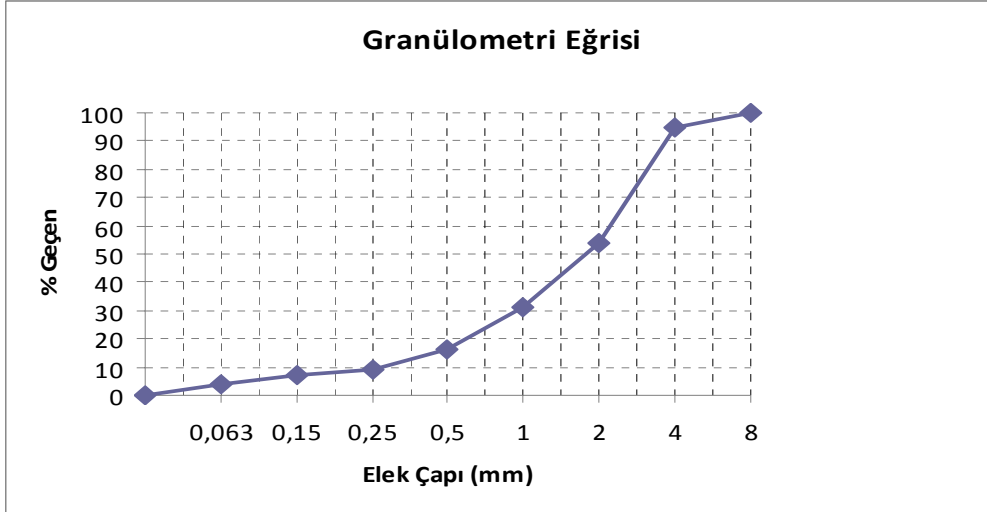
Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO ₂	60-80
Al ₂ O ₃	12-16
Na ₂ O	3-10
K ₂ O	2-5
CaO	0-2
MgO	0-1
Fe ₂ O ₃	0-1

Tablo 3.7: Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Özellikler	Genleştirilmiş Perlit
Tane Büyüklüğü	0-3 mm
Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)	50-80
Doğal Nem	Mask. % 0,5
pH	6,5-8
Yumuşama Sıcaklığı	890-1100 °C
Erime Sıcaklığı	1280-1380 °C

3.1.7. Kum

Deneysel çalışmada kullanılan kırma kum 2,62 gr/cm³ özgül ağırlığında olup %1,8 su emme değerine sahiptir ve Kavanlar Hazır Beton firmasından temin edilmiştir. Şekil 3.2’de kırma kumun granülometri eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.2: Kırma kumun granulometri eğrisi

3.2. Yöntem

Çalışma ön deneyler ve deneyler olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Ön deneylerde tezin esas kısmı olan deneysel çalışmanın sağlıklı ve bilimsel bir şekilde yürütülmesini sağlayacak bilgilere ulaşmak amaçlanmıştır. Bu amaçla Oransal olarak bağlayıcı malzeme araştırmaları yapılmış (çimento, kireç ve zeolit) ve bunlar arasında iyi olanları seçilerek deneysel çalışmanın esas bölümüne geçilmiştir.

Deney aletlerinin olanakları ve deney sonuçlarının güvenilirliği açısından numune boyutlarının ilk etapta 40x40x160 mm olması öngörülmüştür ve bu boyutlarda çelik kalıplar kullanılmıştır. Bu sayede eğilme deneyi sonucunda iki prizma parçası üzerinde de basınç deneyi yapılabilecektir. Esas deneylerin ilk aşamasında yine 40x40x160 mm'lik prizmalardan faydalanılmış (Şekil 3.3) ve bunların da seçilenleri üzerinden 105x225x75 mm boyutlu (Şekil 3.4) numuneler dökülerek test edilmiştir. Bu numunelere de basınç ve eğilme deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.3: 40x40x160 mm çelik kalıp



Şekil 3.4: 105x225x75 mm çelik kalıp

Her karışımın hazırlanması aşamasında kullanılacak su ve malzeme miktarı gramın onda biri hassasiyetindeki elektronik tartı ile tartılmıştır. Her karışımın hazırlanmasında kullanılacak su miktarının tayini, Şekil 3.5'teki yayılma tablasında $\%110 \pm 5$ yayılmayı sağlayacak şekilde belirlenmiştir (Değirmenci, 2008a; 2008b; 2005).



Şekil 3.5: Yayılma tablası

Numunelerin hazırlanması aşamasında Şekil 3.6'daki hobart mikser kullanılmış karıştırıcıya önce katı haldeki malzemeler atılmış, daha sonra su ilave edilmiştir. Taze karışım halindeyken yayılma tablasında harcın önce su oranına bakılmış, daha sonra iki aşama halinde çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Çelik kalıplara yerleştirilirken daha sonra basınç uygulanacağı için harç kalıpların yaklaşık 1 cm üzerine çıkarılmıştır.



Şekil 3.6: Hobart mikser

Basınç cihazına konan kalıplardaki harcın üzerine çelik aparatlar konularak Şekil 3.7'deki gibi 60 sn boyunca 17 MPa/sn basınca maruz bırakılmıştır (Turgut ve Yahlizade, 2009). Daha sonra yeni dökülmüş numunelerin (Şekil 3.9) üzeri düzeltilerek kurumak üzere 24 saat doğal ortamda bırakılmıştır.



Şekil 3.7: Harcın sıkıştırılması



Şekil 3.8: Kalıba yeni dökülmüş numuneler

24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmış, hızlı kürde 35 °C sıcaklıkta 1 gün süresince (Şekil 3.9) ve 27 gün boyunca kür tankında (28 günlük oluncaya kadar) olmak üzere iki farklı kür metodu ile kürlenmiştir. Kürden çıkarılan numuneler eğilme ve basınç testlerine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.9: Hızlı küre bırakılmış numuneler

Ön deney aşamasından sonra elde edilen bilgiler ışığında esas deney aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada fosfojips kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz olarak ilk aşamadaki kum ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kalsinasyon 2 saat sabit süre ile 150 °C'lik sıcaklık kullanılarak yapılmıştır (Değirmenci, 2008b) Böylece fosfat içerikli alçıtaşının bağlayıcılığını artırarak mukavemetin yükseltilmesi hedeflenmiştir.

3.2.1. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonrasında ikiye ayrılan parçalar üzerinde TS EN 12390-3 standardına uygun olarak numune altına ve üstüne 40 mm genişlik ve uzunlukta çelik plakalar yerleştirilerek yapılmıştır. Deney hızı 0,1 MPa/sn yükleme ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kırılma yükü aşağıdaki formülde yerine konarak basınç dayanımı tespit edilmiştir.

$$\text{Basınç Dayanımı} = \frac{P}{b \cdot d}$$

$$\text{Basınç Dayanımı} = \text{N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$$P = \text{Kırılma anındaki yük (N)}$$

$$b = \text{Çelik Plaka Genişliği (mm)}$$

$$d = \text{Çelik Plaka uzunluğu (mm)}$$

3.2.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde TS EN 1015–11 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasından tek noktadan 0,02 MPa/sn yükleme hızında gerçekleştirildi (Şekil 3.11). Elde edilen kırılma yükü aşağıdaki formülde yerine konarak eğilme dayanımı tespit edilmiştir.

$$\text{Eğilmede Çekme Dayanımı} = 1,5x \frac{FxL}{bxd^2}$$

$$\text{Eğilmede Çekme Dayanımı} = \text{N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

F=Kırılma anındaki yük (N)

L=Mesnet açıklığı (mm)

b= Harç numunesinin genişliği (mm)

d=Harç numunesinin yüksekliği (mm)



Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı deneyi

3.2.3. Ultrases deneyi

Ultrases hızı yöntemi numune uçlarından gönderilen ses dalgalarının hızının ölçülmesinden ibarettir. Pulser kısa aralıklı yüksek voltajlı sinyalleri, verici rezonans frekansı titreştirmesi için gönderir. Elektriksel itki başladığında elektronik saat çalışır. Verici vibrasyonları viskoz sıvı başlıklarıyla betonun içine iletir. Vibrasyonel dalga eleman içerisinde ilerleyerek numune yüzeyinin diğer ucunda bulunan alıcıya ulaşır. Dalga alıcı kafa tarafından algılandığında elektronik saat değer gösterir ve ulaşma süresi tespit edilir. Verici ve alıcı arasındaki direk

mesafe ulaşma süresine bölünerek numune içindeki ultrases hızı da elde edilmiş olur. Ultrases deneyi, ASTM C597-83 standardına göre yapılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Ultra ses deneyi

3.2.4. Su Emme Deneyi

Su emme deneyinde numuneler kür tankına yerleştirilmiş ve 24 saatin sonunda sudan çıkarılarak, yüzeylerindeki su silindikten sonra hassas terazide tartılmıştır (ms). Aynı numuneler etüvde 105 ± 5 °C’ de 24 saat süresince kurutulmuş ve tartılmıştır (mk). Kuru ağırlık ile doymuş ağırlık arasındaki fark emilen su olarak kaydedilmiştir. Suyu doymuş numunenin ağırlığı (ms), 24 saat kurutulup, oda sıcaklığında soğutulan numunenin ağırlığı (mk) ve ağırlıkça su emme oranı (as), aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Deney ASTM C 67-08 standardına göre yapılmıştır.

$$\text{Su emme oranı } \% (aS) = [(ms - mk) / mk] \cdot 100 \quad (\%)$$

3.2.5. Birim Ağırlık Deneyi

TS EN 12390-7’e uygun sertleşmiş beton birim ağırlığı numunenin durumuna göre hesaplanır. Suyu doymuş numune kütlesi (W_{dyk}), kilogram olarak kaydedilmiştir. Numune

hacmi, boyutları ölçülerek cm^3 cinsinden hesaplanır (V_s). Doygun kuru yüzey birim ağırlık aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta_{dyk} = W_{dyk} / V$$

Etüv kurusu durumdaki numunenin birim ağırlığı için, numune (105 ± 5) °C sıcaklıktaki hava dolaşımına etüvde 24 saat tutulmuş ve soğutulduktan sonra tartılmıştır (W_k). Etüv kurusu numunenin okunan kütlesi, kilogram olarak kaydedilmiştir. Numune hacmi (V) ölçülerek cm^3 cinsinden bulunmuş ve birim ağırlık aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta_k = W_k / V$$

3.2.6. Isıl İletkenlik Katsayısı Deneyi

Cihaz sıcak hücre soğuk hücre ve numune hücresi olmak üzere üç bölümden oluşur. Sıcak hücrede ortam sıcaklığı hücre iç sıcaklığı ve numune sıcaklık ölçüm termokupulları mevcuttur. Orta hücre numune bölümüdür ve numune burada aparatları ile ısı geçirgenliği minimuma indirilerek deneye hazır hale getirilir. Soğuk ve soğuk hücrede iç sıcaklık ve numune sıcaklığını ölçmeye yarayan termokupullar vardır (Şekil 3.13, 3.14).



Şekil 3.13: Isıl iletkenlik deney cihazı



Şekil 3.14: Isıl iletkenlik deney numunesi ve termokupullar

Deney esnasında her iki taraf da sıra ile çalıştırılarak, cihaz göstergeleri kararlı duruma gelene kadar beklenir. İstenen ölçüm değerleri alındıktan sonra aşağıdaki formüller yardımı ile ısı iletkenlik katsayısı hesaplanır.

$$\lambda = \frac{D}{R} \quad (3.1)$$

λ = Isıl iletkenlik katsayısı

R = Isıl direnç (m^2K/W)

D = Numune kalınlığı (m)

$$R = \frac{A(T_{n1} - T_{n2})}{Q} \quad (3.2)$$

A = Ölçme alanı (m^2)

Q = Ölçme kutusuna sağlanan güç

T_n = Çevre sıcaklığı

$$T_n = \frac{Ta \frac{Q}{A} + Eh_r (T_a - T_r') T_s}{\frac{Q}{A} + Eh_r (T_a - T_r')} \quad (3.3)$$

T_a = Civardaki çevre sıcaklığı (K veya °C)

T_r' = Deneş numunesinde görülen ortalama radyant sıcaklığı (K veya °C)

T_s = Deneş numunesinin yüzey sıcaklığı (K veya °C)

E = Salım faktörü (0,9)

h_r = Radyasyon katsayısı (W/m^2K)

$$h_r = 4\sigma T_m^3 \quad (3.4)$$

σ = Stefan Boltzman sabiti [$5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$]

$$T_m = \frac{T_{r1} + T_{s1}}{2} \quad (3.5)$$

4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın başlangıç bölümünde Türkiye'deki gübre fabrikalarının yan ürünü olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan fosfat içerikli atık alçıtaşı (fosfojips) malzemesinin üretim sırasında kompozitten beklenen teknik özellikler olan yeterli basınç dayanımı, su emme, hafiflik ve yalıtım özelliklerini sağlayıp sağlayamayacağını deneysel olarak inceleneceğine ve bu sayede ülkeye farklı bir duvar malzemesi kazandırılıp kazandırılmayacağını araştırılacağına değinilmişti. Bu bölümde tezin esas bölümünü oluşturan deneysel çalışmanın sağlıklı ve bilimsel bir şekilde yapılmasını sağlayacak koşulların neler olduğu ve bu koşullara bağlı olarak hangi kapsamda ne tür deneyler yapılması gerektiği incelenecektir.

Bu çalışmanın amacını çok fazla depolama alanına ihtiyaç duyulan atık bir malzeme olan fosfojipsin ekonomiye kazandırılması, diğer taraftan duvar malzemesi üretiminde maliyetin düşürülmesi ve farklı oranlarda kompozit karışımları kullanılarak, hafiflik ve yalıtım sağlayacak en iyi kompozit malzemenin bulunmaya çalışılması olarak açıklayabiliriz.

Çalışmada kullanılmak üzere temin edilen fosfojips (fosfat içeren alçıtaşı), perlit, zeolit, kum, kireç ve çimento karışımları kullanılarak malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deney öncesinde, üretecek olduğumuz duvar malzemesinden beklediğimiz yeterli dayanım, yalıtım, hafiflik ve ekonomik katkı gibi özellikleri göz önünde bulundurarak değişik oranlarda katkılı kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin de fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Deney dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada her bir sette 6 adet numune olmak üzere 12 set halinde kum ve perlit oranları sabit tutularak, ağırlıkça çimento, kireç ve puzolan oranları değiştirilerek ön deneyler yapılmıştır. Beklenti yeterli dayanım ve hafifliğin sağlanmasıdır. İkinci aşamada yeterlilik arz eden numunelerin içerisinden üç set seçilmiş olup bu setlerin çimento, kireç ve puzolan oranları sabit

tutularak kum yerine fosfojips eklenmiş, fosfojips ve perlit oranları değiştirilerek 3 set halinde her bir sette 6 adet oran değişimi ve her birinde üç döküm olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada önceki her bir set içerisinde üç adet olmak üzere dayanım, hafiflik ve ekonomi yönünden en yeterlileri seçilmiştir. Bu aşamada fosfojips fırında 2 saat süre ile 150 °C de kalsine edilmiş, her bir sette 3 adet işlem her bir işlemde üç adet numune dökümü olmak üzere toplam 27 adet döküm yapılmıştır. Bu dökümler deneyler için 40x40x160 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Dördüncü aşamada ise boyutlar tuğla numunesine yakın ölçülere getirilmiş eğilme ve basınç deneyleri ile ısı iletkenlik ve ultrases deneylerine tabi tutulmuştur. 105x225x75 mm'lik kalıplara 3 set halinde her sette 3 işlem her işlemde 5'er numune olarak dökülmüştür.

4.1. Ön Deney-1.Aşama

Ön deney numuneleri 12 set halinde her sette 6 adet numune olmak üzere basınç ve eğilme deneyleri için 40x40x160 mm boyutundaki prizmatik dikdörtgen çelik numuneler kalıplara dökülmüştür. Su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri için ise 12 set halinde her set 3 adet numune olmak üzere 50x50x50 mm boyutlarındaki numuneler çelik kalıplara dökülmüştür. 24 saat sonra dökülen numuneler kalıptan çıkarılmış dikdörtgen prizma numunelerin 3 adedi hızlı küre 3 adedi 28 gün sonra eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmak üzere normal küre koyulmuştur. Ön deney 1. aşamada kum ve perlit ağırlıkları sabit tutulup, su miktarı yayılma tablasında ayarlanmış, ağırlıkça çimento, kireç ve puzolan (zeolit) miktarları değiştirilmiştir. 1 m³ karışım içerisinde 300 kg bağlayıcı kullanılmıştır. Tablo 4.1'de numune isimlendirmelerinin nasıl yapıldığı, bağlayıcı araştırmasında üretilen numune seri ve içerikleri, Tablo 4.2'de hızlı küre uygulanan numunelerin birim hacim ağırlıkları, Tablo 4.3'de hızlı küre tabi tutulan numunelerin dayanımları yer almaktadır.

Tablo 4.1: Üretilen harç numuneleri ve ağırlıkça bağlayıcı oranları

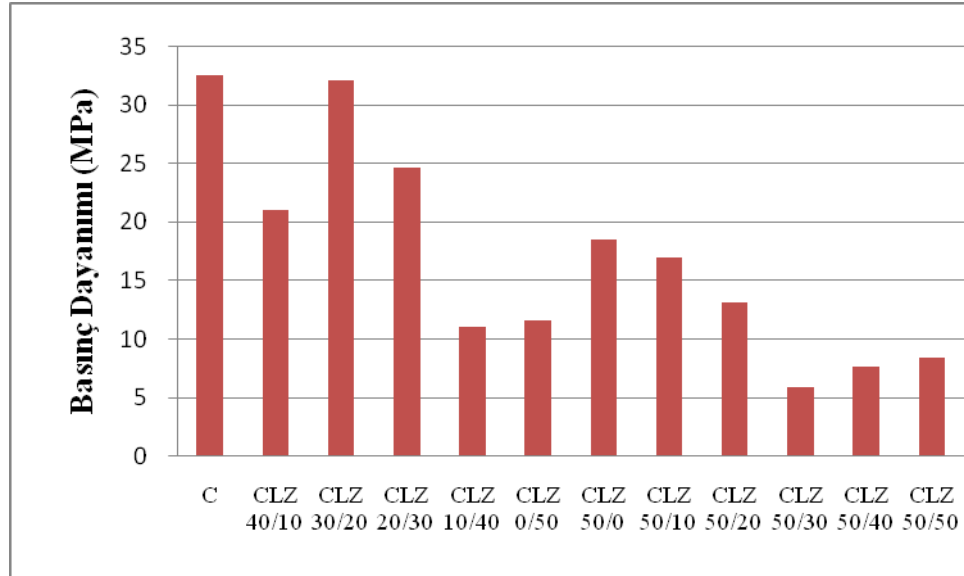
Numune Tipi	Çimento %	Kireç %	Zeolit %
C	100	0	0
CLZ 40/10	50	40	10
CLZ 30/20	50	30	20
CLZ 20/30	50	20	30
CLZ 10/40	50	10	40
CLZ 0/50	50	0	50
CLZ 50/0	50	50	0
CLZ 50/10	40	50	10
CLZ 50/20	30	50	20
CLZ 50/30	20	50	30
CLZ 50/40	10	50	40
CLZ 50/50	0	50	50

Tablo 4.2: Hızlı kür uygulanan numunelerin birim hacim ağırlıkları

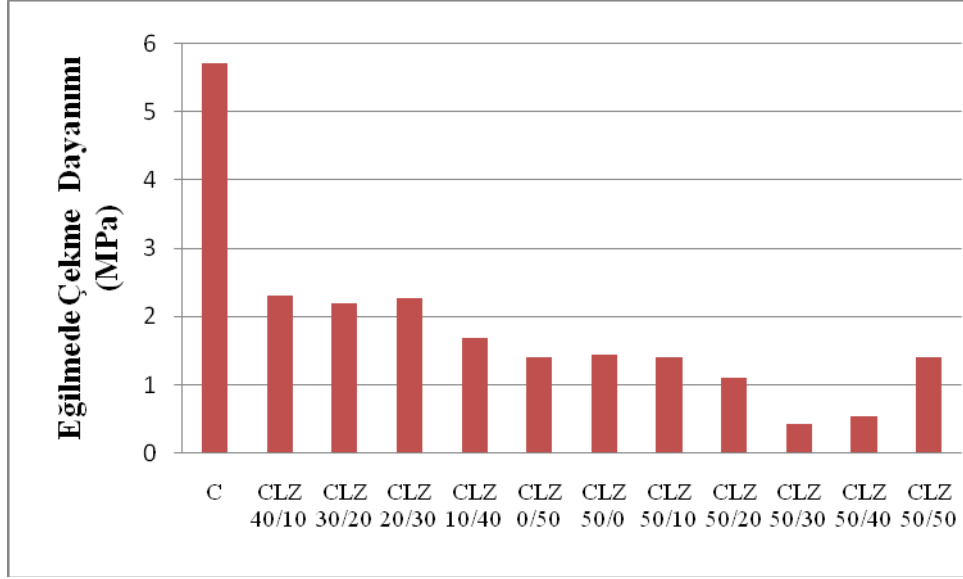
Numune Tipi	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)
C	2,06
CLZ 40/10	1,924
CLZ 30/20	1,902
CLZ 20/30	1,895
CLZ 10/40	1,842
CLZ 0/50	1,858
CLZ 50/0	1,92
CLZ 50/10	1,848
CLZ 50/20	1,837
CLZ 50/30	1,829
CLZ 50/40	1,819
CLZ 50/50	1,809

Tablo 4.3: Hızlı küre tabi tutulan numunelerin dayanım değerleri

Numune Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
C	32.58	5.70
CLZ 40/10	21.02	2.30
CLZ 30/20	32.14	2.19
CLZ 20/30	24.67	2.27
CLZ 10/40	11.08	1.68
CLZ 0/50	11.60	1.41
CLZ 50/0	18.50	1.44
CLZ 50/10	16.98	1.41
CLZ 50/20	13.07	1.09
CLZ 50/30	5.83	0.43
CLZ 50/40	7.67	0.55
CLZ 50/50	8.45	1.4



Şekil 4.1: Hızlı kür numune basınç dayanım grafiği



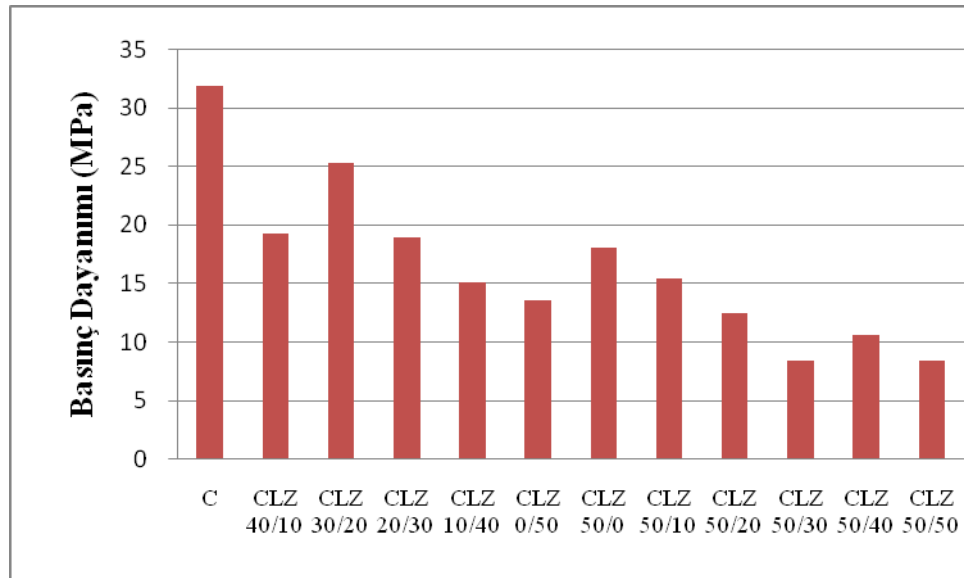
Şekil 4.2: Hızlı kür numunelerinin eğilme dayanımı grafiği

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de görüldüğü üzere sadece çimento kullanılmış olan numunenin basınç ve eğilme mukavemetleri diğer numunelere nazaran çok daha yüksektir. Diğer numuneler arasında basınç ve eğilme mukavemeti farklılıkları çok fazla gerçekleşmezken, kireç oranı yüksek CLZ50/30 ve CLZ50/40 numunelerinin mukavemet değerlerinin çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra çimento kullanım oranı arttıkça numunelerin basınç ve eğilme mukavemetlerinin arttığı gözlenmiştir. Özellikle sadece çimento kullanılmış olan numunenin eğilme dayanımı dikkat çekicidir.

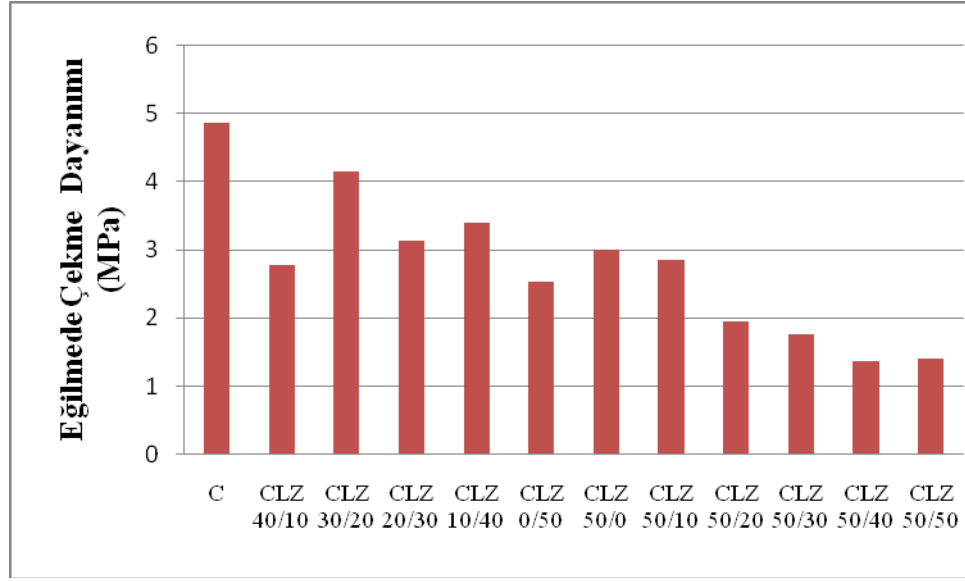
Tablo 4.4’de 28 günlük küre tabi tutulan numunelerin basınç ve eğilme dayanımları görülmektedir. Şekil 4.3 ve 4.4’de ise bu tabloya göre oluşturulan grafikler görülmektedir.

Tablo 4.4: 28 günlük kür edilmiş numunelerin dayanım değerleri

Numune Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
C	31.89	4.9
CLZ 40/10	19.29	2.8
CLZ 30/20	25.33	4.1
CLZ 20/30	18.93	3.1
CLZ 10/40	15.11	3.4
CLZ 0/50	13.61	2.5
CLZ 50/0	18.11	3.0
CLZ 50/10	15.44	2.9
CLZ 50/20	12.50	2.0
CLZ 50/30	8.43	1.8
CLZ 50/40	10.56	1.4
CLZ 50/50	8.45	1.4



Şekil 4.3: 28 günlük kür numune basınç dayanımı grafiği



Şekil 4.4: 28 günlük kür numune eğilme dayanımı grafiği

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de görüldüğü üzere hızlı kür edilmiş numunelerin eğilme dayanımları 28 gün kür edilmiş numunelerden az da olsa düşük görünmektedir. Basınç dayanımları arasında biraz farklılıklar olsa da genel anlamda hızlı kür edilmiş numune ve 28 gün kür edilmiş numunelerin basınç dayanımları birbirine yakındır. Grafikselsel eğilimler ise büyük benzerlikler göstermektedir.

4.2. Ön Deney-2.Aşama

Ön deney 2. aşamada, ön deney 1. aşama numunelerinden elde edilen bilgiler neticesinde C, CLZ30/20 ve CLZ20/30 numunelerinin basınç ve eğilme deneylerinde settteki diğer numunelerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş, bu numuneler üzerinde çalışılmaya karar verilmiştir. Ön deney 2. aşamada C, CLZ30/20 ve CLZ20/30 numuneleri için çimento, puzolan (zeolit) ve kireç oranları sabit tutulup karışıma kum yerine fosfojips eklenmiş, fosfojips ve perlit oranları arasında oynamalar yapılarak yeterli dayanım ve hafiflik yönünden en iyi karışım oranları

belirlenmeye çalışılmıştır. Fosfojips, kalsine edilmeden ve kalsine edilerek iki halde kullanılmıştır. Bu şekilde kalsine edilmiş fosfojips ve kalsine edilmemiş fosfojipsin kullanımının karşılaştırılması da sağlanacaktır.

Ön deney 2. aşama numuneleri 3 set halinde her sette fosfojips/perlit hacimce oran değişimine bağlı olarak 6 farklı oran herbirinde 3'er numune olarak dökülmüştür. Tablo 4.5'da numunelerin nasıl isimlendirildiği, Tablo 4.6'de ise 1m³ karışım içerisindeki malzeme ağırlıkları yer almaktadır. Basınç ve eğilme deneyleri için prizmatik çelik kalıplara, su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri için ise küp kalıplara dökülmüştür. 24 saat sonra dökülen numuneler kalıptan çıkarılmış prizma ve küp numunelerin 3 adedi hızlı küre bırakılmış 24 saat sonra hızlı kürden alınarak, eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Küp numuneler kürden çıktıktan sonra su emme ve birim hacim ağırlıklarına bakılmıştır. Ön deney 2. aşamada setlere bağlı olarak çimento, kireç ve zeolit ağırlıkları sabit tutulup, su miktarı yayılma tablasında ayarlanmış, hacimce perlit ve fosfojips miktarları ile ön deney 2. aşamada yapılan basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.7'de sunulmuştur.

Tablo 4.5: Malzeme oranlarına göre numune isimlendirme

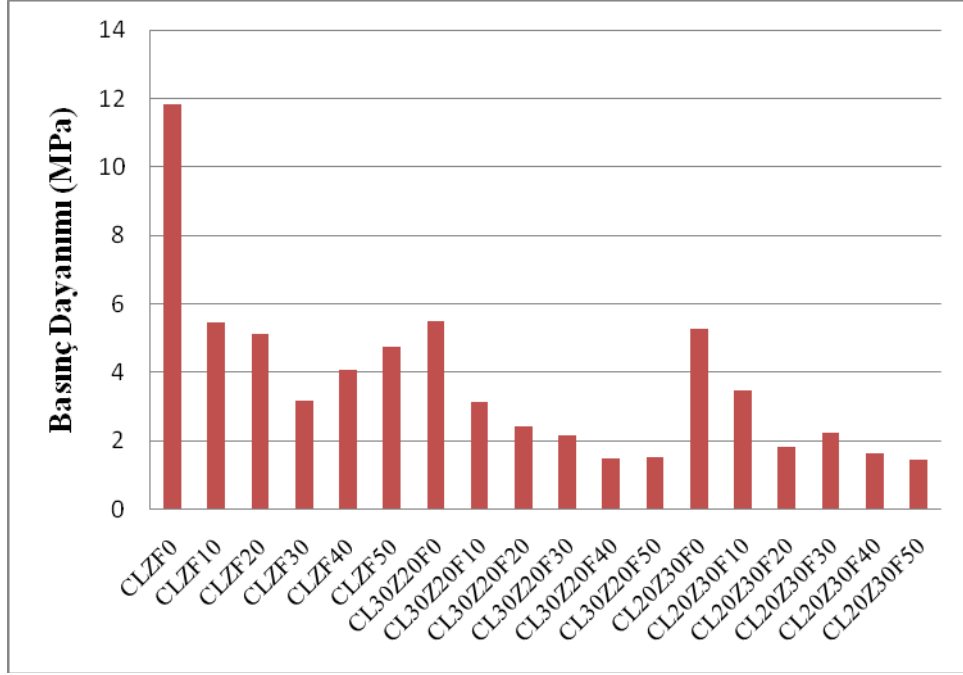
Numune Tipi	Fosfojips %	Perlit %
CLZF0	0	100
CLZF10	10	90
CLZF20	20	80
CLZF30	30	70
CLZF40	40	60
CLZF50	50	50
CL30Z20F0	0	100
CL30Z20F10	10	90
CL30Z20F20	20	80
CL30Z20F30	30	70
CL30Z20F40	40	60
CL30Z20F50	50	50
CL20Z30F0	0	100
CL20Z30F10	10	90
CL20Z30F20	20	80
CL20Z30F30	30	70
CL20Z30F40	40	60
CL20Z30F50	50	50

Tablo 4.6: 1 m3 karışım içerisindeki malzeme ağırlıkları

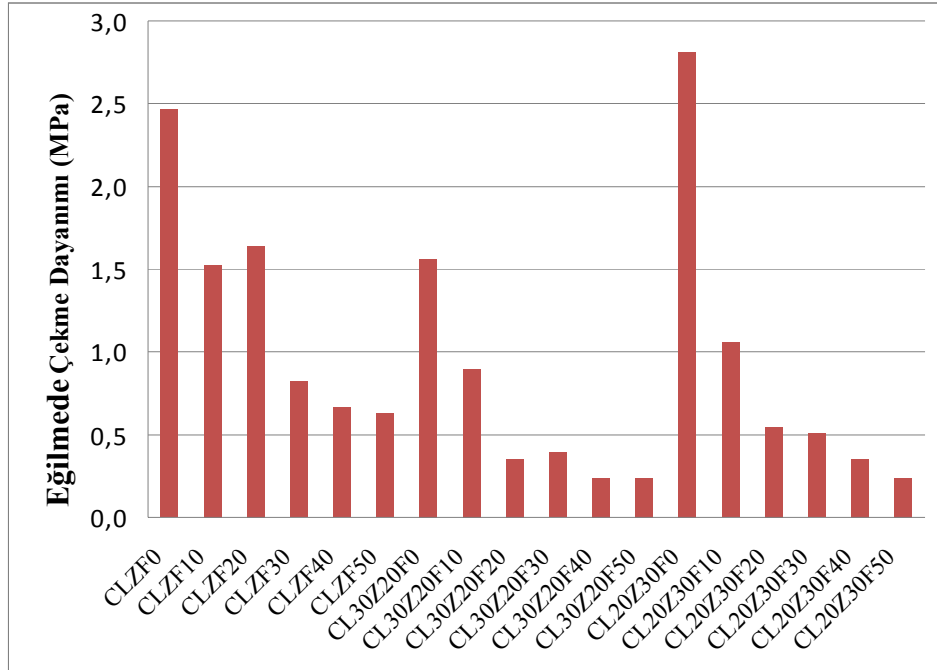
Numune Tipi	Çimento(Kg)	Kireç (Kg)	Zeolit (Kg)	Perlit (Kg)	Fosfojips(Kg)	Su (kg)
CLZF0	300	0	0	49,30	0	135
CLZF10	300	0	0	44,37	224,53	135
CLZF20	300	0	0	39,44	449,05	135
CLZF30	300	0	0	34,51	673,58	135
CLZF40	300	0	0	29,58	898,10	135
CLZF50	300	0	0	24,65	1122,63	135
CL30Z20F0	150	90	60	48,22	0	135
CL30Z20F10	150	90	60	43,39	219,59	135
CL30Z20F20	150	90	60	38,57	439,18	135
CL30Z20F30	150	90	60	33,75	658,78	135
CL30Z20F40	150	90	60	28,93	878,37	135
CL30Z20F50	150	90	60	24,11	1097,96	135
CL20Z30F0	150	60	90	48,14	0	135
CL20Z30F10	150	60	90	43,32	219,23	135
CL20Z30F20	150	60	90	38,51	438,47	135
CL20Z30F30	150	60	90	33,70	657,71	135
CL20Z30F40	150	60	90	28,88	876,95	135
CL20Z30F50	150	60	90	24,07	1096,19	135

Tablo 4.7: Hızlı kür uygulanan numunelerin dayanım değerleri

Numune Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilmede Dayanımı (MPa)
CLZF0	11.83	2.46
CLZF10	5.45	1.52
CLZF20	5.11	1.64
CLZF30	3.17	0.82
CLZF40	4.07	0.66
CLZF50	4.74	0.63
CL30Z20F0	5.49	1.56
CL30Z20F10	3.14	0.90
CL30Z20F20	2.43	0.35
CL30Z20F30	2.18	0.39
CL30Z20F40	1.49	0.23
CL30Z20F50	1.53	0.23
CL20Z30F0	5.27	2.81
CL20Z30F10	3.46	1.05
CL20Z30F20	1.83	0.55
CL20Z30F30	2.24	0.51
CL20Z30F40	1.63	0.35
CL20Z30F50	1.45	0.23



Şekil 4.5: Hızlı kür uygulanan numunede basınç dayanımı grafiği



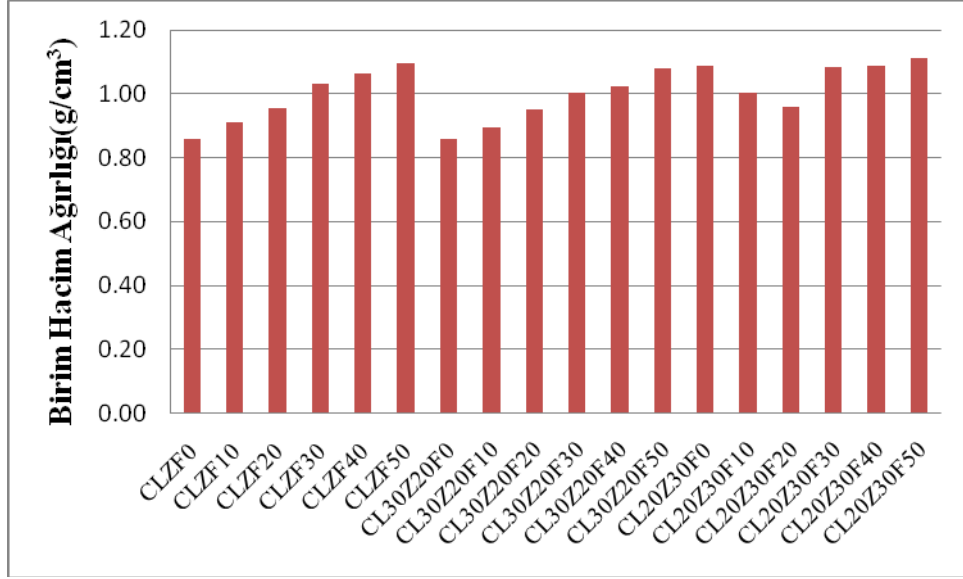
Şekil 4.6: Hızlı kür uygulanan numunede eğilme dayanımı grafiği

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ya bakıldığında kullanılan kalsine olmayan fosfojipsinde oransal olarak arttırılması ile birlikte basınç ve eğilme mukavemetlerinde azalma

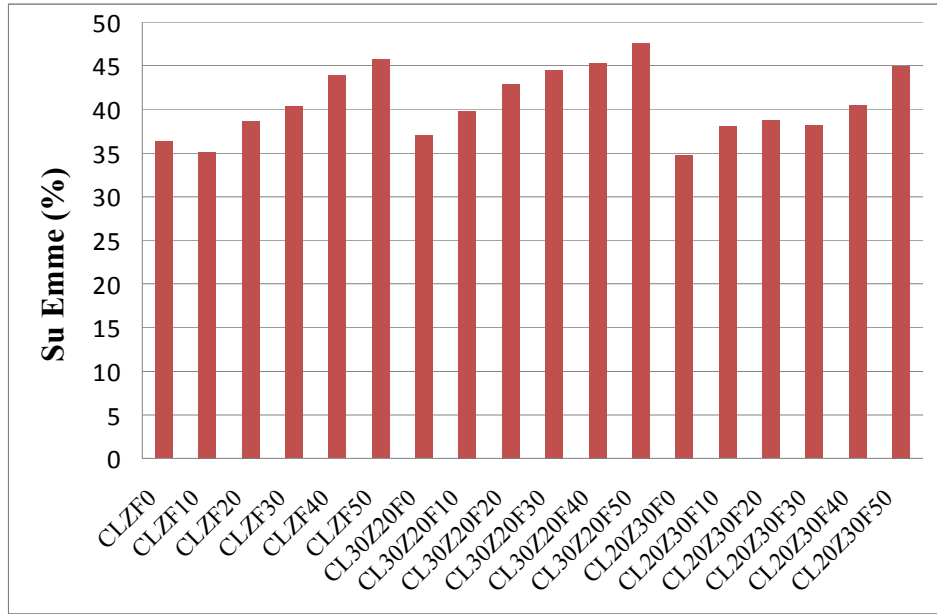
gözenmiştir. Yine en iyi basınç ve mukavemet değerine sahip olan numuneler çimento oranının yüksek olduğu numunelerdir. Perlit oranındaki artış basınç ve eğilme mukavemetlerinde düşüşe yol açmaktadır.

Tablo 4.8: Hızlı kür uygulanan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Numune Tipi	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Su emme (%)
CLZF0	0.858	36.31
CLZF10	0.911	35.13
CLZF20	0.955	38.61
CLZF30	1.031	40.29
CLZF40	1.065	43.87
CLZF50	1.095	45.71
CL30Z20F0	0.859	37.02
CL30Z20F10	0.893	39.83
CL30Z20F20	0.952	42.88
CL30Z20F30	1.004	44.48
CL30Z20F40	1.023	45.28
CL30Z20F50	1.080	47.57
CL20Z30F0	1.089	34.74
CL20Z30F10	1.003	38.08
CL20Z30F20	0.961	38.72
CL20Z30F30	1.084	38.11
CL20Z30F40	1.088	40.40
CL20Z30F50	1.113	44.97



Şekil 4.7: Hızlı kür uygulanan numunede birim hacim ağırlık grafiği



Şekil 4.8: Hızlı kür uygulanan numunelerde su emme

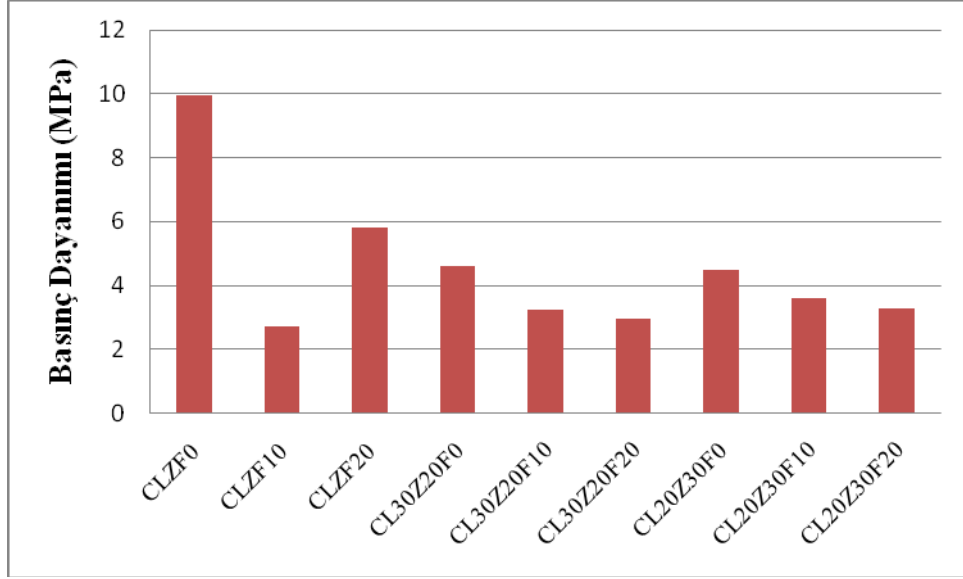
Hızlı kür uygulanan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme değerlerinin verildiği Tablo 4.8'a göre çizilmiş olan Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 ye bakıldığında perlit oranı arttırılıp fosfojips oranı arttırıldığında su emme ve birim hacim artmaktadır.

4.2. Esas Deney Aşaması

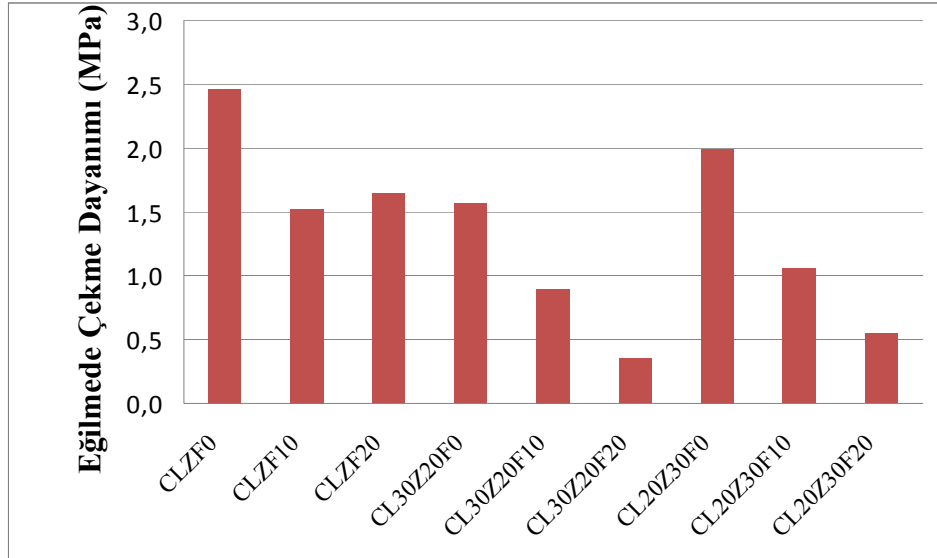
Ön deney aşamasından elde edilen bilgiler ışığında esas deney aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada hazırlanacak deney numuneleri duvar malzemesi boyutlarına daha yakın ölçülere getirilmiştir. Bu aşamada deney numune harçları 75x105x225 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Deney ön aşama oranları kullanılarak daha büyük kalıplara döküleceği için hacimsel olarak dökülen harç numunesi oranları arttırılmıştır. Deney 2. aşama numuneleri 3 set halinde her sette kalsine edilmiş fosfojips-perlit hacimce oran değişimine bağlı olarak, 3 adet işlem olmak üzere her işlemde 5 numune şeklinde dökülmüştür. Dökülen numuneler 24 saat süre ile doğal ortamda kalıplar içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler 35 ± 3 °C deki suda 24 saat süre ile hızlı küre bırakılmıştır. Hızlı küreden alınan numunelerin her bir setteki her bir işlemde üçer adet numune 24 saat doğal ortamda bekledikten sonra basınç ve eğilme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Küreden çıkartılan ve doğal kurumaya bırakılan bir diğer numune üzerinde 105 ± 5 °C fırında 1 gün bekletildikten sonra ultra ses deneyi uygulanmıştır. Diğer kalan numune üzerinde ise küreden çıkarılıp doğal ortamda bekletildikten sonra ısı iletkenlik testine tabi tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde basınç, eğilme, ultra ses ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Esas deney aşaması ile ilgili bilgiler aşağıdaki tablo ve şekillerde sunulmuştur (Tablo 4.9, Şekil 4.9 ve 4.10).

Tablo 4.9: Deney 2.aşama numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı değerleri

Numune Tipi	Basınç Dayanımı (Mpa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)
CLZF0	9.95	1.92
CLZF10	2.73	1.05
CLZF20	5.82	1.65
CL30Z20F0	4.59	1.40
CL30Z20F10	3.26	0.90
CL30Z20F20	2.95	0.47
CL20Z30F0	4.48	1.44
CL20Z30F10	3.59	1.08
CL20Z30F20	3.28	0.61



Şekil 4.9: Deney 2.aşama numunelerinin basınç dayanımı grafiği

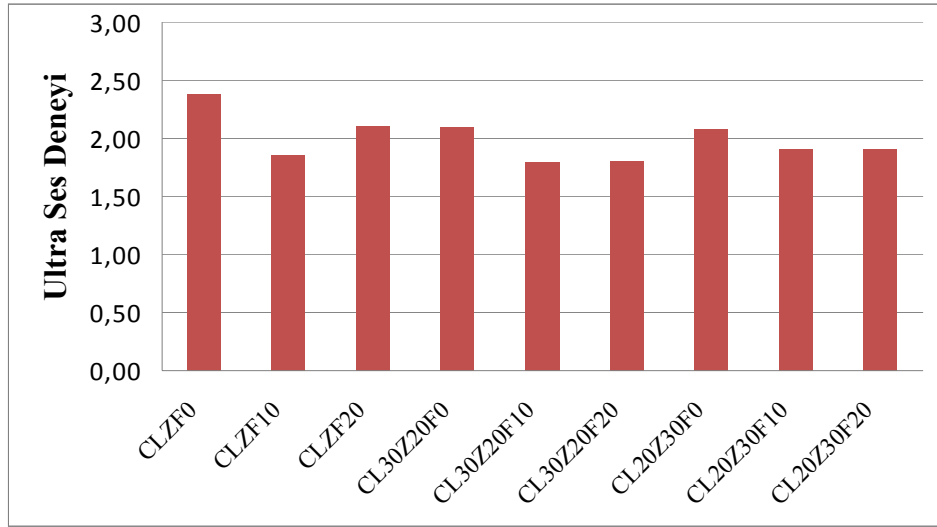


Şekil 4.10: Deney 2.aşama numunelerinin eğilme dayanımı grafiği

Şekil 4.9 ve 4.10’da hem basınç, hem de eğilme dayanımının numunelerdeki fosfojips oranına bağlı olarak düştüğü ve yine en iyi değerlerin çimentolu numunelerde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.10: Deney 2.aşama numunelerinin ultrases değerleri

Numune No	Ultra ses hızı (km/sn)
CLZF0	2,38
CLZF10	1,85
CLZF20	2,10
CL30Z20F0	2,10
CL30Z20F10	1,80
CL30Z20F20	1,80
CL20Z30F0	2,08
CL20Z30F10	1,91
CL20Z30F20	1,91

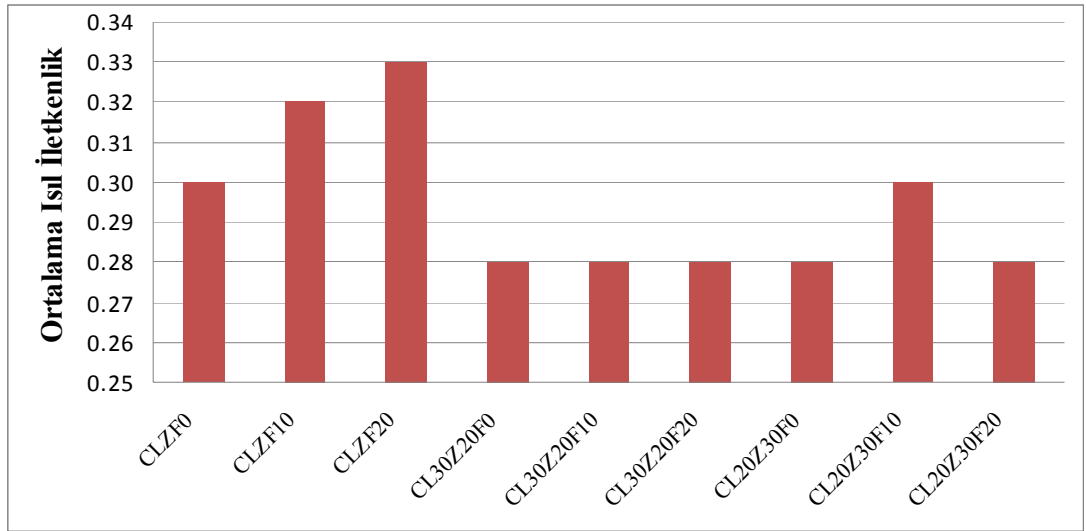


Şekil 4.11: Deney 2.aşama numunelerinin ultrases deneyi grafiği

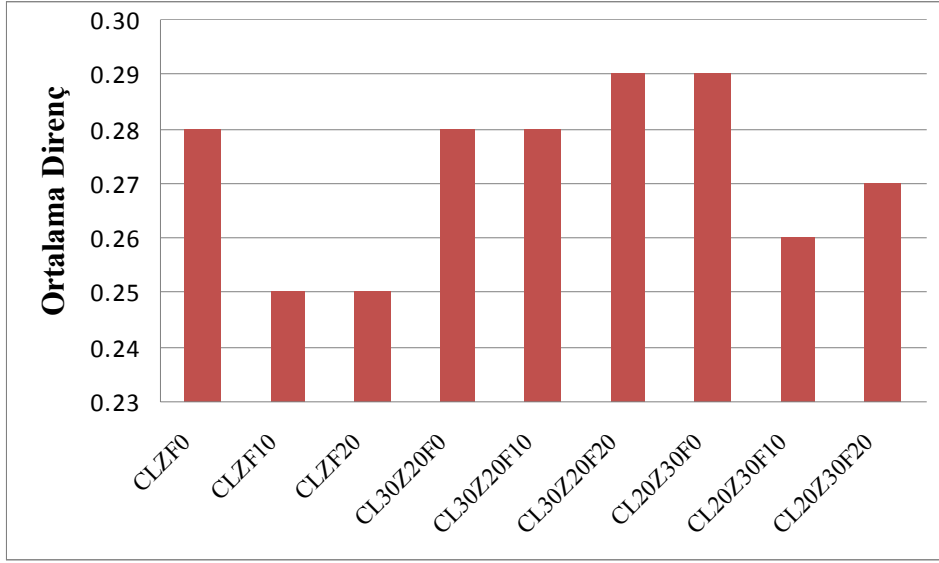
Şekil 4.11’de dayanımlarda takip edilen fosfojips artışına bağlı dayanım azalması ultrases grafiğinde de azalma göstererek olması gerektiği gibi paralellik arz etmiştir. Çalışmada kullanılan numuneler için bulunan ısıl direnç, ısıl iletkenlik katsayısı ve birim ağırlıklar Tablo 4.11’de verilerek, Şekil 4.12’de ısıl iletkenlik katsayısı, Şekil 4.13’te ısıl direnç ve Şekil 4.14’te Isıl özellikler ile birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler çizilmiştir.

Tablo 4.11: Deney 2.aşama numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı deneyi değerleri

Numune No	λ_{ort}	R_{ort}	Birim Hacim Ağırlığı(g/cm^3)
CLZF0	0.30	0.28	0.858
CLZF10	0.32	0.25	1.003
CLZF20	0.33	0.25	1.032
CL30Z20F0	0.28	0.28	0.859
CL30Z20F10	0.28	0.28	0.965
CL30Z20F20	0.28	0.29	0.989
CL20Z30F0	0.28	0.29	0.924
CL20Z30F10	0.30	0.26	1.053
CL20Z30F20	0.28	0.27	0.958

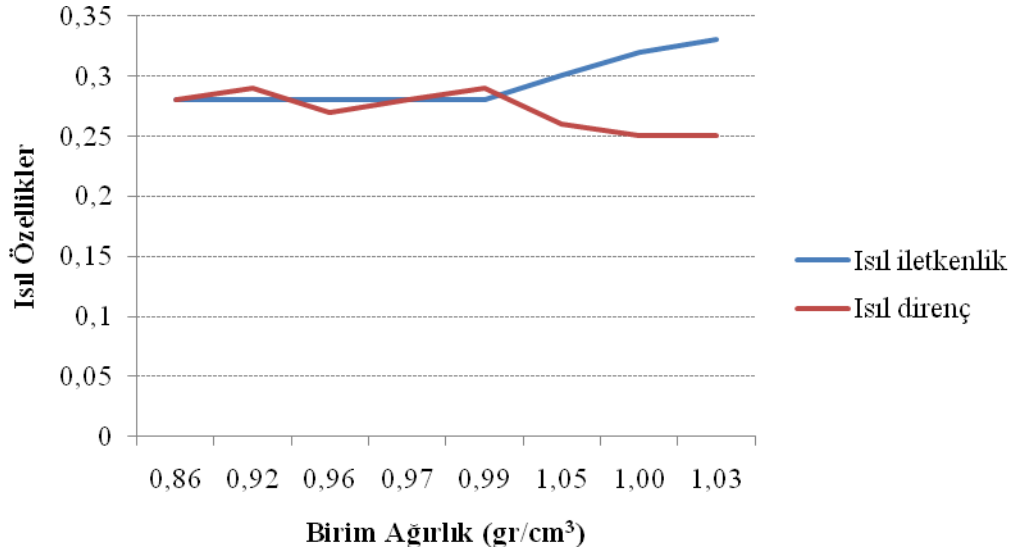


Şekil 4.12: Deney 2.aşama numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı grafiği



Şekil 4.13: Deneysel numunelerin ısı direnç katsayısı grafiği

Şekil 4.12 ve 4.13'e bakıldığında sadece çimentolu numunelerin yalıtım düzeylerinin (ısı dirençleri az, iletkenlikleri fazla) az olduğu görülmektedir. Fosfojips artışı yalıtımı fazla etkilememekle beraber, sadece çimentolu numunelerde daha olumsuz sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.14: Isıl özellikler ile birim ağırlık arasındaki ilişki

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere birim ağırlık malzemenin yalıtım düzeyini çok etkilemektedir. Birim ağırlık azaldıkça malzemedeki boşluk miktarı artışına bağlı olarak ısı direnç artmakta ve bununla ilişkili olarak ısı iletkenlik azalmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneye dayalı bu araştırma ile elde edilen bulgular ve bu bulguların değerlendirilmesi sonucunda amaca uygun nitelikte bir duvar malzemesi elde edilebildiği, atık ürün olan fosfojips malzemesi kullanılmasına karşın mekanik dayanımlar yönünden standartların öngördüğü değerlerde kaldığı hatta bezen üzerine bile çıktığı ve yeterli hafifliği sağladığı saptanmıştır. Daha uygun bir deyişle mekanik dayanımlar yönünden belli bir düzeyin altına inilmediği halde yalıtımı iyi olan, hafif, en önemlisi ekonomik ve çevre dostu bir malzeme üretilebilmiştir.

Çalışma amacının genel anlamda gerçekleştirilmiş olduğu belirtildikten sonra bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda belirtilmiştir:

- Fosfojips katılması halinde mekanik dayanımlar düşmekte, birim ağırlık azalmakta ve su emme artmaktadır.
- Duvar malzemesi harcı üzerinde yapılan 24 saatlik hızlı kür ve 28 günlük normal kür sonuçlarının birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.
- Perlit; numune üzerinde çatlama ve yarılmalara engel olmakta, yapısından dolayı daha homojen bir kurumayı sağladığı için kuruma sürecindeki kusurlar azalmaktadır.
- Karışımlara yüksek oranda perlit katıldığında mekanik dayanımlar azalmaktadır.
- Yapılarda kullanılacak tuğla yapımında ısı performans, mekanik dayanımlar, hafiflik ve kolay işlenebilme, şekillenebilme ve ekonomi göz önüne alındığında fosfojips katkılı kompozit önemli bir malzeme olabilir.
- Fosfojips kalsine edilerek karışımlara katıldığında mekanik dayanımlar kalsine edilmemiş hallerine göre biraz miktar artış göstermektedir. Kalsine edilip kullanıldığında birim ağırlık azalmakta su emme artmaktadır.
- Aynı karışımlarla dolu kompozit yerine delikli kompozit çalışılırsa duvar malzemesi ısı iletkenlik ve hafiflik yönünden daha olumlu bir hale gelecektir.

KAYNAKLAR

Devlet planlama teşkilatı özel ihtisas komisyonu, 2000, “Sekizinci beş yıllık kalkınma planı-tuğla ,kiremit,prefabrik yapı elemanları” [online],Devlet planlama teşkilatı, Ankara, <http://www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/3303/oik546.pdf> (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2010).

Taşdemir M.A., Şengül Ö., Sönmez R., 2002, “Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimsizliği” [online], İmo, İstanbul imoistanbul.org.tr/ist-bulten/SAYI77/yokucucu.doc (Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2010).

Ulusoy, A., 2008, “Uçucu kül-tekstil fabrikası atık külü ve bazaltik pomzanın tuğla üretiminde katkı olarak kullanılması”, Yüksek lisans tezi, *Sütçü imam üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*, Kahramanmaraş, 5-6, (2008).

Binici H., Zengin H., Zengin G., Yaşarer F., “ The Use Of Pumice As a Coating For The Reinforcement Of Steel Against Corrosion And Concrete Abrasions”, *Corrosion Science (in press)*, 50, 8, 2140-2148 (2008).

Borhan , B., 1987, Ytong El kitabı -1, *Ytong teknik yayınları No:1*, İstanbul

Çolak, M., “Etibank Kırka Boraks işletmesi Atıklarının Turgutlu Kileri ile Tuğla-Kiremit Denemesi”, *Tuğla Kiremit Endüstrisi Dergisi*, 2, 7, 10- 16, (1999)

Değirmenci, N., “Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 505-515, (2005).

Değirmenci, N., “Fosfojips Kalsinasyonunun Fosfojips-Uçucu Kül Karışımlarının Basınç Dayanımlarına Etkisi”, *Teknik Dergi*, 4, 610-618, (2008b).

Değirmenci, N., “Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products”, *Construction and Building Materials*, 22, 1857–1862, (2008a).

Demir, İ., Orhan. M., “Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi”, *1.Uluslararası Bor Sempozyumu*,Dumlupınar üniversitesi, 235-239 s., 3-4 Ekim (2002)

Doğan, H., Şener, F., 2004, Hafif yapı malzemeleri (pomza-perlit-ytong, gazbeton) kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik sonuç ve öneriler [online], Ankara, İmo,http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/05163a0f0f128e4_ek.pdf?dergi=HABER%20B%DCLTEN%DD (Ziyaret tarihi: 6 Mart 2010).

Dönmez, S.,Yapı Bilgisi 3. (Çeviri), *Yüksek Öğretim Kurulu Yayını*, Ankara, 149-173, (1993)

DPT, 2001, Pomza-perlit-vermikülit-flogopit-genleşen killer Çalışma grubu raporu [online], Ankara, Devlet planlama teşkilatı sekizinci beş yıllık kalkınma planı, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik628.pdf> (Ziyaret tarihi: 2 Mart 2010).

Ekmekyapar, T. VE Örüng, I., “İnşaat Malzeme Bilgisi” , 145, *Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları*, Erzurum, 22–36, (1993)

T. Çiçek and I. Cöcen, Applicability of Mozley multigravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants, *Minerals Engineering*, 15, 1-2, 91-93, (2002)

Emrulloğlu Ö.F., Emrulloğlu C.B., “ Eti bor Kırka Boraks Atığı ile Afyon Reis Mermer Atığından Beyaz Tuğla Üretimini Araştırılması”, *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Dumlupınar üniversitesi, Kütahya, 229-234, 3-4 Ekim (2002).

Oruç, F., Sabah, E., Erkan, Z. E., “Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri”, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 386-393, 23–25 Eylül (2004).

Garg, M., Singh, M., and Kumar, R., “Some Aspects of The Durability of A Phosphogypsum-Lime-Fly Ash Binder”, *Construction and Building Materials*, 10, 273-279, (1996).

Görçiz, G., “Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi”, *TUKDER yayınları* , 9, 26–32, (2000)

Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Uğur, İ., Çankıran, O., “Pomza Teknolojisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, Cilt 1-2, 203, (1998)

Güzel G.A., “ Pomza Katkılı Tuğla Üretimi Ve Bu Tuğlaların Mekanik Ve Boşluk Oranlarının İncelenmesi”, Doktora tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 224-239 İstanbul, (1993)

Kavas, T., Önce, G., “Eti bor Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör Atıklarının Pres Tuğla Üretiminde Ergitici Eleman Olarak Kullanılabilirliği”, *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Dumlupınar üniversitesi, Kütahya, 219-223, 3-4 Ekim (2002)

Köktürk, U., “Endüstriyel Hammaddeler”, *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 205, 244-248, (2002)

Kula, İ., Erdogan, Y., Olgun, A., Kalfa, O.M., Sevinç, V., “Kolemanit Atığı, Kömür Külü ve Uçucu Külün Çimentonun Özellikleri Üzerindeki Etkileri”, *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Dumlupınar üniversitesi, Kütahya, 202-207, 3-4 ekim (2002)

Kumar, S., “Fly Ash-Lime-Phosphogypsum Cementitious Binder: A New Trend in Bricks”, *Materials and Structures*, 33, 59-64, (2000).

Kumar, S., "Utilisation of FaL-G Bricks and Hollow Blocks in Buildings", *Indian Concrete Journal*, 75, 463-467, (2001).

Naik, T.R., Singh, S.S., "Permeability of Flowable Slurry Materials Containirg Foundry Sand and Fly Ash", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123, 5, 446-452, (1997)

Oğuz, H., Çalıklı, A., Berber, R., Erol, M., Suyadal, Y., Öztürk, A., Görkem, B., "Fosfojipsin akışkan yatak reaktörde bitümlü şistle dekompozisyonu ve çimento klinkeri üretimi olanaklarının araştırılması", *Çimento ve beton dünyası*, 1, 6, 30-37, (1997)

Özkul, H., Koral, S., "Afşin-Elbistan Uçucu Küllerinin Tuğla Blok Elemanı Üretiminde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması ", *Endüstriyel Atıkların inşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, TMMOB inşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 151-160, (1995)

Öztürk, A., Ç., "Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma", *Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Doktora Tezi, 38-40, (2001)

Poon, C.S., Lam, L., Wong, Y.L., "Effects of Fly Ash and Silica Fume on Interfacial Porosity of Concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11, 3, 197-205, (1999)

Singh, M., and Garg, M., "Phosphogypsum-Fly Ash Cementitious Binder-Its Hydration And Strength Development", *Cement and Concrete Research*, 25, 752-758, (1995).

Tanaçan, L., "Genleştirilmiş Perlit, Cam Tozu ve Bor Bileşikli Katkıların Hafif Duvar Tuğlası Üretimindeki Etkilerinin Araştırılması", *Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi*, 1, 2, 48-56, (1996)

Uslu, T., Arol, A.I., "Use of Boron Waste As An Additive In Red Bricks", *Waste Management*, 24, 217-220, (2004)

Uz, B., "İmraniye-Hamatepe (Erzin-Hatay) Civarındaki Bazaltik Pomzaların Petrografik ve Teknolojik Etüdü", *1. Isparta Pomza Sempozyumu*, Süleyman demirel üniversitesi, Isparta, 153-161, 26-28 Haziran (1997)

Yamık, A., Uçar A., Demir, U., Şahbaz, O., "Bor Atığının Tuğla Sanayinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", *2. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Osmangazi üniversitesi, Eskişehir, 419-421, 23-25 Eylül (2004)

Yılmaz, A., 2006, "Enerji tasarrufunda bor ve perlit" [online], Eti maden işletmeleri genel müdürlüğü, Ankara, <http://www.cellubor.com.tr/tr/literatur/Bor.doc.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2010).

Yücel, H., “Zeolitler ve Uygulama Alanları”, *III. Ulusal Kil Sempozyumu*, ODTÜ, Ankara, 391-402, 21-27 Eylül (1987)

M.T.A, 2009, Maddelerin kullanım alanları [online], Ankara, M.T.A genel müdürlüğü maden etüt ve arama dairesi başkanlığı, http://www.mta.gov.tr/etut/madenler/kullanim_alanlari.htm, (Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2010).

Arıöz, Ö., D. Yıldız, M. Nalçacı, E. Karaesmen ve C. Erkay, “*Beton Basınç Dayanımındaki Değişikliklerin Yapı Maliyetine ve Kalitesine Etkileri*”, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Sempozyumu, Ankara, 2001

Pancar, Y. ve Kara, Y., “*Pişmiş Kiremit Atıklarının Cephe Kaplama Tuğlası Üretiminde Kullanımı*”, 5. Uluslararası Katılımlı Seramik Kongresi, 3-5 Ekim 2001, İstanbul. Editörler: V.Günay ve O.Yücel, Türk Seramik Derneği Yayınları, No:21 (2001), s. 115-122.

B. Kavaklı, A. Arcasoy, “*Yüksek Fırın Curufları ile Gencer Alüminyum Atıksu Arıtma Çamurlarının Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*” Türk Seramik Derneği Yayınları No: 20, 1998, s 103-110

Uygunoğlu, T., Ünal, O., “*Diatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması*”, Politeknik Dergisi, 9, 1, 65-70, 2006.

Bentli İ., Uyanık A.O., Demir U., Şahbaz O., 09-12 Haziran 2005, “*Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı*” Türkiye 19 Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET20Q5 izmir Türkiye

Turgut, P., Yeşilnacar, M.İ., ve Bulut, H. “Yapı malzemesi olarak Urfa taşı'nın mekanik, fiziksel ve teknolojik özelliklerinin tespiti”, *TÜBİTAK-MAG Projesi* 104I084, (2006)

Aksin, E , “Endüstriyel atıkların tuğla ve kiremit üretiminde değerlendirilmesi”, Yüksek lisans, *Dokuz Eylül Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*, İzmir, 83-86 , 2007.

Bideci, A, Sallı Bideci, Ö, “Diatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Trakya Univ J Sci* ,9(2), 69-76, 2008

Satapathy, L.N., “A Study on The Mechanical, Abrasion and Microstructural Properties of Zirconia-Flyash Material”, *Ceramics International*, 26, 39-45, (2000)

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kdz. Ereğli’de doğdu. İlköğrenimini Edirnekapı İlköğretim Okulu, Ortaöğrenimini Fatih Kız Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2006 yılında, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığında çalışmaya başladı ve halen Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığı Kesin Hesap Şube Müdürlüğünde çalışmaya devam etmektedir.