

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KROM ATIKLARININ KÖPÜK BETON YAPIMINDA AGREGA
OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Zehra Rüya KAYA

**Danışman
Prof. Dr. Şemsettin Kılınçarslan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Zehra Rüya KAYA]

TEZ ONAYI

Zehra Rüya KAYA tarafından hazırlanan "**Krom Atıklarının Köpük Beton Yapımında Agregası Olarak Kullanımının Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd.Doç. Dr. Turgay COŞGUN
İstanbul Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Zehra Rüya KAYA



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Krom Atıkları	5
1.1.1. Krom Atıklarının Çevre Kirliliğindeki Rolü.....	5
1.1.2. Dünyada ve Ülkemizde Krom Üretimi ve Atık Miktarı	6
1.1.3. Atıkların Değerlendirilmesinin Ekonomiye ve Çevre sağlığına Katkısı	10
1.1.4. Krom atıkları ile bugüne kadar yapılmış çalışmalar	12
1.2. Köpük Beton.....	13
1.2.1. Köpük Betonun Tanımı	13
1.2.2. Köpük Betonun Özellikleri.....	14
1.2.3. Köpük Betonun Kullanım Alanları	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.1.1. Agregas	25
3.1.2. Çimento	26
3.1.3. Su	27
3.1.4. Kullanılan Araç ve Gereçler	27
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. Agregada Fiziksel Özelliklerin Tayini	28
3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılımı Analizi.....	28
3.2.1.2. XRD Analizi	29
3.2.1.3. Özgül ağırlık analizi	29
3.2.1.4. Su emme oranı	30
3.2.2. Beton Karışım Hesapları.....	31
3.2.3. Beton Üretimi	32
3.2.4. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri	35
3.2.4.a. Basınç dayanımı deneyi.....	35
3.2.4.b. Eğilme dayanımı deneyi	37
3.2.4.c. Elastisite modülü tayini	39
3.2.4.d. Isı iletkenlik deneyi.....	41
3.2.4.e. Rötire (büzülme) deneyi.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Agregaların fiziksel özelliklerine ilişkin sonuçlar	44
4.2. Taze beton deneyine ilişkin sonuçlar	45
4.3. Sertleşmiş beton deneylerine ilişkin sonuçlar.....	46
4.3.1. Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi sonuçları.....	46
4.3.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	47
4.3.3. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları.....	48

4.3.4. Elastisite modülü tayini sonuçları	49
4.3.5. Isı iletkenlik deneyi sonuçları	51
4.3.6. Rötire (büzulme) deneyi sonuçları.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KROM ATIKLARININ KÖPÜK BETON YAPIMINDA AGREGA OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Zehra Rüya Kaya

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN

Bu tez çalışması ile Burdur civarı krom atıkları ile üretimi planlanan köpük betonun, dayanım, ağırlık, ısı geçirimsizliği özellikleri araştırılmıştır. Çevresel etki açısından temiz ve doğada hazır halde bulunan atık malzemenin inşaat sektöründe sağlayacağı fiziksel, mekanik ve ekonomik yararların ortaya koyulması hedeflenmiştir.

Bu kapsamda, Burdur Merkez Ulupınar bölgesinde krom zenginleştirme tesislerinden çıkan atık malzemenin özellikleri incelendi. Bu atıklar elekten geçirilerek dane çapı 1 mm. den küçük boyutta agrega kullanıldı. Krom atıklarının köpük beton özelliklerini nasıl değiştirdiğini incelemek için amaçlı olarak 700/800 kg/m³ yoğunluklu tasarlanan köpük betonun karışım miktarları hesaplandı. Hesaplanan karışım oranlarında, üç farklı olacak şekilde %100 krom atığı, %50 mikronize kalker+%50 krom atığı ve %100 mikronize kalker agrega kullanılarak köpük beton serileri üretildi.

Üretilen beton, taze haldeyken TS EN 12350-6'ya uygun olarak taze beton birim hacim ağırlık deneyi yapıldı. Üretilen hafif betonlar belirli 28 gün süre kür edilerek, 28 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletkenlik deneyleri ve rötre deneyleri yapıldı. Deney sonuçları; basınç dayanımı için TS EN 1354'e göre, eğilme dayanımı için TS EN 12390-5 'e göre, ısı iletkenlik deneyi TS EN 12664'e göre, rötre deneyi TS ISO 1920-8,2009'e göre yapıldı. Sonuç olarak krom atıklarının köpük beton yapımında belli şartlar altında kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Krom, atık, köpük beton, ısı iletkenlik.

2017, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF CHROMIUM WASTE AS AGGREGATE IN FOAM CONCRETE

Zehra Rüya KAYA

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN

In this thesis study, It have been investigated that chromium waste from which obtained form region in Burdur, properties of strength, weight, heat impermeability of foamed concrete. In terms of environmental impact, it is aimed to reveal the physical, mechanical and economical benefits of the waste materials that are clean and ready in the country.

In this context, the characteristics of the waste material from the chromium enrichment facilities in Burdur Merkez Ulupınar region have been examined. These wastes are passed through a sieve and the grain diameter is 1 mm. Aggregate of small size was used. To investigate how chromium waste changes the properties of foam concrete, the amount of foam concrete designed for a density of 700-800 kg/m³ was calculated. In the calculated mixture ratios, foam concrete series were produced using three different types of 100% chromium sulphate, 50% micronised limestone + 50% chromium sulphate and 100% micronised limestone aggregate.

Pressure resistance according to TS EN 1354, bending strength according to TS EN 12390-5, thermal conductivity test according to TS EN 12664, shrinkage test according to TS ISO 1920-8,2009. As a result, it has been observed that chromium waste can be used under certain conditions in the construction of foamed concrete.

Keywords: Chrome, waste, foam concrete, thermal conductivity.
2017, 59 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans döneminde yardımcı olan Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT hocama ve deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen hocam Prof.Dr. Metin DAVRAZ, Yrd. Doç.Dr. Murat KORU ve Yrd. Doç.Dr. Ali Ekrem AKDAĞ'a teşekkür ederim.

Yapılan üretim ve deney çalışmalarında her türlü desteği esirgemeyen SDÜ Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi ve çalışanlarına şükranlarımı sunarımç

4854-YL1-17 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin dünit temini aşamasındaki desteklerinde dolayı Ak Altın şirketine teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Zehra Rüya KAYA
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Masif kromit cevheri	1
Şekil 1.2. Krom Konsantre Tesisi İş akım Şeması.....	4
Şekil 1.3. Maden sahası Atık Deposu	6
Şekil 1.4. Türkiye Kromit Yatakları.....	9
Şekil 1.5. Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi.....	11
Şekil 3.1. XRD cihazı.....	29
Şekil 3.2. Köpük beton üretimi	33
Şekil 3.3. Üretilen hafif beton numuneleri	34
Şekil 3.4. Üretilen hafif beton numuneleri	34
Şekil 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı	36
Şekil 3.6. Eğilme dayanımında kullanılan deney şeması	37
Şekil 3.7. Eğilme dayanımı test cihazı.....	38
Şekil 3.8. Eğilmede çekme dayanımı testi	39
Şekil 3.9. Kompratör aleti yardımı ile elastisite modülü tayin.....	41
Şekil 3.10. Fox 50 ısı iletkenlik cihazı	42
Şekil 3.11. Rötire tayini cihazı ve kalıbı.....	43
Şekil 4.1 Kromit Pasası (Dünit) EDS Analiz Sonuçları.....	44
Şekil 4.2 Kromit Pasası (Dünit) EDS Analiz Sonuçları.....	44
Şekil 4.3. Kromit Pasası SEM Görüntüleri	45
Şekil 4.4. Sertleşmiş hafif betonların gerçek kuru yoğunlukları	47
Şekil 4.5. Köpük betonların basınç dayanımları	48
Şekil 4.6. Köpük betonların eğilme dayanımları	49
Şekil 4.7.D100 serisine ait gerilme- birim şekil değiştirme dağılımı.....	50
Şekil 4.8. MA50/D50 serisine ait gerilme- birim şekil değiştirme dağılımı....	50
Şekil 4.9. M100 serisine ait gerilme- birim şekil değiştirme dağılımı.....	50
Şekil 4.10. Hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları	51
Şekil 4.11. Köpük betonların kütle değişimi büzülme oranı ilişkisi.....	52
Şekil 4.12. Köpük betonların kür süresi büzülme oranı ilişkisi.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

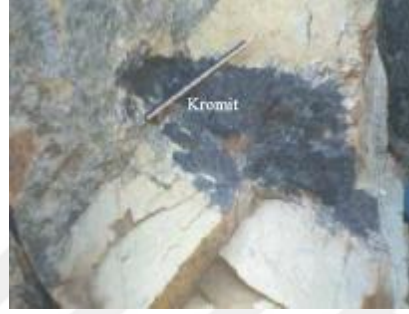
	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya Kromit Cevheri ve Konsantre Üretimi	10
Çizelge 1.2. Köpük betonun karışımı.....	16
Çizelge 3.1. Çimento özellikleri	27
Çizelge 3.2. Kromit Pasası Elek analizi	28
Çizelge 3.3. Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı Tayini	31
Çizelge 3.4. Üretilen hafif betonların bileşen miktarları	32
Çizelge 4.1. Kromit Pasasına ait Element Analiz Sonuçları.....	45
Çizelge 4.2. Taze köpük beton yaş yoğunlukları.....	45
Çizelge 4.3. Taze halde gerçek kuru yoğunluk değerleri	46
Çizelge 4.4. Sertleşmiş hafif betonların kuru yoğunlukları	47
Çizelge 4.5. Köpük betonların basınç dayanımları	48
Çizelge 4.6. Köpük betonların eğilme dayanımları	48
Çizelge 4.7. Köpük betonların mekanik dayanım değerleri	49
Çizelge 4.8. Köpük betonların ısı iletkenlik katsayıları	51
Çizelge 4.9. Köpük betonların kütle değişimi ve büzülme oranı sonuçları	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ac	Numunenin yük doğrultusundaki kesit alanı
ASTM	Amerikan test metotları standardı
d_1, d_2	Numunenin enkesit boyutları
D100	Tamamı dünit agregalı hafif beton
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
E	Sekant elastisite modülü
EN	Avrupa standardı
F	Kırılma yükü
f_c	Basınç dayanımı
f_{cf}	Eğilme dayanımı
ISO	Uluslararası standard organizasyonu
k	Isı iletkenlik katsayısı
K	Kelvin
kN	Kilo newton
L	Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
m	metre
MA100	Tamamı kalker agregalı köpük beton
MA50/D50 %50 Dünit-	%50 kalker agregalı köpük beton
PÇ	Portland çimentosu
r	Büzülme oranı (%)
S	Numune boyu
SDÜ	Süleyman Demirel Üniversitesi
TS	Türk standardı
TS EN	Avrupa standardına uygun türk standardı
w	Watt
W	28 günlük kuru birim ağırlık
σ	28 günlük basınç dayanımı
ε	Birim deformasyon
ρ_{tt}	Teorik taze beton yoğunluğu
ρ_{gt}	Gerçek taze beton yoğunluğu
ρ_{tk}	Teorik kuru beton yoğunluğu
ρ_{gk}	Gerçek kuru beton yoğunluğu
ΔW	Kütle değişimi (%)

1. GİRİŞ

Krom, Yunan dilinde renk anlamına gelen chrome'den alınmış olup, sert parlak ve gümüşü renkte bir metale verilen isimdir. İngilizce ve Türkçe'de ise otomobillerin parlak ve paslanmaz çelik aksamına "krom" denilmiştir. Daha sonraları, Türkçe'de krom sözcüğü, tabiatta oksit halinde bulunan kromite ve krom cevherine verilen bir isim olmuştur (Ağaçayak, 2004).



Şekil 1.1. Masif kromit cevheri (Can, 2008)

Kromit minerali ve krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayacın (dunit, serpantinit) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masif, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve dissemine bantlı gibi nitelendirilmelerini sağlar. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır (DPT, 2001).

Kromit ekonomik değer taşıyan tek krom minerali olup, geleneksel olarak kullanım sahaları dikkate alınarak bileşimlerine göre üç sınıfa ayrılır. Metalurjik, kimyasal ve refrakter cevher diye adlandırılan bu cevherler günümüzün gelişen teknolojik şartlarında birbirlerinin yerine kullanılabilir hale gelmişlerdir. Kromit dünya endüstrisi açısından hayati önemde bir mineraldir. Hem paslanmaz çelik ve diğer çelik alaşımlarının kullanılması, hem de bu çeliklerin kullanıldığı fırınlarda refrakter yapımında tüketilmesi nedeni ile direkt olarak

demir-elik sanayinin ve bunlara bağlı nükleer reaktör, buhar, gaztribnleri, petrokimya, petrol rafineri vediğer endüstri tesislerinin temel malzemesidir (Bağcı, 1998).

Ekonomik olarak kullanılan tek krom minerali kromittir. Kromit, (Mg, Fe)O. Cr₂O₃ veya Cr₂ (Mg, Fe) O₄ genelde ise; (FeO.Cr₂O₃) formülü ile belirtilen yapıdadır ve %67,6 Cr₂O₃ (veya %46,7 Cr) ayrıca yaklaşık %32 Fe içerir (ilingir, 1996).

Kromit minerali, spinel grubundan ve 2-3 değerlikli katyonlardan oluşan bir oksittir. Kübik sistemde kristalleşir. Kromit, granüle kompakt kütle ve ender olarak oktahedral kristal halinde bulunur. Dilinim içermez. Siyah ile koyu kahve renklidir ve kahverengi çizgi renkleri ile karakteristiktir. Kromit bileşimine magnezyum geniş ölçüde girmekte ve cevher tenörünün %40 düzeylerine kadar düşmesine neden olmaktadır. Bu cevherlerde Mg, Fe'i ornatmakta, pikotit adını almaktadır. Kromit minerali yüksek sertlik gösterir, ısıya dayanıklıdır. Ayrıca Ti, Mn, Zn, Ni ve Co elementlerine de rastlanır (Ağaçayak, 2004).

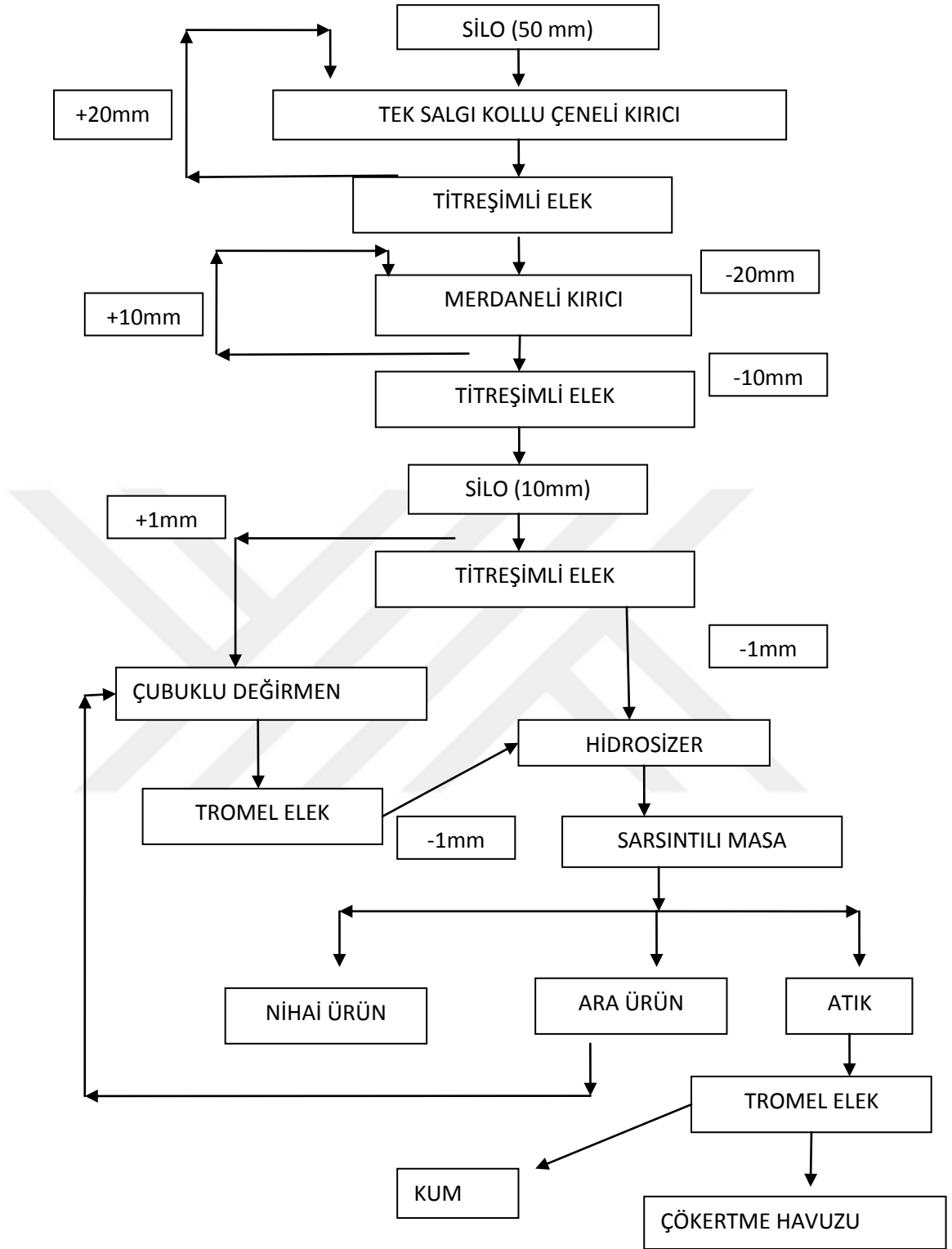
Krom ocaklarında, cevher hazırlama veya maden zenginleştirme yöntemi ile düşük tenörlü cevherlerin yapısında bulunan kıymetli minerallerin ayrılıp bir araya toplanmasıyla yüksek tenörlü konsantreler edilerek sanayiye arz edilmektedir. Sallantılı masalarda ya da Tavuklama yöntemi ile kromit zenginleştirilmesi gerçekleştirilir. İşlem akışı da şekil.1 de görüldüğü gibi olur. Her iki yöntemin kombinasyonu da kullanılabilir. Bu yöntemler bizdeki kromit işletmelerinde kullanılan yöntemlerdir. İşlem tamamen fiziksel ve mekaniktir. Herhangi bir kimyasal madde kullanılmamaktadır. Bu nedenle de kromit minerali inert bir maddedir. Her hangi bir şekilde kimyasal veya biyolojik reaksiyona girmez. Bu nedenle de ekolojik bağlamda çevresel bir tehlike arzetmez (Uzkut, 1997).

Kromit zenginleştirmesinde en yaygın zenginleştirme yöntemi, yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemlerinden sallantılı masalarda zenginleştirme, jiglerde

zenginleştirme ve spirallerde zenginleştirmedi (2,5-3 cm ile 0,2 mm arasında serbestleşebilen cevherlere uygulanır (Çilingir, 1996).

Cevher, iri tanelerde (30-5 mm) yeterli miktarda serbestleşiyorsa; önce jiglerde işlenerek iyi kaliteli parça cevher üretimi yapılır ve jig artıkları öğütölerek sallantılı masalardan geçirilir (Çilingir, 1996).





Şekil 1.2. Krom Konsantre Tesisi İş akım Şeması (AKSU Madencilik, 2013)

Bu yöntemle krom üretimi yapan tesislerde; zenginleştirme tesisine giren tüvenan cevherin fiziksel işlemlerle zenginleştirme sonucu %10'u konsantre cevher, %90'ı ise maden zenginleştirme atığı olarak ayrılmaktadır. Bu önemli

miktardaki atık, atıl olarak depolanmakta, tesis sahasında büyük alanlar işgal etmekte ve görsel ve fiziksel anlamda doğada kirlilik yaratmaktadır.

Üretim sonrası ortaya çıkan bütün atıklar hammadde ve ürün kaybının yanı sıra bu atıkların depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi de işletme açısından ciddi maliyetler ve sorunlar da oluşturmaktadır.

1.1. Krom Atıkları

Dünya çapında üretilen katı atıkların % 70-75'i maden işletmeciliğinin payına düşmektedir. Örneğin eski Sovyetler Birliği'nde bir senede maden işletmeciliğinde ayrılan toprak atıklarının (faydalı bileşenleri alındıktan sonra geriye kalan atık toprak) miktarı yaklaşık 15 milyar ton olmuştur. Bu kadar toprak atığının vagonlarla yüklenmesinden oluşacak bir tren yer küresini ekvator boyunca 200 defa sarmış olur ki bu da aynı rakamın ne kadar ürkütücü olduğunu kanıtlamaktadır (Hacıoğlu ve ark., 2005).

Yakın gelecekte atıkların yeniden değerlendirme çalışmaları yapılmazsa pek çok sektörün yan ürünleri ve atıkları, yaşam için tehdit oluşturacak acil çözümlenmesi gereken bir problem haline gelecektir (Şölenay ve Çetiz, 2005; Kaya ve Çakı, 2004; Erol ve ark., 2000).

1.1.1. Krom Atıklarının Çevre Kirliliğindeki Rolü

Krom üretimi yapan tesislerde; zenginleştirme tesisine giren tüvenan cevherin fiziksel işlemlerle zenginleştirme sonucu yaklaşık %10'u konsantre cevher, %90'ı ise maden zenginleştirme atığı olarak ayrılmaktadır. Bu önemli miktardaki atığın depolanması tesis sahasında büyük alanlar işgal etmekte ve görsel ve fiziksel anlamda doğada kirlilik yaratmaktadır.

Ayrıca bu depolama alanlarının tesis ve krom ocağı sahası içinde, orman alanları olan alanlar olması halinde yörenin iklimini, ekolojik dengesini olumsuz yönde etkilemesi söz konusu olmaktadır.

Depolama sırasında ortaya çıkan atık yığınlarının oluşturduğu bloklar , doğal afetler (sel, erozyon vs.) nedeniyle bulundukları sahada güvenlik açısından ciddi tehditler yaratmaktadır.



Şekil 1.3. Maden sahası Atık Deposu

Rüzgarlarla havada oluşan toz hava kirliliği yaratmakta ve sağlık problemlerine de yol açmaktadır.

1.1.2.Dünyada ve Ülkemizde Krom Üretimi ve Atık Miktarı

1913’de İngiliz bilim adamı Harry Brearley top namlusu dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde araştırma yaparken hurdalığındaki bütün çelikleri birkaçı dışında paslandığını gördü. İncelemeleri sonunda bu parçaların üzerinde %14 oranında krom buldu ve bu buluş insanların kullandığı paslanmaz çelik üretiminde kaynak noktası olmuştur (Bayat, 2009).

Krom cevherinin kullanım alanlarına göre tarihi gelişmelere bakıldığında ise;

- 1809 yılında krom cevherinden, Alüminotermik reaksiyon ile ilk krom metalinin elde edildiği,
- 1820 yılında boya endüstrisinde ilk defa katkı maddesi olarak potasyum bikromatın kullanıldığı,

- 1865 yılında ilk defa çeliğin içerisinde krom kullanma patentinin alındığı,
- 1860 yılında Türkiye krom üretiminde dünya lideri olduğu,
- 1879 yılında Fransa'da refrakter sanayiinde kullanımına başlandığı,
- 1884 yılında deri sanayiinde kullanımına başlandığı,
- 1893 yılında ilk ferrokromun elde edilmesi ile ticari olarak Amerika'da 1897 yılında yüksek karbonlu ferrokromun üretildiği,
- 1912 yılında İngiltere'de ilk paslanmaz çeliğin elde edildiği ve 1913 yılında ilk ticari üretimine geçildiği,
- 1937 yılında Filipinlerde ve Arnavutlukta krom yataklarının bulunduğu,
- 1942 yılında güney afrikada düşük ve yüksek karbonlu ferrokromun üretildiği
- 1960 yılında ilk döküm kumu olarak güney afrika kromlarının kullanıldığı,
- 1999 yılında Güney Afrika şarj krom alanında dünyanın en önemli üreticisi haline geldiği,
- 2000 yılında paslanmaz çelik ve ferrokrom üretimi rekor seviyede gerçekleştiği görülmektedir (URL 1).

Dünya toplam kromit kaynakları 7.6 milyar ton düzeyindedir. Bunun 3.6 milyar tonu rezerv sınıfındadır. Dünya krom kaynaklarının büyük bir bölümü dünyada başlıca; Güney Afrika Cumhuriyeti, Kazakistan, Zimbabve, Finlandiya, Hindistan, Türkiye, İran, Filipinler , Küba, ve Brezilya'da bulunmaktadır (DİE, 2004).

Amerika Birleşik Devleti Jelojik Araştırma Kurumu (USGS) verilerine göre dünya krom kaynakları doğrudan satılabilir/kullanılabilir tenörde 12 milyar ton dolayındadır. Bu kaynaklar birkaç yüzyıl dünya talebini karşılamaya yeterlidir. Dünya kromit kaynaklarının yaklaşık %60'ı Güney Afrika'da, %20'si Kazakistan'da, %10'a yakını da Hindistan'da bulunmaktadır. Krom kaynaklarına sahip diğer ülkeler Türkiye, Umman, İran, Finlandiya Arnavutluk, Brezilya ve Çin'dir. Dünya krom üretiminin 2000'li yıllarda 16 milyon ton düzeyinin üzerine çıktığı görülmektedir. Krom cevheri üreten belli başlı ülkelerin sayısı 30 dolayındadır. Güney Afrika 2010 yılındaki 8.500.000 tonluk üretimi ile dünya üretiminde %39 paya ulaşmıştır.

Dünya krom üretiminde Hindistan'ın üretim performansı da dikkat çekicidir. Sürekli artan bir üretim hızı ile Hindistan, 2010 yılındaki 3.800.000 ton'luk üretime ulaşarak 2. sıraya yükselmiştir. 2011 yılında Krom Cevheri ihracatımız bir önceki yılın aynı dönemine göre miktarda %4,1 değerinde de %1,7 oranlarında azalışla, 2,17 milyon ton karşılığı 467,7 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Krom cevheri ihracatımızda önde gelen ülkeler; Çin Halk Cumhuriyeti 387,7 milyon dolarla (%7,4 azalış) birinci, Rusya Federasyonu 25,6 milyon dolarla (%53,8 artış) ikinci, İsveç 10,7 milyon dolarla (%21,8 azalış) üçüncü, Hindistan 10 milyon dolarla dördüncü (%281,2 artış) ve Hollanda 8,6 milyon dolarla (%49,9 artış) beşinci sırada yer almaktadır (Ay, 2014).

Kromit yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ofiyolitik masiflerin ultrabazik kayalar (dunit, harzburgit, serpantinit) içerisinde bulunurlar. Kromit yataklarının içinde bulunduğu ve peridotit genel adıyla anılan ultrabazik kayalar Türkiye de geniş alanlar kaplarlar. Genellikle bu ultrabazik kayalarla temsil edilen ofiyolitler kuzeyden güneye üç ana kuşağa bölünür;

- (i) Pontid ofiyolitleri,
- (ii) Anatolid ve Torid ofiyolitleri,
- (iii) Trodos ofiyolitleri (veya güney Neotetis ofiyolitleri).

Bu ofiyolitler doğu batı gidişli suture zonları üzerinde mostra vermektedirler. Pontid ofiyolitleri pontid suture zonu üzerinde yer alan Neotetisin kuzey kolunun kalıntılarıdır ve Avrasya karası üzerine yerleşmişlerdir. Anatolid ve Torid ofiyolitleri İzmir-Ankara-Erzincan suture, ve Toros/Bolkar karbonat platformu üzerinde yer alan ofiyolitleri içerir. Trodos ofiyolitleri Güney Doğu Türkiye ile birlikte Suriye ve Kıbrıs'ta yer alırlar. Ofiyolit topluluğuna ait bu peridotitler Alp dağ kuşağı boyunca yerleşmişlerdir. Türkiye de bulunan peridotitler ve bunların içindeki kromit yatakları da Alpin tip olarak sınıflandırılmaktadır. Alpin tip cevherler, Cr/Fe oranlarının daha yüksek olması nedeniyle yıllardır metalürji ve refrakter sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alpin tip cevherlerin yaygın olarak bulunduğu Türkiye, Dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yer

alır. Yurdumuzda bilinen krom yataklarının coğrafi dağılımını önem sırasına göre ;

- 1- Guleman (Elazığ) yöresi
- 2- Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- 3- Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
- 4- Mersin-Karsanti-Pınarbaşı yöresi
- 5- Erzincan-Kopdağ yöresi
- 6- İskenderun-Osmaniye-Kahramanmaraş yöresi olarak verilebilir. (Uzkut, 1997).



Şekil 1.4. Türkiye Kromit Yatakları (Ay, 2014)

Dünyada ilk krom cevheri üretimi 1797 yılında Ural'larda yapılmıştır. Türkiye'de krom cevherinin ilk kez 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Krom cevherinin bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir yere sahip hale gelmiştir. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da, genellikle 3. ve 6.sıralar arasındaki yerini devamlı korumuştur (DPT, 2001).

Çizelge 1.1'de Dünya kromit üreticisi ülkelerin 2008 yılı verileriyle ortalama üretim rakamları verilmiştir (Kıdıman, 2009).

Çizelge 1.1. Dünya Kromit Cevheri ve Konsantre Üretimi (Ton) (Tahtakıran, 2008)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
G. Afrika	6.372.739	7.136.666	7.309.575	7.244.112	6.865.279	8.720.330
Kazakistan	2.349.640	2.781.725	3.290.000	3.581.242	3.366.078	3.687.200
Hindistan	2.698.577	2.210.000	2.948.944	3.255.162	3.600.400	3.320.000
Türkiye	313.637	229.294	506.421	858.729	1.059.901	1.678.932
Zimbabve	734.011	666.357	621.269	819.903	712.908	663.593
Brezilya	279.684	510.640	622.755	676.643	604.145	625.627
Finlandiya	566.090	549.040	579.780	571.103	548.713	556.100
Diğerleri	797.024	1.048.441	1.723.707	2.133.815	2.483.747	2.902.527
TOPLAM	14.111.402	15.132.163	17.602.451	19.140.709	19.241.171	22.154.309

DPT ve MTA istatistiklerine göre Türkiye'de son 25 yılın ortalama krom cevheri üretimi yaklaşık bir milyon ton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Verilere göre bu toplam üretimin %15'lik kısmının konsantre üretimi olarak elde edildiği hesap edildiğinde yılda 135.000 ton konsantre krom üretilmektedir ve bunun için 1.350.000 ton tüvenan cevher işlenmektedir. Bu üretim sonucu 1.350.000 ton miktarında iki ayrı yapıda (%50 +%40) atık ortaya çıkmaktadır. %50 miktarındaki 1 mm boyutu üzerinde ayrılan iri atık, yıkanmış ve kilden arındırılmış olarak, ideal bir hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebilecek potansiyele sahip atık olarak çevreye terk edilmektedir.

1.1.3. Atıkların Değerlendirilmesinin Ekonomiye ve Çevre sağlığına Katkısı

Günümüzde nüfus artışına paralel olarak endüstriyel gelişmelerin de hız kazanması ile birlikte artan sanayi faaliyetleri ve hammadde üretimi her geçen gün artmaktadır. Ekonomik olarak işletilmekte olan tek krom minerali kromit de bu hammaddelerden biridir. Metalurjik olarak krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferro-krom imalidir. Refrakter alanda ise çok geniş kullanıma sahip olan krom cevheri, kimya endüstrisinde; Renk maddesi, deri tabaklama işleminde ve kuru pil imalinde kullanılır. Sınırlı miktarda da döküm sanayinde kullanılmaktadır. Günümüzde paslanmaz çelik kullanımının artış hızı ile krom üretimi ihtiyacı artmış ve buna

bağlı olarak hammadde üretimi sırasında ortaya çıkan krom atıklarının değerlendirilmesini gündeme getirmektedir. Üretim sonrası ortaya çıkan bütün bu atıkların depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi de işletme açısından ciddi maliyetler ve sorunlar oluşturmaktadır.

Yapı sektöründe hafif beton kullanımının önemi, ülkemizde yaşanan üzücü deprem olayları sonucu daha da iyi anlaşılmaya başlanmış, çoğu beton üreticisi hafif ve doğal malzemelerin yapı endustrisinde farklı amaçlarla kullanımı üzerine Ar-Ge çalışmalarına başlamıştır. Bu maksatla tüm endüstri kuruluşlarında olduğu gibi beton endüstrisinde de çeşitli endüstri kollarının atık ve yan ürünlerinin kullanımı (cüruf, uçucu kül, vs.) son birkaç yıldır araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

Krom atıklarının köpük beton yapımında değerlendirilmesin çevre problemiyle birlikte, doğada hazır halde bulunan malzemenin kullanılması sonucu köpük betonun birim maliyetlerinin de azalacağı göz ardı edilmemelidir.

Bu çalışmada ekonomik değeri olmayan endüstriyel katı atıklardan, Burdur İli Ulupınar Köyü'nde faaliyette olan Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi atığı olan kromit pasası kullanılmıştır.



Şekil 1.5. Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi

1.1.4. Krom atıkları ile bugüne kadar yapılmış çalışmalar

Yapılan literatür taramaları sonucunda herhangi bir krom zenginleştirme tesisi atığı olan pasanın şimdiye hafif beton ve köpük beton yapımında kullanılmadığı ve bununla ilgili çalışmaların yapılmadığı saptanmıştır. Ancak; kromitin cevher ve konsantre malzeme olarak ele alınmasıyla bazı boya ve cam seramik ürünler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. (Mirdalı, 2007)

Bileşiminde Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , Cr_2O_3 , CuO gibi renklendirici oksitler içeren hammaddeler seramik ürünler için renklendirici olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda birçok araştırmacı doğal renklendiricilerden yola çıkarak bu hammaddeleri seramik ürünlerde gerek bünye, gerekse de sır renklendiricisi olarak kullanmışlardır (Çakı, 1986).

Atık malzemeler ise birçok araştırmacı tarafından yer/duvar karosu ve seramik sırların renklendirilmesinde denenip, önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Mirdalı, 2007).

Atık camlar ile artistik seramik sırlarının üretilmesi konusunda çalışmışlardır. Araştırmacılar cam tozlarına çeşitli eritici ve renklendiricilerin eklenmesi ile uygun kompozisyonlar oluşturmuşlar, krakle, mat, akıcı, toplanmalı ve kristal sırlar oluşturmuşlardır. Ortaya çıkan artistik sırları seramik objeler üzerine uygulayarak atık camları dekoratif amaçlarla günlük yaşamımıza taşımışlardır (Arcasoy ve Dilaver, 2005).

Mersin Kromsan Fabrikası nötrale atığının, seramik döküm çamuru ve sır altı dekorasyonunda renklendirici olarak herhangi bir boya hazırlama yöntemi uygulamadan doğrudan kullanımını araştırmışlardır. Kullanılan atık miktarına ve sır kalınlığına göre sır renginin griden siyaha kadar değiştiği ve kullanılacak atık miktarının %50'nin üzerinde renklendirmeye katkısının bulunmadığı gözlenmiştir. Döküm çamurunda kullanılan atık miktarının döküm özelliğinin %50'ye kadar olduğu saptanmıştır (Kılınç Mirdalı ve Çetin, 2005).

Şölenay ve Çetiz (2005), Soda-Krom Sanayi.A.Ş., Mersin/Kazanlı bucağındaki fabrikadan alınan nötrale edilmiş kromit cevheri işleme atığını stonware sır bünyelerinde artan oranlarda kullanmışlardır. Araştırmacılar, kullanılan atık malzeme ve sır bünyelerine bağlı olarak sırda farklı dokular, koyu kahverengi renk tonlarında aventürin etkiler gözlemleyerek atık malzemenin stonware sırlarında değerlendirilebileceğini saptamışlardır.

Oyman ve Özkan (2005), Pomza Export A.Ş. Salihli Sart Maden İşletmelerinde ağır mineral ede etmek için yapılan işlemler sonrası ortaya çıkan artık kilin yer karosu reçetesinde kullanılabilirliğini araştırmışlar ve %10 oranında düşük litre ağırlığında çalışarak, rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Özel ve Turan (2003), kromit ve limonit cevheri kullanarak pigment üretimi konusunda çalışmalar yapmışlar, bu pigmentlerin saydam sırlarla etkileşimini araştırmışlardır. Elde edilen pigmentler x-ışınları difraksiyonu (XRD) ve UV-Vis spektrometre kullanılarak karakterize edilmiştir. %3 pigment içeren sırlanmış karoların renkleri, kalsinasyon sıcaklığına ve limonit içeriğine bağlı olarak, koyu kahveden açık kahveye doğru değişim göstermiştir. 1250oC'de kalsine edilen %50 limonit içerikli pigment ile çikolata kahvesi renk elde edilmiştir. Siyah pigment ise krom (III) oksit (Cr_2O_3) ve demir (III) oksit (Fe_2O_3) tozları ile elde edilmiştir. Elde edilen bu pigmentlerin ve saydam sırların birbirleriyle olan etkileşimleri gözlenmiştir. Sonuçlar siyah pigment parçalarının sıra kahverengi renk verdiği sonucunu göstermiştir.

1.2. Köpük Beton

Köpük beton, hafif betonun bir türüdür ve gözenekli veya hücreli beton olarak da bilinir. Çimento, su ve agreganın karışımından oluşan harca köpük ajanı ile oluşturulan köpüğün eklenmesi ile elde edilir. Bünyesinde hacminin %75-%80'i oranında birbirinden bağımsız kapalı gözenekler vardır. Köpük beton; tüm binaların iç ve dış duvarları ile zeminlerinde kullanılan yapı elemanlarının yerine kullanılabilecek, bileşiminde doğal agrega ve çimento dışında malzeme

bulundurmayan, insan sağlığına zararı olmayan, hafif, ısı ve ses yalıtımı sağlayan, alternatif bir yapı ve yalıtım malzemesidir (Ekinci, 2013).

Köpük betonun ilk patentı 1923’de alınmış olmasına rağmen, ancak son yıllarda yarı taşıyıcı yada taşıyıcı olmayan inşaat uygulamalarında yaygınlaşmaya başlamıştır (Ramamurthy vd., 2009). 1954 yılında Valore, 1963 yılında Rudnai, Short ve Kinniburg tarafından köpük betonun bileşimi, özellikleri, kullanımı ve yapısı hakkında kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. 2005 yılında Jones ve McCarthy, köpük betonun tarihçesi, yangın dayanımı, ısı iletkenlik ve akustik özelliklerini incelemişler ve dünya çapında yürütölen bazı uygulamaları değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler yangın dayanımı, ısı iletkenlik ve akustik özellikler gibi fonksiyonel özellikleri kapsarken, köpük betonun taze beton özellikleri, durabilitesi ve hava boşluğu sistemi gibi konulardaki verileri oldukça sınırlıdır (Davraz vd., 2015).

1.2.1. Köpük Betonun Tanımı

Köpük jeneratörüyle elde edilen kararlı köpüğün beton içerisine homojen şekilde yerleştirilmesi ile üretilen gözenekli hafif bir beton cinsidir. Köpük betonu Hafif agrega kullanılarak elde edilen betonla karıştırılmamalıdır. Köpük ajanı ve köpük jeneratörüyle elde edilen kararlı köpüğün kullanılması ile yapılan harç ile elde edilir. Üretim süreci içinde çimento hidratasyonu dışında kimyasal hiçbir reaksiyon yoktur. Sıva, sap, blok harcı veya betonarme betonu olarak kullanılabilir. Bünyesinde kum ve çimento dışında hiçbir malzeme yoktur. Harç içine giren köpüğün ana maddesi köpük ajanı tamamen doğal bir malzeme olup, insan sağlığına zararlı hiçbir yönü yoktur (URL 2).

1.2.2. Köpük betonun özellikleri

“Hafif Beton” veya “Köpük Beton” olarak adlandırılır. Muhteviyatındaki boşluk miktarına bağlı olarak, yoğunluğu değişkenlik gösterir. Düşük yoğunluklu köpük

beton, yüksek izolasyon ve düşük mukavemet değerleri verirken, Yüksek yoğunluklu köpük beton, daha düşük izolasyon ve yüksek mukavemet değerleri verir.

Köpük betonun özellikleri; boşluk oluşum şekline, dağılımına ve düzenliliğine bağlıdır. Isı iletim katsayısı (λ), esas olarak yoğunluğa bağlıdır. Bağlayıcının tipi, sertleşme koşulları ve diğer faktörler üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir. Yoğunluğu 400-1800 kg/m³ arasında değişir. En önemli özelliği, ısı ve sesizasyonu sağlayan hava boşluklu yapının kapalı hücrecikli olması nedeniyle aynı zamanda su izolasyonu da sağlamasıdır. Su emme değerleri son derece düşüktür. Köpük beton yangın dayanımı son derece yüksek bir üründür. Köpük betonun ömrü, normal betonla aynıdır (Bekaroğlu, 2012).

Köpük beton, taze halde yüksek akış yeteneğine, düşük yoğunluğa, işleve bağlı-yeterli dayanıma ve düşük ısıl iletkenlik özelliklerine sahiptir. Genel olarak kuru yoğunluğu 400-1600 kg/m³, basınç dayanımı 1-15MPa aralığındadır. Köpük beton kolayca pompalanabilir ve yerleştirilebilir. Sıkıştırma ve vibrasyon gerektirmez. Suya ve donatı karşı mükemmel bir direnç sahiptir. Köpük beton harcı işlemlerde kalıplanıp, blok haline getirilebileceği gibi gerektiğinde mobil olarak uygulama sahasında inşaatla hazırlanarak bir pompa yardımı ile kolayca taşınabilir. Köpük beton yoğunluğuna bağlı olarak duvar blokları, asfalt, panel, yalıtım tesviye betonu, prefabrik yapı elemanları üretiminde kullanılabilir.

Köpük beton, üretildiği malzemenin yoğunluk ve kompozisyonuna bağlı olarak normal yoğunluktaki betondan % 10-50 daha düşük ısıl iletkenlik katsayısı sunabilmektedir (Ramamurthy vd., 2009).

Ramamurthy vd. (2009), yaptıkları çalışmada köpük betonun bileşenlerini, karışım tasarımını, üretimini, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini inceleyerek sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırmaya dayanarak, köpük betonun karışım tasarımı, yoğunluğu ve basınç dayanımı konularını kapsayan araştırmalarının sonuçları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Köpük betonun karışımı, basınç dayanımı ve yoğunluk aralığının değerlendirilmesi (Ramamurthy vd., 2009)

Yazar(lar) ve Yıl	Çimento Dozajı Bileşenler	k/c	s/c	UK/c	Yoğunluk Aralığı (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa, 28g)
McCormick (1967)	335-446	0,79-2,8	0,35-0,57		800-1800	1,8-17,6
Tam vd. (1987)	390	1,58-1,73	0,6-0,8		1300-1900	1,81-16,72
Regan ve Arasteh (1990)	Hafif agregalı	0,6	0,45-0,6		800-1200	4-16
Van Deijk (1991)	Çimento, kum, UK				280-1200	0,6-10 (91gün)
ACI 523.1R-1992	Çimento hamuru				240-640 (KY)	0,48-3,1
	Çimento-kum				400-560 (KY)	0,9-1,72
Hunaiti (1997)		3			1667	12,11
Kearsly ve Booyens (1998)	Çimento – UK (yerdeğiştirme)				1000-1500	2,8-19,9
Durack ve Weiqing (1998)	270-398	1,23-2,5	0,61-0,82		982-1185 (KY)	1-6
	137-380		0,48-0,7	1,48-2,5	541-1003 (KY)	3-15 (77gün)
Aldridge (2000)	Çimento - kum				400-1600	0,5-10
Kearsly ve Wainwright (2001)	Çimento ve UK				1000-1500	2-18
Tikalsky vd. (2004)	Çimento, 149-420		0,4-0,45		490-660	0,71-2,07
	Çimento, kum/UK 57-149		0,5-0,57		1320-1500	0,23-1,1
Jones ve McCarty(2005)	300	1,83-3,17	0,5		1000-1400	1-2
			1,11-1,56	1,22-2,11	1000-1400	3,9-7,3
Jones ve McCarty(2005)	500	1,5-2,3	0,3		1400-1800	10-26
			0,65-0,83	1,15-1,77	1400-1800	20-43
Nambiar ve Ramamurthy (2006)	Çimento-kum (kaba)	1'den 3'e değişen filler /c oranlı ve %0 - %100 UK yer değişimli			800-1350 (KY)	1-7
	Çimento-kum (ince)				800-1350 (KY)	2-11
	Çimento-kum -UK				650-1200 (KY)	4-19
k/c : Kum/çimento s/c : su/çimento UK/c : Uçucu kül/çimento KY : Kuru yoğunluk (kg/m ³)						

1.2.3. Köpük betonun kullanım alanları

Hafif beton; yoğunluğuna bağlı olarak; blok, prekast panel, mevcut karkasa yerinde dökme duvar, taşıyıcı karkas oluşturarak yerinde dökme duvar, sap, sıva, süs 25 elemanları imalatlarında kullanılabilir. Genel olarak yoğunluklarına göre sınıflandıracak olursak;

- 400 -600 kg/m³ yoğunluklu: ISI ve SES yalıtımı (Tavan ve yer döşeme)
- 600-900 kg/m³ yoğunluklu: Blok ve panel üretimi
- 900-1200 kg/m³ yoğunluklu: Dış ve ara duvar, blok ve panel
- 1200-1600 kg/m³ yoğunluklu: Taşıyıcı özellikli duvar, blok ve panel üretiminde kullanılır (Bekaroğlu, 2012).

Köpük betonun kullanım alanlarını, maddeler halinde daha kapsamlı bir şekilde belirtecek olursak;

1. Isı yalıtımlı hafif beton üretiminde,
2. Isı yalıtımlı hafif tuğla, Briket, blok tuğla, duvar panel üretiminde,
3. Isı ve ses yalıtımlı sap üretiminde
4. Fiber takviyeli beton arkası, ısı yalıtım amaçlı dolgu betonu,
5. Çimento ve alçı esaslı hafif plaka üretiminde
6. Isı yalıtımlı hafif kiremit ve seramik üretiminde
7. Yapılarda bodrum kat, ısı yalıtım amaçlı toprak altı dolgu betonu,
8. Yapı etrafındaki çökmeleri önlemek için hafif dolgu betonu,
9. Toprak altı su drenaj amaçlı gözenekli dolgu betonu,
10. Köprü ve köprüyolunda buzlanmayı önlemek amacıyla yol altı dolgu betonu,
11. Tünel ve kuyu dolgu amaçlı hafif beton üretiminde
12. E.P.S. strafor granüllü ısı yalıtımlı hafif beton üretiminde
13. Perlitli sıva ve Perlitli hafif beton üretiminde
14. Çelik yapı sistemlerinde, ısı yalıtımlı hafif döşeme ve duvar üretiminde
15. Prefabrik Bina üretiminde, kullanılır (Bekaroğlu, 2012).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Postacioğlu (1987), yaptığı deneysel çalışmalarda hafif betonların ısı iletkenliğinin, normal betonlara göre yaklaşık %48 oranında daha düşük olduğunu ve daha iyi yalıtım özelliğine sahip olduğunu belirlemiştir. Ayrıca betonu meydana getiren bileşenler arasında ısı iletkenliği en çok etkileyen faktörlerden birinin de betonda kullanılan agreganın mineralojik özelliği olduğunu saptamıştır.

Şölenay ve Çetiz (2005), Soda-Krom Sanayi A.Ş. Mersin/Kazanlı bucağındaki fabrikadan alınan nötrale edilmiş kromit cevheri işleme atığını stonware sır bünyelerinde artan oranlarda kullanmışlardır. Araştırmacılar, kullanılan atık malzeme ve sır bünyelerine bağlı olarak sırda farklı dokular, koyu kahverengi renk tonlarında aventürin etkiler gözlemleyerek atık malzemenin stoneware sırlarında değerlendirilebileceğini saptamışlardır.

Davraz vd. (2016), deneysel çalışmalarında farklı oranlarda pomza agregası içeren köpük betonların özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında farklı oranlarda pomza agregası içeren 3 seri köpük beton üretmişlerdir. Serilerde çimento ve su miktarı sabit olup su/çimento oranı 0,30'dur. Çalışmada pomza miktarına göre kireç taşı miktarı değişmiş, farklı miktarlarda süper akışkanlaştırıcı ve köpük kullanarak kuru yoğunluğu 400-500 kg/m³ arasında olacak şekilde 3 farklı beton karışımı tasarlamışlardır. 28 gün sonra ürettikleri betonların kuru yoğunluğunu, basınç dayanımını, yarmada çekme dayanımını ve ısı iletkenlik katsayılarını belirlemişlerdir.

Davraz vd. (2015), çalışmalarında portland çimentosu, kalker tozu, polipropilen elyaf ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanarak 300 kg/m³ çimento dozajı ve 0,30 su/katı oranında hazırlanan harçlara 80 g/L yoğunlukta köpük ilave ederek hafif beton numuneleri üretmişlerdir. 300-1400 kg/m³ aralığında 12 farklı kuru yoğunlukta üretilen numunelerin 28. gününde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ısı iletkenlik özellikleri test edilmiştir. Elde edilen bulgulardan köpük betonun kuru yoğunluğuna göre basınç dayanımını,

yarmada çekme dayanımını ve ısı iletkenlik katsayılarının değişimlerini tahmin etmeye yönelik bağıntılar önermişlerdir.

Bekaroğlu (2012), deneysel çalışmasında Kayseri bölgesi pomza agregası kullanarak kompozit yapıda polimerik selülozik köpük beton üretimi amaçlamıştır. Çalışmasında, portland kalkerli beyaz çimento kullanmış olup pomza, katkı ve çimento bileşenlerinin miktarlarını değiştirerek farklı kombinasyonlarda gözenekli hafif betonlar üretmiştir. Ürettiği betonları kuru yoğunluk, basınç dayanımı, su emme, ısı iletkenlik ve su buharı geçirgenliği testlerine tabi tutmuştur. Sonuç olarak ürettiği köpük betonun, ısı yalıtımı ve su geçirgenliği başta olmak üzere diğer parametrelerle sağlamış olduğu avantajlar tespit edilmiştir.

Koru (2017), yaptığı deneysel çalışmasında $309-1427 \text{ kg/m}^3$ kuru yoğunluğa sahip 10 farklı köpük beton numunelerinin yoğunluk ve sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayılarını (k), ısı akış ölçer (IAÖ) yöntemi ile belirlemiştir. Karışıma girecek bileşen miktarlarını, hacim yöntemi esas alarak belirlemiş ve tüm karışımlarda çimento dozajı ve su/katı (s/k) oranını 0,30 olarak sabit tutmuştur. Deneyler sonucunda ölçümü yapılan tüm köpük beton numuneleri için sıcaklığın ve yoğunluğun artması ile ısı iletkenlik katsayısı artmıştır. Ayrıca köpük betonun ısı iletkenlik katsayısının, geleneksel betona oranla ve yoğunluğa bağlı 5-27 kat daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Taşdemir (1982), yaptığı çalışmada hafif agregalı normal, yarı hafif ve hafif betonlarda en büyük agrega boyutu ve çimento dozajını sabit tutarak agrega granülometrisinin çeşitli bölümlerini ponza ile değiştirerek betonların kısa süreli elastik ve elastik olmayan davranışını incelemiştir. Buna göre 1 m^3 beton içinde agrega granülometrisinin hangi bölümü hafif agregalar ile değiştirilirse değiştirilsin (mutlak hacim sabit kalmak koşulu ile) elastisite modülü ve poisson oranının değişmediğini göstermiştir. Normal betonun hafif agrega kullanılarak birim ağırlığının azaltılması halinde poisson oranında azalmanın az, elastisite modülünde daha fazla olduğunu; yarı hafif betonun ilerleyen günlerde daha fazla kullanım alanı bulacağını ve bu tür betonların granülometrilerinin ince

kısının hafif agrega olanlarının şekil değıştirme basınç açısından daha avantajlı olacağını belirtmiştir.

Şehitoğlu (1987), normal ve hafif betonların agrega konsantrasyonunu değıştirdiğı çalışmasında agrega yoğunluğunun artması ile hafif betonun basınç dayanımının azaldığını, ancak normal betonun basınç mukavemetinin arttığını belirtmiştir.

Lydon ve Baledran (1986), çalışmalarında agrega cinsini, agrega konsantrasyonunu ve çimento/kum oranını (harç fazını) değıştirerek normal ve hafif agregalı betonların elastik özellikleri üzerine yaptıkları incelemede vardıkları sonuçlar şöyledir. Agregası cinsi, elastik özelliklere etki eder. Hafif agregalı betonlarda agrega yoğunluğunun artması ile elastisite modülü düşer. Normal agregalı betonlarda ise agrega konsantrasyonunun artması ile elastisite modülü artar. Aynı agrega hacmindeki karışımlarda harç fazının değışimiyle elastisite modülü değışmemektedir. Normal ve hafif agrega konsantrasyonunun artması ile poisson oranında düşme gözlenmektedir.

Weshe (1973), hafif agregalı betonların elastisite modülünün normal betonlara oranla çok düşük olduğunu; hafif agrega cinsi, betonun birim ağırlığı ve basınç dayanımlarına bağı olarak elastisite modülü değeri 8000 ile 24000 N/mm² gibi geniş bir aralıkta değıştiğini belirtmiştir.

Karaman (2007), çalışmasında perlit, pomza, diatomit, vermikülit ve kil kullanarak betonların tarımsal yapılarda kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda hafif betonların kullanılmasının hem ekonomi hem de deprem yükleri açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Gündüz vd. (2006), deneysel çalışmalarında pomza ve genleşmiş perlit agrega katkılı bimsbeton örnekleri üzerine incelemeler yapmış olup, bimsbeton harçlarından elde edilmiş boşluklu duvar hafif blok elemanlarının analiz sonuçlarını irdelenmişlerdir. Yaptıkları araştırma bulgularına göre genleşmiş

perlit agrega katkısı, bimsbetona blok üretimi açısından önemli avantajlar sağlayacak bir konumda olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldırım vd. (1993), araştırmalarında ısı yalıtımı sağlayacak daha ekonomik ve fonksiyonel bir yapı malzemesini üretmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda styropor'u granül hale getirerek kullanmışlardır. Araştırma sonucunda karışımdaki styropor yüzdesi arttıkça ısı iletkenlik katsayısının azaldığını ve bu katsayının 0,59 ile 0,36 arasında değişkenlik gösterdiğini saptamışlardır.

Clarke (1993), deneysel çalışmasında hafif betonlarda gözlemlenen su emme değerindeki artışın, beton karışımında kullanılan agreganın su emme özelliklerinden etkilendiğini saptamıştır. Çalışmasında ulaştığı sonuçlara göre hacimce fazla gözenek yapısına sahip agregaların, su absorbe etmesi de yüksektir. Ayrıca agreganın bu özelliğinin, doymamış ya da kısmen doymuş agregalar ile üretilen betonların işlenebilirlik, birim ağırlık, ısı yalıtımı ve donma direnci gibi özellikleri etkilediğini elde etmiştir.

Bazant ve Kaplan (1996), çalışmasında betonda kullanılan agrega türünün ve miktarının yanı sıra nem oranının da ısı iletimine etki eden önemli parametrelerden olduğunu ve nem miktarının arttıkça ısı iletiminin de arttığını belirlemiştir. Çalışmasına göre, havanın ısı iletim katsayısı 0,0034 W/mK iken bu değer suda 0.515 W/mK'dir. Çalışmasında betonun kuruması ile ısı iletimi azalmıştır. Havada kurutulmuş bir betonun nem oranının, doymun haldeki betonun %50'si kadar olduğunu ve ısı iletiminin doymun haldeki betona göre %25 daha düşük olduğunu elde etmiştir.

Erdoğan vd. (2007), geliştirilmiş polistrenli hafif beton uygulaması için yaptıkları çalışmada ortalama birim hacim kütlesi 865 kg/m³, basınç dayanımı 3,5 MPa ve ısı iletkenlik katsayısı 0,18 W/mK arasında değişen beton üretmişlerdir. Bu veriler doğrultusunda deprem bölgelerinde binaları gereksiz yüklemelerden korumak amacı ile granüle geliştirilmiş polistrenli hafif beton uygulamasının optimum bir çözüm olduğu sonucuna varmışlardır. Bu sonuçlara

ek olarak genleştirilmiş polistren üretiminden kaynaklanan hammaddedeki yoğunluk değışkenliğı ile hava sürükleyici katkının betonun transferi esnasında geçen süreye bağılı olarak gösterdiği performanstaki değışkenliğin hedeflenen beton hacminin elde edilmesindeki farklılıkların en önemli sebebi olarak görülmüştür.

Uygunoğlu ve Ünal (2006), çalışmalarında Afyon ve çevresinde bulunan diyatomit kayacının agrega olarak hafif blok üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Ürettikleri numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim kütlesi, ultrases hızı ve görünen porozite deneylerini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, diyatomitin agrega olarak hafif blok eleman üretiminde kullanılabilir olduğuna karar vermişlerdir.

Neville (1995), deneysel çalışmasında betonun ısı iletkenlik katsayısının, büyük oranda bileşenlerinin yani çimento hamuru ve agreganın geçirgenliğine bağılı olduğunu ispatlamıştır.

Özbey (2009), deneysel araştırmasında genel olarak bazaltın ve trakitın düşük bir iletkenliğe, dolamitin ve kireç taşının orta düzeyde bir iletkenliğe, kuvarsın ise en yüksek iletkenliğe sahip olduğunu saptamıştır.

Turgutalp ve Örüng (1992), çalışmalarında Sarıkamış yöresi pomzası ile üretilen betonların donma-çözünme özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, hafif betonların çimento miktarının artması ile donma-çözünme değerlerinde olumsuzluk söz konusu olmuştur. Hafif betonların, ısı yalıtımı konusunda diğer betonlara göre daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı donma-çözünme faktörünün etkisinden daha önemli olduğundan kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Urhan (1993)'a göre cisimlerin ısı iletim katsayısı, molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonudur. Çalışmasında belli bir gözenek oranına sahip cisimlerde gözenek duvar kalınlığının etken bir faktör olduğunu, gözenek yarıçapı ne kadar küçük ise ısı iletim katsayısının da o kadar düşük olduğunu

ispatlamıştır. Ayrıca bir cismin içindeki ısı geçişinin, moleküllerin ısı aktarımı yoluyla olduğunu saptamıştır. Camsı molekül yapıda ısının kat edeceği yolun, kristal molekül yapıya göre daha uzun olduğunu ve sonuç olarak ısı iletkenlik katsayısının da aynı kimyasal bileşimdeki kristal yapıdaki cisimlere göre daha düşük olduğunu belirlemiştir.

Kodur ve Sultan (2003), yapmış oldukları deneysel araştırmasında silis ve kalker esaslı agrega kullanarak yüksek dayanımlı betonlar üretmişler ve üretilen betonları yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakmışlardır. Deneysel çalışmalarında elde ettikleri sonuçlara göre ısı iletiminin artan sıcaklıkla beraber azaldığını, 200-800°C'ler arasında silis esaslı agrega ile üretilen betonun ısı iletiminin kalker esaslı agrega ile üretilen betona göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Uysal vd. (2004), yaptıkları çalışmada çimento miktarı, çökme değeri ve karışımdaki pomza/agrega oranının, betonun birim hacim kütlesi ve ısı iletkenliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada; bağlayıcı olarak 200, 250, 300, 400 ve 500 kg/m³ çimento, agrega olarak normal agrega ile normal agreganın %25, %50, %75 ve %100'nün yerine pomza agregası kullanılarak çökme değeri 3, 5 ve 7 cm olacak şekilde karışımlar hazırlanmıştır. Sonuç olarak; karışımda pomza agregasının artmasıyla, betonun birim hacim kütlesi ve ısı iletkenliğinde sırasıyla %40 ile %46'lık bir azalmanın olduğunu, çimento miktarının artmasının ısı iletkenliği ve birim hacimkütlesinde bir artışa neden olduğunu belirtmektedirler. Betonun çökme değerinin ise birim hacim kütlesi ve ısı iletkenliği üzerindeki etkisinde belirli bir eğilimin oluşmadığını belirtmektedirler. Üretilen betonların birim hacimkütleleri 2270 ile 1329 kg/m³ arasında değişirken, ısı iletkenlik katsayısı değeri (λ), 0,75 ile 1,5 W/mK aralığında değerler almıştır.

Othuman ve Azree (2011), yaptığı çalışmada farklı yoğunluklara sahip köpük betonların ısı iletkenlik değerlerini araştırmıştır. Isıl iletkenlik ölçümleri, muhafazalı sıcak plaka yöntemi ile yapılmıştır. Yoğunluğun artması ile ısı iletkenlik değerlerinin arttığını gözlemlemiştir.

Chen ve Liu (2013), yaptıkları çalışmada özgül EPS katkı köpük betonun mekanik, termal özellikleri ve işlenebilirliğine köpük içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Taze halde 400 ve 800 kg/m³ yoğunluğa sahip özgül köpük betonlar için dayanımın 3-13 Mpa arasında değiştiğini ve ısı iletkenlik değerinin 0,09-0,25 (W/mK) arasında değiştiğini ve EPS katkısının işlenebilirliği artırdığını vurgulamışlardır.

Sayadi vd. (2016), köpük betonun yanma direnci, ısı iletkenliği ve basınç dayanımına EPS partiküllerinin etkisini araştırmışlardır. 150-1200 kg/m³ arasında değişen yoğunluk değerlerine sahip numuneler hazırlamışlardır. Isı iletkenlik ölçümlerini ısı akış ölçer yöntemi ile gerçekleştirmişler ve numunelerde % EPS hacminin artırılması ile ısı iletkenlik değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında amaçlanan köpük betonların üretimi için agraga olarak Burdur İli Ulupınar Köyü'nde faaliyette olan Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi atığı olan kromit pasası kullanılmıştır. Ayrıca üretilen köpük betonların özelliklerinin karşılaştırılması için de Isparta HSD mikronize Kalker Tesisinden temin edilen -100µm kalker kullanılarak iki ayrı oranda (%100, %50) kontrol köpük betonları üretilmiştir. Çalışmada tamamı kromit pasası(dünit) ile üretilen köpük beton (D100), %50 Dünit, %50 Mikronize kalker karışımlı hafif beton (MA50/D50) ve tamamı mikronize kalker ile üretilen köpük beton (MA100) ise ile gösterilmiştir. Beton üretiminde bağlayıcı olarak Isparta Göltaş Çimento Fabrikası'ndan alınan portland çimentosu (EN 197-1 CEM I 42,5 R), karışım suyu olarak ise Süleyman Demirel Üniversitesi Batı kampüsünde kullanılan şebeke suyu ve köpük ajanı kullanılarak oluşturulan köpük (sürfaktan+su+hava karışımı) kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların tümünde Türk Standartları Enstitüsü'nün agregalar ve betonlar için belirlediği standartlar uygulanmıştır.

3.1.1. Agregas

Sertleşmiş beton hacminin % 60-70'ini agregas hacmi, geriye kalan % 30'unu ise çimento hamuru ve hava boşluğu hacmi oluşturmaktadır. Agregaların tek başına bir bağlayıcılık özelliği yoktur. Beton bünyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Agregas tanelerini bir arada tutabilmek için bağlayıcımalzeme olarak çimento kullanılmaktadır. Çimento hamurunun mukavemeti betonun mukavemetinden daha yüksektir. Fakat betonun sadece çimento hamuru ile üretilmesi ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla çimento hamuruna dolgu malzemesi olarak agregas ilave edilmektedir. Agreganın çimentodan daha kolay temin edilebilmesi ve daha ucuz olması, atmosfer etkilerine, çeşitli kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı çimentodan çok daha fazla dayanıklı olması, ayrıca çimentonun prizi sırasında meydana gelen sisme ve

rötre gibi hacimsel hareketlerin agregada görülmemesi kullanımını zorunlu kılmaktadır .

Kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Genellikle büyüklüğü 1-4 mm arasında olan agreg, kum, 8-31,5 mm arasında olan agreg ise çakıl olarak adlandırılır ve belirtilen ölçülerin aralığındaki malzemenin tümünün bir arada harmanlanması ile oluşur. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agreg önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum vb.) ve kaba (çakıl, kırmataş vb.) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

Çalışmada Burdur İli Ulupınar Köyü'nde faaliyette olan Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi atığı olarak ortaya çıkan kromit pasası (dünit) kullanılmıştır. Ayrıca kontrol hafif betonu için de agreg olarak Isparta HSD mikronize Kalker Tesisinden temin edilen mikronize kalker kullanılmıştır.

3.1.2. Çimento

Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentoya CEM çimentosu denilmektedir. Bileşimi portland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir.

Bu çalışmada Isparta'da bulunan Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilmiş CEM I 42,5 R portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri, Çizelge 3,1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimento özellikleri (Göлтаş, 2015)

Klinkerin Kimyasal Özellikleri (%)		Çimento Fiziksel Özellikleri		
SiO ₂	20,52	Hacimsel Genleşme (mm)		≤ 1
Al ₂ O ₃	4,00	İncelik (90µ, %)		0,10
Fe ₂ O ₃	3,45	İncelik (200µ, %)		1,10
CaO	64,28	Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)		3340
MgO	1,63	Priz Başlangıcı (dak)		185
SO ₃	2,53	Priz Sonu (dak)		240
Na ₂ O+K ₂ O	1,35	Özkütle (g/cm ³)		3,12
Çimento Mekanik Özellikleri (MPa)				
7 günlük	Eğilme Dayanımı (MPa)	5,8	Basınç Dayanımı (MPa)	39,3
28 günlük	Eğilme Dayanımı (MPa)	7,2	Basınç Dayanımı (MPa)	51,0

3.1.3. Su

Beton karışım suyunun temel olarak iki görevi işlenebilirliği ve çimento ile reaksiyona girerek agrega taneleri arasında bağlayıcılığı sağlamaktır. Genellikle içilebilir kalitedeki tüm suların beton karışım suyu olarak kullanılabileceği birçok kaynakta belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında, beton karma suyu olarak Süleyman Demirel Üniversitesi Arastırma ve Uygulama Merkezindeki kullanılan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Çalışmada kullanılan araçlar ve gereçler

Deneysel çalışmalarda, Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Arastırma ve Uygulama Merkezinde bulunan alet ve deney düzenekleri kullanılmıştır. Ayrıca Laboratuvar çalışmasında kullanılan araçlar ve gereçlerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan araç ve gereçler; elekler, hassas terazi, etüv, mikser, küp ve prizma beton numune kalıpları, kumpas, fırça, gres yağı, spatula, mala, cam ve plastik ölçü kabı kür havuzu, tek eksenli basınç cihazı, ısı iletkenlik cihazı, rötire tayini cihazı vb. gibi malzemelerdir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Agregada fiziksel özelliklerin tayini

Burdur İli Ulupınar Köyü'nde faaliyette olan Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi atıklarından agregada olarak toplanan kromit pasası (Dünit) ve Isparta HSD mikronize Kalker Tesisinden temin edilen -100µm kalker Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'ne getirilmiştir.

3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılımı analizi

Agrega(Dünit) ASTM standartlı kare delikli elekler ile elenmiştir. Köpük beton üretileceğinden agregada boyutları 1-2 mm arasında olacak şekilde eleme yapılmış ve TS 1114 EN 13055-1'e göre öngörülen elek analizi sonuçları ve irdelemeleri detay olarak yapılmış olup, elekler ile yapılan analizlere ait değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kromit Pasası Elek analizi

Elek No	Elek üstünde kalan (g)	Yığılımlı Kalan (g)	Yığılımlı Kalan (%)	Geçen Yığılımlı (%)
2	0,0	0,0	0,0	100,0
1	120,5	120,5	7,5	92,5
0,5	578,0	698,5	43,6	56,4
0,25	653,0	1351,5	84,4	15,6
0,125	204,0	1555,5	97,1	2,9
elek altı	38,5	1594,0	99,5	0,5
	8,0	1602,0	100,0	0,0

Kontrol hafif betonu için kullanılacak kalker boyutu ise 0,1 mm (-100µm)'den küçük olacak şekilde elenmiştir.

3.2.1.2. XRD Analizi

X-ışınları kırınım yöntemi kristalin malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan temel tekniklerden biridir. Numune üzerine gönderilen dalga boyu bilinen x-ışınları farklı açılarda Bragg kanununa göre ($n\lambda = 2d\sin\theta$) malzemedeki düzlemler tarafından kırınıma uğratılır. Bu yöntemle elde edilen paternler her bir faz için parmak izi niteliğinde olup, malzeme içerisinde bulunan fazların tayinini sağlar.

Ak-Altın Madencilik Krom Zenginleştirme Tesisi atıklarından agrega olarak toplanan kromit pasasından(Dünit) XRD analizleri için SDÜ Enerji Araştırmaları Uygulama Ve Araştırma Merkezine getirilmiş ve Şekil 3.1 deki XRD cihazında deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.1. XRD cihazı

3.2.1.3. Özgül ağırlık analizi

Özgül ağırlık (ρ), Dünit tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanabilmektedir. Dünit oluşumlarının özgül birim ağırlık

değerleri, TS 3526'da belirtilen piknometre esasına göre, deneysel olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenebilmektedir.

$$\rho = (G_{pn} - G_p) / [(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})] \quad (3.1)$$

ρ : Özgül ağırlık, g/cm³

G_p : Piknometre ağırlığı (g)

G_{pn} : (Piknometre + deney numunesi) ağırlığı (g)

G_{ps} : Su ile dolu piknometre ağırlığı (g)

G_{pns} : (Piknometre + deney numunesi + su) ağırlığı (g).

3.2.1.4. Su emme oranı

Bir kayaçta su emme az veya çok oluşu diğer fiziksel özellikleri etkilemektedir. Genellikle su emme çok ise; Porozite fazla, boşluk ve çatlaklar çok ve ayrışma miktarı yüksektir. Buna karşılık su emmenin az olması; basınç direnci ve Elastisite(E) Modülü gibi mekanik özelliklerin büyük olmasını göstermektedir. Hafif agregaların, kargir birim ve hafif beton agregası olarak kullanımı söz konusu olduğunda, beton karışım hesaplamalarında kullanılacak olan hafif agreganın su emme oranı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Hafif agrega su emme oranı (S_k) değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla tanımlanabilmektedir.

Malzemenin ağırlıkça su emme oranı S_k , %

$$S_k = [(G_{dh} - G_k) / G_k] \times 100 \quad (3.2)$$

S_k : Su emme oranı

G_k : Değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş deney numunesi ağırlığı (g)

G_{dh} : Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı (g).

Gözenekli malzemelerin su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, birçok endüstri alanında kullanılabilirlik kriterlerini oluşturmaktadır. Ayrıca, malzeme tanelerinin kompasitesi, tanelerin yapısındaki doluluk oranı, malzemenin su emme kapasitesine etki eden diğer bir

faktördür. Bu, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Hafif betonun gözeneklerinde tutulan su, betonun genel olarak mekanik ve termik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Betonlu oluşturan gözenekli malzemelerin su emme kapasitesi, gözenek oranlarına (bir anlamda dökme birim hacim ağırlıklarına) ve gözenek yapılarına bağlıdır. Malzemelerin su emme oranları dökme birim ağırlıklarının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı Tayini

Gdh	Gpns	Gps	Gk	ρ_a	ρ_{rd}	ρ_{ssd}	Sk
207,81	1378,28	1255,30	202,86	2,540	2,391	2,450	2,440
211,68	1347,03	1220,46	208,91	2,537	2,455	2,487	1,326
291,60	1403,15	1230,45	287,12	2,509	2,415	2,452	1,560
Ortalama				2,529	2,420	2,463	1,775

Gdh	<i>Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi, g</i>
Gpns	<i>Doygun agrega numunesini ıftiva eden piknometrenin kütlesi, g</i>
Gps	<i>Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi, g</i>
Gk	<i>Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi, g</i>
ρ_a	<i>Görünür tane yoğunluğu, g/cm³</i>
ρ_{rd}	<i>Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, g/cm³</i>
ρ_{ssd}	<i>Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, g/cm³</i>
Sk	<i>24 saatlik daldırmadan sonra su emme oranı</i>

3.2.2. Beton karışım hesapları

Köpük beton üretiminde agrega karışım oranları farklı olan 3 çeşit karışım tasarlanmıştır. Bunlar D100, D50/MA50, MA100 şeklinde isimlendirilmiş olup, D100 agraga olarak tamamı dünit içeren, D50/MA50 %50 dünit, %50 mikronize kalker içerikli, MA100 ise tamamı mikronize kalker içerikli köpük betonu tanımlamaktadır. Her bir karışım tasarımı için hedeflenen teorik kuru yoğunluklara göre, karışıma girecek bileşen miktarları hacim yöntemi (1 m³) esas alınarak hesaplanmıştır. Karışım tasarımlarında hedeflenen teorik kuru yoğunluklar, 1 m³ için karışıma giren katı bileşenlerin (çimento, agrega, kalker) kütleleri toplamı olup her seride 750 kg/m³'tür. Tüm karışımlarda çimento dozajı (300 kg.) ve su/çimento (s/ç) oranı (0,42) sabit tutulmuştur. Ayrıca tüm karışımlarda gözenekli hafif beton üretileceğinden köpük üretimi için eşit

miktarlarda sentetik esaslı köpük ajanı (selüloz) kullanılmıştır. Hacim yöntemine göre hesaplanan beton karışım tasarımlarında özgül ağırlık değerleri; çimento için 3,12 g/cm³, su için 1,00 g/cm³, köpük ajanı (selüloz) için 1,00 g/cm³ olarak alınmıştır.

Agrega olarak kullanılan kromit pasasının (dünit) tane boyutları, tüm karışımlarda 1-2 mm arasındadır. Agregası, beton karışım tasarımlarında etüv kurusu olacak şekilde hesaba katılmıştır. Dolayısıyla hacim yöntemine göre hesaplanan beton karışım tasarımlarında agregaların kuru özgül ağırlık değerleri kullanılmıştır. Çizelge 3.4'de 1 m³ karışım için bileşen miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Üretilen hafif betonların bileşen miktarları (1 m³ için)

Seri	Çimento (kg)	Dünit (kg)	Kalker (kg)	Taş Unu (kg)	Su (L)	Selüloz (kg)	Köpük (dm ³)	S/ç
D100	300	350	0	100	168	1	578	0,42
D50/MA50	300	175	175	100	168	1	576	0,42
MA100	300	0	350	100	168	1	574	0,42
DD100	300	420	0	180	168	1	40	0,42

3.2.3. Beton üretimi

SDÜ Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'nde gözenekli (köpük) hafif betonların üretimi yapılmıştır. Karışım tasarımlarında hesaplanan miktarlara göre, öncelikle karışım suyu ve sonrasında çimento ve agregası tartılarak karışım kabına alınmıştır. Ayrıca agregası,(dünit) etüv kurusu halde iken karışıma ilave edildiğinden su emme yüzdeleri dikkate alınarak karışıma ekstra su eklemesi yapılmıştır. Homojen bir harç elde edilinceye kadar (yaklaşık 3-5 dk) el mikseri ile karıştırma işlemi gerçekleştirildi. Sonrasında karıştırma kabı içerisine köpük jeneratörü ve hava kompresörü kullanılarak köpük ajanından elde edilen köpük ilave edilmiştir. Tüm bileşenler, 2-3 dk daha karıştırılmıştır.



Şekil 3.2. Köpük beton üretimi

Toplamda 3 seri gözenekli hafif beton üretildi ve numune kalıplarına yerleştirilmiştir. Numuneler, 24 saat kalıp içerisinde bırakıldı ve bu sürenin sonunda kalıptan çıkartılmıştır. Rötire deneyi dışındaki tüm deney numuneleri, test sürelerine kadar 20 ± 2 °C sıcaklığı ve %65 bağıl nemi olan kür havuzunda saklanmıştır. Rötire deneyi numuneleri ise, kalıplardan çıkartıldıktan sonra tüm boy ölçümleri okumaları boyunca kuruma ortamında bekletilmiştir. Üretilen hafif beton numuneleri, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Üretilen hafif beton numuneleri



Şekil 3.4. Üretilen hafif beton numuneleri

3.2.4. Taze ve Sertleşmiş beton deneyleri

Taze betonun birim hacim ağırlığının belirlenmesi, TS EN 12350-6'ya (2010) standardına uygun olarak yapılır. Taze beton, hacmi ve kütlesi bilinen katı ve sızdırmaz bir kap içerisine sıkıştırılarak yerleştirilir ve tartılır. Böylelikle taze betonun birim hacimdeki ağırlığı tespit edilir. Bu deney, taze betonun birim hacmine isabet eden ağırlığın kg/m^3 olarak ifade edilmesi ve beton içerisindeki hapsolmuş hava miktarının belirlenmesi amacıyla yapılır.

Tez çalışması kapsamında üretilen betonlara sertleşmiş beton deneylerinden basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık, statik elastisite modülü, ısı iletkenlik ve rötre (büzülme) deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda rötre (büzülme) deneyi hariç belirtilen diğer deneylerde 28 günlük numuneler üzerinde analizler yapılmıştır. Rötre (büzülme) deneyinde ise numunelerin boy ölçümleri, belirli zaman aralıklarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.a. Basınç dayanımı deneyi

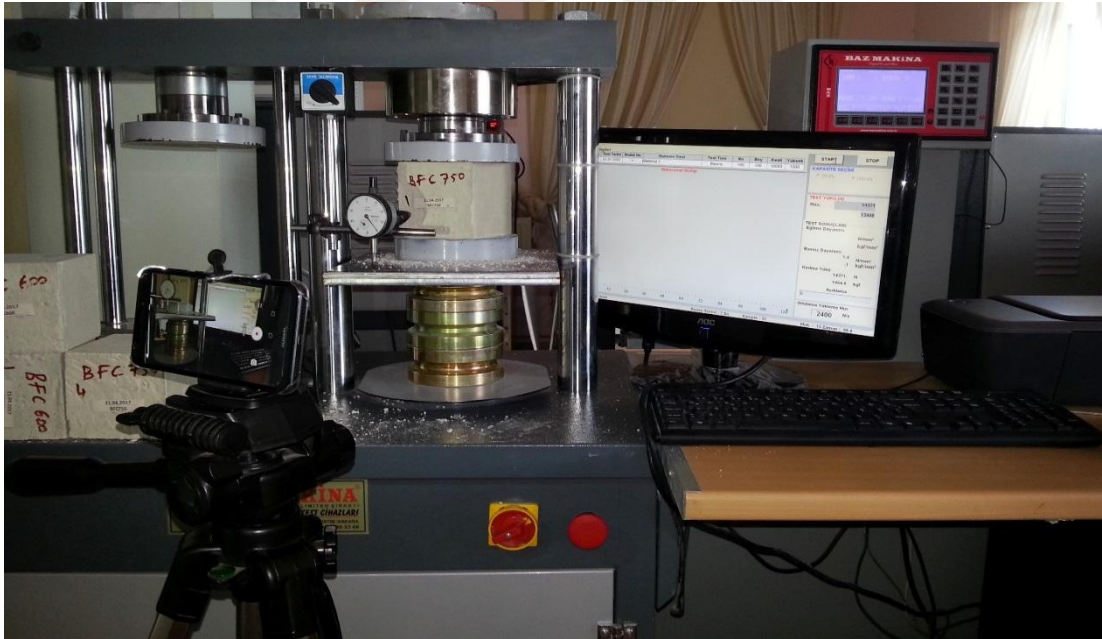
Tahribatlı test yöntemlerinden tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Bu deney için S.D.Ü. Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'nde bulunan 200 tonluk tek eksenli basınç dayanımı test cihazı (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Basınç deneyi, 7 ve 28 günlük olan 100x100x100 mm boyutlu numunelerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler deney gününden bir gün önce kür havuzundan çıkartılarak yüzey nemini bırakmaları sağlanmıştır. Tüm serilerden basınç dayanımı için 3'er adet küp numune kullanılmış olup, deney sonucu olarak bu üç numunenin basınç dayanımı deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Basınç deneyinde yükleme hızı, 2400 N/s olacak şekilde sabit tutulmuştur. Her karışım için üretilen numunelerden 3 tanesi, 7 günlük, 3 tanesi 28 günlük deneye tabi tutulmuştur. 28 günlük sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyi, TS EN 1354'e (2007) göre yapılmıştır. Numunelerin basınç dayanımları, Denklem 3.1'de yerine konularak hesaplanmıştır.

$$f_c = F/A_c \quad (3.3)$$

Burada, f_c basınç dayanımı (MPa), F kırılma yükü (N), A_c numunenin yük doğrultusundaki kesit alanı (mm²)'dir.

D100 serisine ait numunelerden bazılarının basınç deneyine tabi tutulmadan önce kırıldığı, kırılmayan 3 adet küp numunenin ise basınç dayanımlarının çok düşük kaldığı görülmüş olup, birim hacim ağırlığı artırılarak yeniden beton üretimi yapılmıştır.

Üretilen yeni DD serisinin tasarlanan teorik kuru birim hacim ağırlığı 900 kg/m³ olup, diğer 3 seride olduğu gibi yeniden beton üretimi gerçekleştirilmiş ve aynı şekilde ve şartlarda 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir.



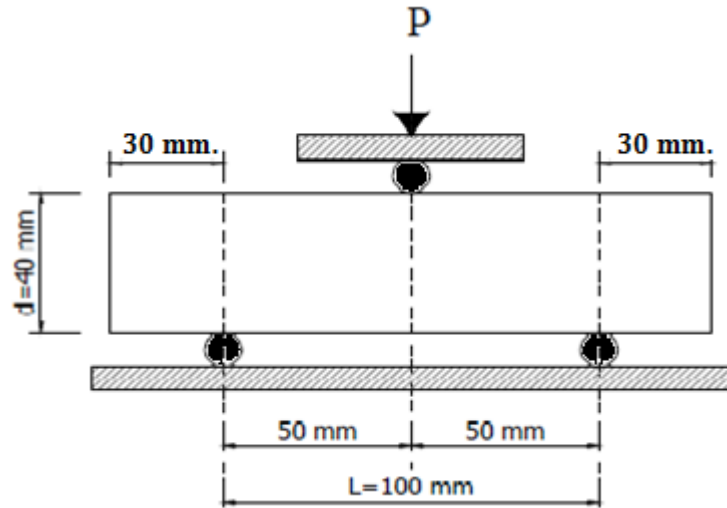
Şekil 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı

Ayrıca her karışımdan eğilme dayanımı deneyine tabi tutulan üç adet prizmatik numunenin yaklaşık olarak ortalarından kırılmalarıyla elde edilen altı adet prizma şekilli yarım numuneler de, TS EN 1354'e göre basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Bunun için numune, hazırlanan bir aparatın içine kırık yüzeyi yana gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Numunenin alt ve üstündeki

40 mm x 40 mm'lik metal başlıklarla numune 2400 N/sn hızla yüklemeye tabi tutulmuştur. Kırma başlıkları arasındaki prizma, 40 mm x 40 mm x 40 mm'lik bir küp görevi görmektedir. Yüklemeye tabi tutulan numunelerin basınç değerleri, yine Denklem 3.3 yardımıyla bulunmuştur ve her karışım için altı numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınıp basınç dayanım değeri olarak kabul edilmiştir.

3.2.4.b. Eğilme dayanımı deneyi

Betonun eğilme dayanımı tayini, TS EN 12390-5 (2010) standardına göre üç noktadan yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Bunun için her numune, aralarındaki mesafe 100 mm olan iki silindir üzerine oturtulmakta ve numunenin üst yüzeyinin tam ortasına gelen aynı boyutlu silindir üzerine oturtulmakta ve numunenin üst yüzeyinin tam ortasına gelen aynı boyutlu silindir üzerine numune kırılıncaya kadar yükleme yapılmaktadır. Bulunan kırılma yükünden eğilme dayanımı hesaplanabilmektedir. Bu deney için Şekil 3.6. da detayı verilen eğilme dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.6. Eğilme dayanımında kullanılan deney şeması

Şekil 3.7. de görülen SDÜ Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'ndeki yükleme hızı ayarlanabilen eğilme dayanımı test cihazı kullanılmıştır.

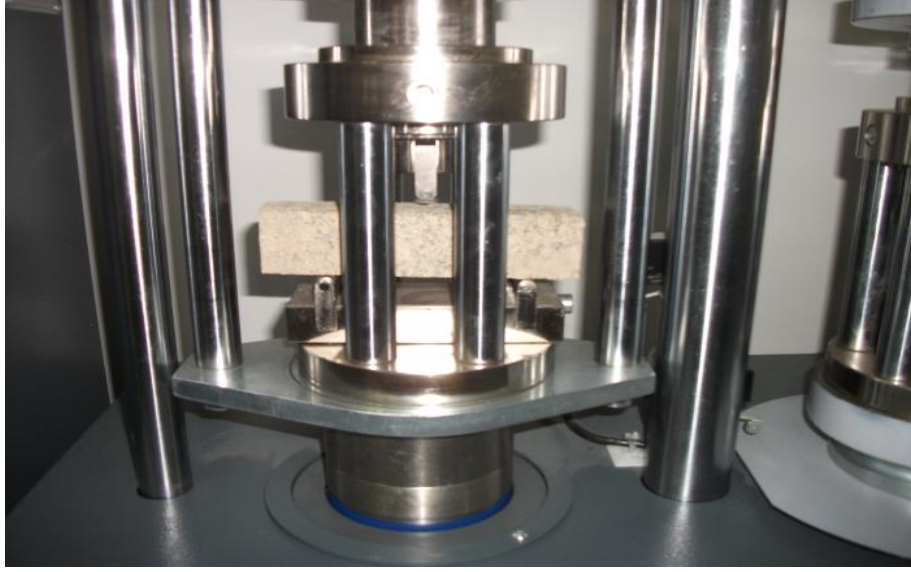


Şekil 3.7. Eğilme dayanımı test cihazı

Eğilme dayanımı tayini için her bir karışımdan 6 adet 4×4×16 cm'lik prizma numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerden 3 tanesi deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deney sonucu eğilmede çekme dayanımı, 28. günde kırılan numuneler için Denklem 3.4 ile bulunmuştur.

$$f_{cf} = \frac{3.F.L}{2d_1.d_2^2} \quad (3.4)$$

Burada, f_{cf} eğilme dayanımı (MPa), F en büyük yük (N), L mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm), d_1, d_2 numunenin en kesit boyları (mm)'dir. Şekil 3.8.'de eğilmede çekme dayanımı testi uygulanan numunelerden birinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.8. Eğilmede çekme dayanımı testi uygulama görüntüsü

3.2.4.c. Elastisite modülü tayini

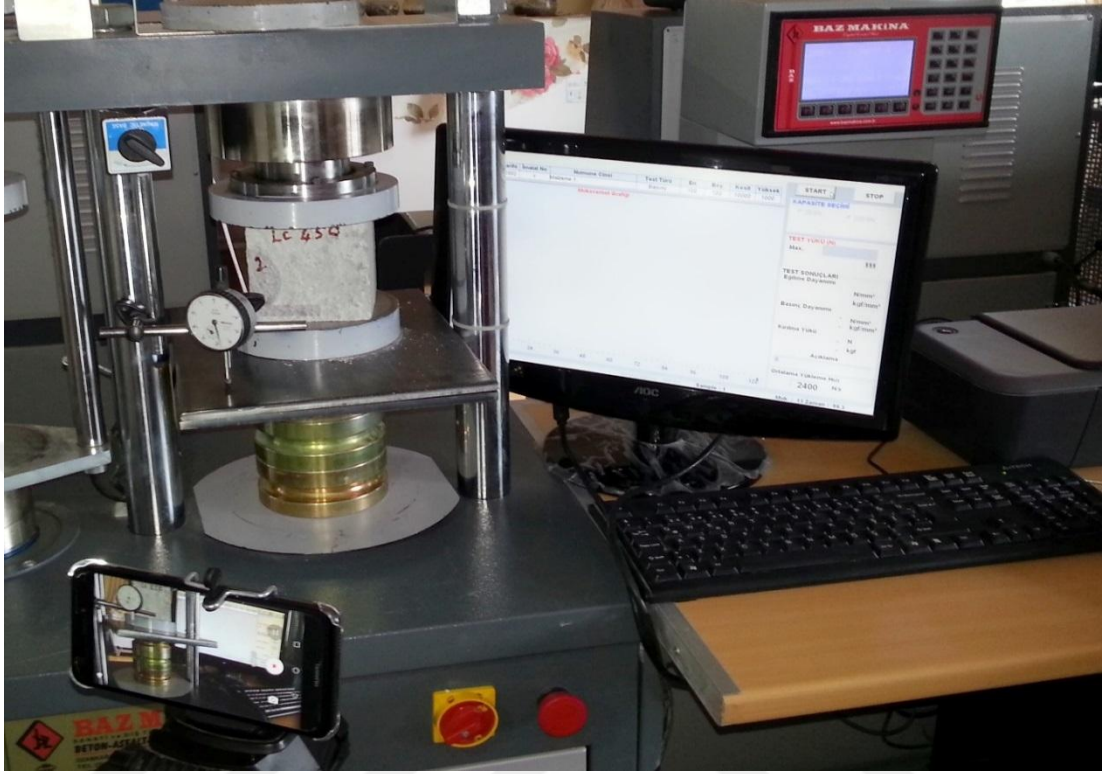
Mühendislikte kullanılan birçok malzeme, belirli bir gerilme değerine kadar olan yüklemeler altında elastik özellik göstermektedir. Fakat bu gerilmeler aşıldığında tamamen elastiklik özelliğini kaybetmektedir. Betonun oluşturan malzemelerden agrega ve çimento elastik davranış göstermesine karşı, kompozit bir malzeme olan beton yüksek gerilme değerlerinde elastik bir malzeme değildir. Beton, en yüksek basınç dayanımının % 25 ile 40 seviyelerinden sonra elastik özelliğini kaybeder. Düşük gerilme değerleri göz önüne alındığında, betonu oluşturan iki malzemenin de gerilme-şekil değiştirme davranışlarının doğrusal olduğu belirtilebilir. Betonun oluşturan agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri oldukça farklıdır. Betona uygulanan gerilmeye bileşenlerden agrega ve çimentonun farklı tepki vermesi, betonu yüksek gerilme mertebelerinde elastik olmayan bir davranış göstermesine neden olmaktadır. Bu durum betonun kompozit bir malzeme olmasının yanında çimento hamuru ve agrega arasındaki bağın yapısına da bağlıdır. Agrega sertliğinin çimento hamurunun sertliğine yakın olduğu durumda betonun elastik davranışa yakın bir özellik gösterdiği görülmüştür (Neville, 1995).

Betonun elastisite modülü, matrisin elastisite modülüne, agrega tipine, su/bağlayıcı oranına ve çimento hacmine bağlıdır. Betonun sahip olduğu en yüksek gerilme değeri azaldıkça, sahip olduğu doğrusal bölge de gerilme değerine bağlı olarak azalmaktadır. Buna bağlı olarak da elastisite modülü daha düşük değerler almaktadır. Diğer bir ifadeyle, hafif betonun sahip olduğu en yüksek gerilme değeri artıkça betonların aynı gerilme altındaki şekil değiştirme yetenekleri azalmaktadır. Normal betonla karşılaştırıldıklarında ise, hafif agregaların daha kırılğan yapıda olmalarından dolayı, aynı bileşenlere sahip olsalar bile normal agregalı betondan daha düşük basınç gerilmesine sahip olmaktadırlar. Dolayısıyla aynı gerilmeler altında hafif betonların şekil değiştirme yetenekleri de daha fazla olmaktadır. Sonuç olarak hafif agregalı betonların elastisite modülü değerleri normal agregalı betonların sahip olduğu elastisite modülüne göre daha düşük değerler almaktadır (Uygunoğlu, 2008).

Betonda elastisite modülü, beton deney numunelerinde elastik bölgede uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde boyuna kısaltmaya oranı olarak ifade edilmektedir. Betondaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi, ASTM C 469 ve TS ISO 1920-10 (2015) standardlarına uygun olarak belirlenmiş ve bu amaçla her karışımdan 5 adet 10×10×10 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. Bu küp numunelerin 2 tanesi, 28. günde tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulurken elastisite modülü tayini için aynı anda hassasiyeti 1/100 mm olan kompratör aleti kullanılarak betondaki şekil değiştirmeler ölçülmüştür (Şekil 3.9). Deneye başladıktan sonra, giderek artan yüklere karşılık betonda oluşan boy değişimi videoya kaydedilmiş ve bu işleme numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir. Birim şekil değiştirme, boy değişiminden; gerilme ise, yük/alan (F/A)'dan hesaplanmıştır. Gerilme değerleri dikey eksene, birim şekil değiştirme değerleri ise yatay eksene yerleştirilerek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi elde edilmiştir. Bu eğriye belli bir noktadan çizilen doğrusal çizginin eğiminden hesaplanan elastisite modülü, Denklem 3.5'deki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \epsilon = \Delta L / L_0 \quad \Delta L = L_i - L_0 \quad (3.5)$$

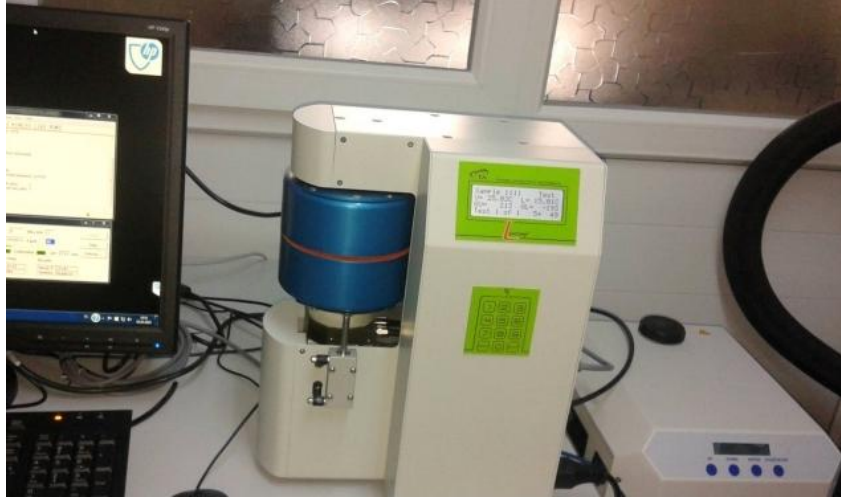
Buradaki formüllerde, E elastisite modülü, σ basınç gerilmesi, ε birim şekil değiştirme, ΔL boy değişimi, L_i i. andaki boy, L_0 ilk boy'dur.



Şekil 3.9. Kompratör aleti yardımı ile elastisite modülü tayini

3.2.4.e. Isı iletkenlik deneyi

Bu deney için S.D.Ü. Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'ndeki ısı akısı ölçme yöntemi ile çalışan Lasercomp Fox 50 ısı iletkenlik cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8). Bu cihaz, ASTM C 518 ve TS EN 12664 standartları doğrultusunda ölçüm yapabilmektedir. Isı iletkenlik katsayısı, 10 W/mK dan küçük olan malzemelerin termal iletkenlik ölçümleri için tasarlanmıştır. Bu cihaz kullanılarak çapı 63 mm, kalınlığı 0 ile 25 mm aralığında olan numunelerin ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılabilmektedir. Deneysel çalışmada her karışımdan 1 adet çapı 63 mm, kalınlığı 25 mm olacak şekilde silindir numune üretilmiştir. Numune yüzeylerinin düz ve pürüzsüz olmasına özen gösterilmiştir. Isı iletkenlik deneyleri, TS EN 12664 (2009) ve TS EN 12667 (2003) standartları esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.10. Fox 50 ısı iletkenlik cihazı

3.2.4.f. Rötire (büzölme) deneyi

Şekil 3.11. de görülen SDÜ Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'ndeki rötire tayini cihazı ve kalıbı kullanılmıştır (Şekil 3.11). Rötire tayini cihazı 1/1000 mm hassasiyetinde çalışmaktadır.

Rötire deneyi, TS ISO 1920-8.2009 (2011) standardına göre yapılmış olup her karışımdan 2 adet 25×25×285 mm boyutunda prizma numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler prizini tamamladıktan sonra kalıplarından çıkartılıp tüm okumalar boyunca kuruma ortamında bekletilmiştir. Kuruma ortamının sıcaklığı 18-20 °C ve bağıl nemi %60-65 değerleri arasındadır. Okumalar yapılmadan önce rötire tayini cihazının okuması kontrol edilmiştir. Rötire numunelerinin boy ölçümleri, 8., 16., 21., 30., 38., 45. günlerde yapılmıştır. Rötire değerleri, belirlenen her bir zaman ve numune için alınan okumaların ilk okumadan çıkartılması ve sonucunda numune boyuna bölünmesiyle hesaplanmıştır. Böylelikle birim boy değişimleri bulunmuştur.

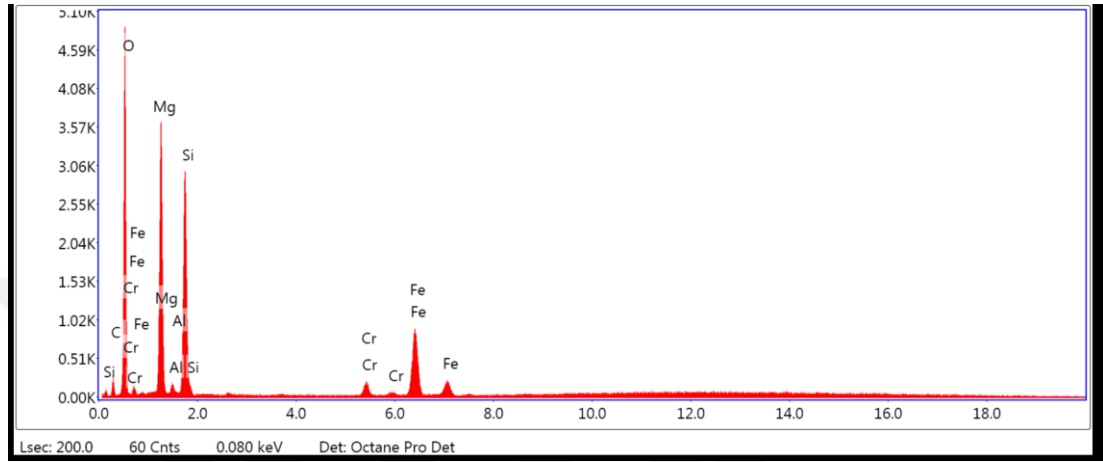


Şekil 3.11. Rötire tayini cihazı

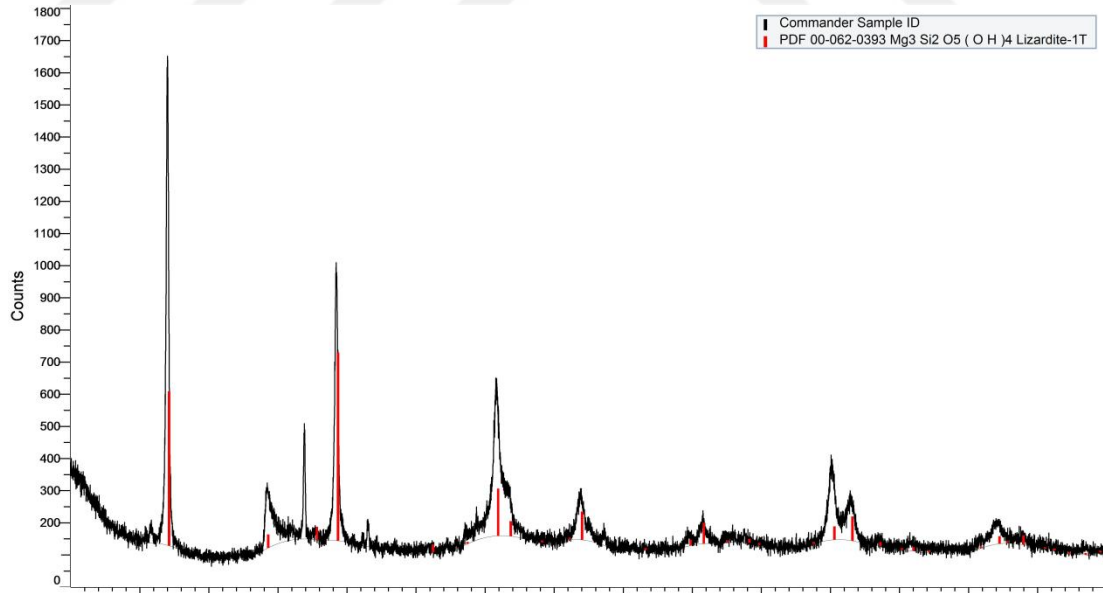
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

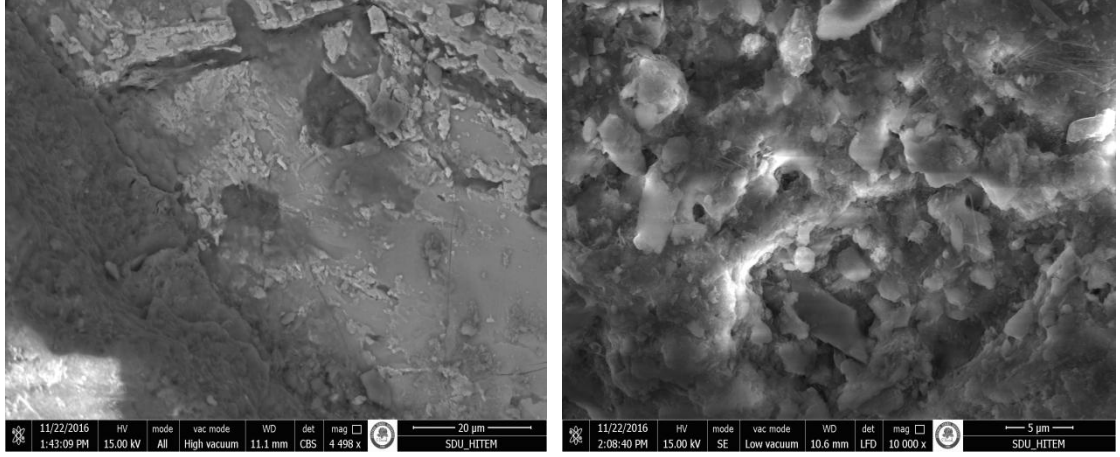
Kromit Pasası (Dünit) EDS ve XRD analiz sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil.4.1. Kromit Pasası (Dünit) EDS analiz sonuçları



Şekil 4.2. Kromit Pasası (Dünit) XRD analiz sonuçları



Şekil 4.3. Kromit Pasası (Dünit) SEM görüntüleri

Çizelge 4.1. Kromit pasasına ait element analiz sonuçları

Element	Ağırlık yüzdesi %	Atomik yüzdesi %
C	12,79	57,69
A	50,89	13,02
Mg	17,45	13,02
Al	0,90	0,61
Si	10,94	7,06
Cr	0,81	0,28
Fe	6,21	2,02

4.2. Taze Beton Deneyi

Çalışma kapsamında hazırlanan gözenekli hafif beton karışımları için teorik ve gerçek taze beton yaş yoğunluk değerleri, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Taze köpük beton yaş yoğunlukları (kg/m³)

Seri	Teorik	Gerçek
	ρ_{tt}	ρ_{gt}
D100	970	654
D50/MA50	970	754
M100	970	700
DD100	1110	900
ρ_{tt} : Teorik taze beton yoğunluğu (kg/m ³); ρ_{gt} : Gerçek taze beton yoğunluğu (kg/m ³)		

Ayrıca üretilen köpük beton karışımları için taze halde gerçekleşen kuru yoğunluk değerleri de üretim esnasında hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Gerçek kuru yoğunluk değerleri karışıma katılan su hariç diğer bileşenlerin (çimento, agrega, selüloz) kg cinsinden toplamının, taze betonun m³ cinsinden hacmine bölünmesiyle bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Taze halde gerçek kuru yoğunluk değerleri (kg/m³)

Seri	Taze halde gerçek kuru yoğunluk (kg/m ³)
D100	750
D50/M50	750
M100	750
DD 100	1150

4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Tez çalışması kapsamında üretilen köpük betonlara sertleşmiş beton deneylerinden yoğunluk, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, statik elastisite modülü, ısı iletkenlik ve rötre (büzülme) deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda rötre (büzülme) deneyi hariç belirtilen diğer deneylerde 28 günlük numuneler üzerinde analizler yapılmıştır. Rötre (büzülme) deneyinde ise numunelerin boy ölçümleri, belirli zaman aralıklarında gerçekleşmiştir.

4.3.1. Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi

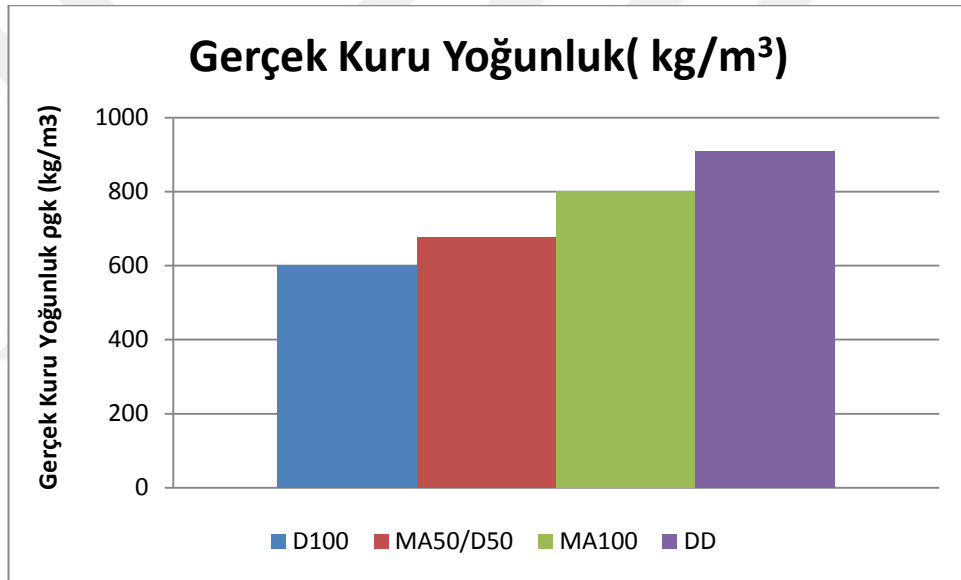
Deneysel çalışmada üretilen sertleşmiş gözenekli hafif beton numuneleri için gerçekleşen kuru yoğunluk değerleri, TS EN 678 standardına göre belirlenmiş olup her seri için 3 adet küp numune deneye tabi tutulmuştur ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.3’de sertleşmiş gözenekli hafif beton numunelerinin teorik ve gerçek kuru yoğunluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sertleşmiş hafif betonların kuru yoğunlukları (kg/m³)

Seri	Teorik	Gerçek
	ρ_{tk}	ρ_{gk}
DD	900	909
D100	750	602
MA50/D50	750	675
M100	750	800

ρ_{tk} : Teorik kuru beton yoğunluğu (kg/m³); ρ_{gk} : Gerçek kuru beton yoğunluğu (kg/m³)

Şekil 4.4’de 28 günlük sertleşmiş gözenekli hafif beton numunelerinin gerçek kuru yoğunluk değerleri, grafik olarak gösterilmiştir.



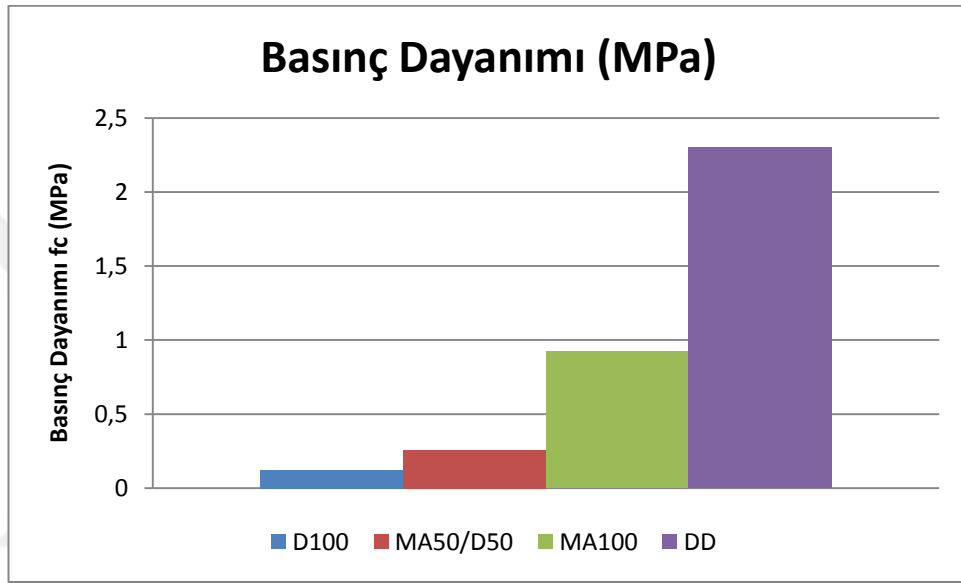
Şekil 4.4. Sertleşmiş hafif betonların gerçek kuru yoğunlukları

4.3.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Her seri için 3 adet küp numune, deneye tabi tutulmuş olup sonuçların ortalaması alınmıştır. 28 günlük sertleşmiş gözenekli hafif beton numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri, Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Köpük betonların basınç dayanımları

Seri	Basınç dayanımı (MPa)
D100	0,123
DD	2,299
MA50/D50	0,257
MA100	0,923



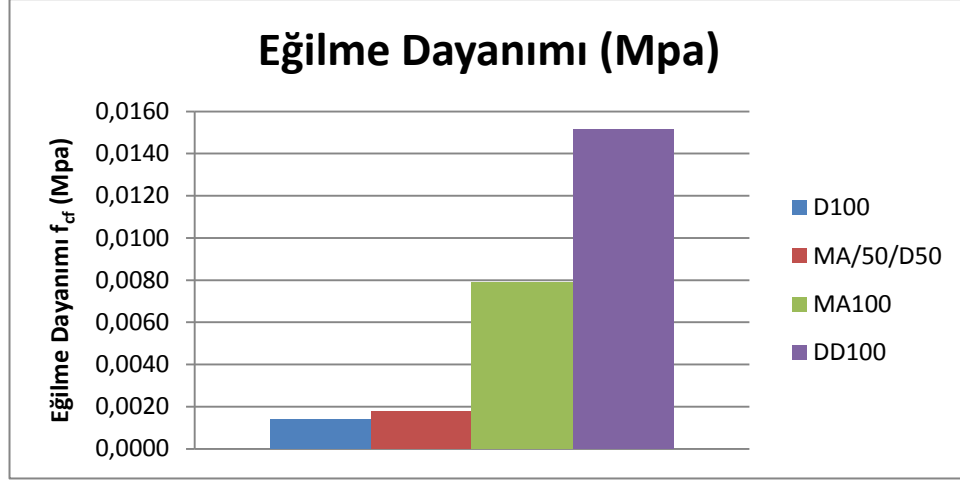
Şekil 4.5. Köpük betonların basınç dayanımları

4.3.3. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Her seri için 9 adet prizmatik numune, deneye tabi tutulmuş olup sonuçların ortalaması alınmıştır. 28 günlük sertleşmiş gözenekli köpük beton numunelerinin eğilme dayanımı değerleri, Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Köpük betonların eğilme dayanımları

Seri	Eğilme dayanımı (MPa)
D100	0,014
D50/MA50	0,018
MA100	0,078
DD100	0,151



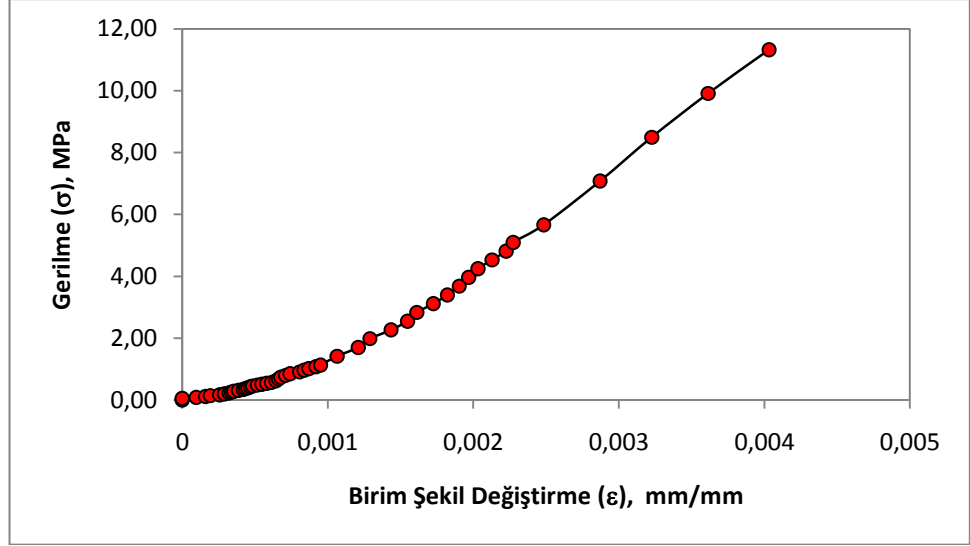
Şekil 4.6. Köpük betonların eğilme dayanımları

4.3.4. Elastisite modülü tayini sonuçları

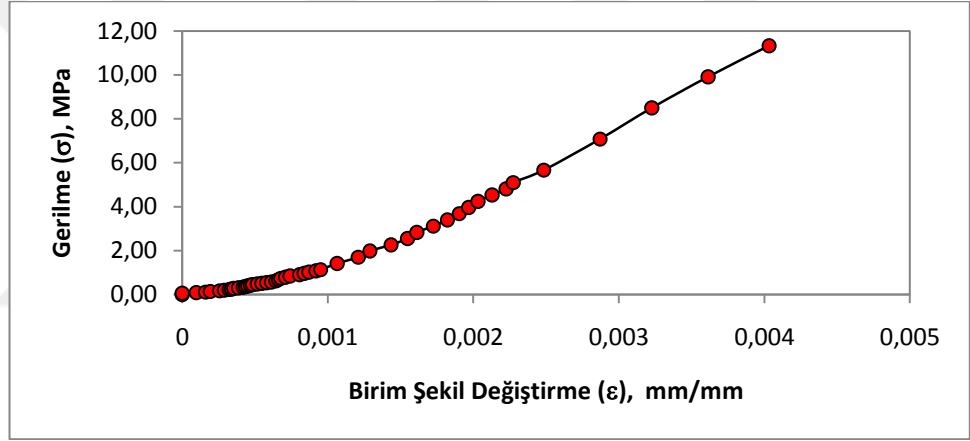
Her seri için 3 adet küp numune, basınç dayanımı deneyi esnasında kompratör aleti kullanılarak deneye tabi tutulmuş olup sonuçların ortalaması alınmıştır. 28 günlük sertleşmiş gözenekli hafif beton numunelerinin elastisite modülü (E), basınç dayanımı (σ) ve birim şekil değiştirme (ϵ) değerleri, Çizelge 4.6'de verilmiştir. Ayrıca her seriye ait gerilme (σ) - birim şekil değiştirme (ϵ) eğriler, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Hafif betonların elastisite modülü (E_{ort}), basınç dayanımı (σ_{ort}) ve birim şekil değiştirme (ϵ_{ort}) değerleri

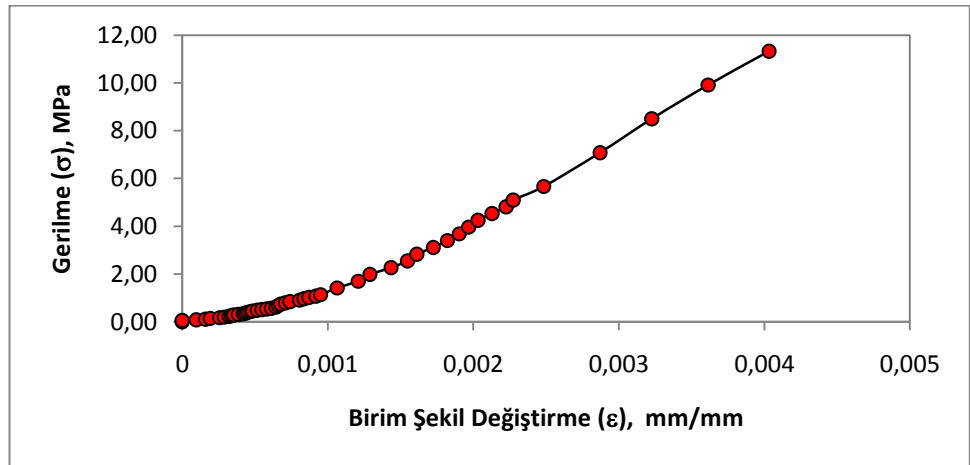
Seri	E_{ort} (MPa)	σ_{ort} (MPa)	ϵ_{ort} (mm/mm)
D100	148	0,08	$8,41 \times 10^{-4}$
D50/MA50	233	0,17	$7,16 \times 10^{-4}$
MA100	1292	0,72	$5,46 \times 10^{-4}$



Şekil 4.7. D100 serisine ait gerilme (σ) - birim şekil değişirme (ϵ)



Şekil 4.8. MA50/D50 serisine ait gerilme- birim şekil değişirme



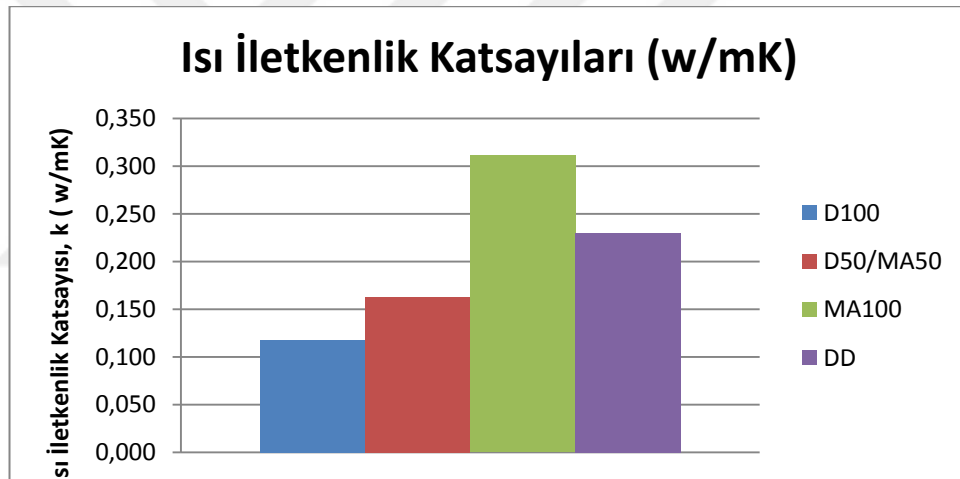
Şekil 4.9. MA100 serisine ait gerilme- birim şekil değişirme

4.3.5. Isı iletkenlik deneyi sonuçları

Her seri için 63 mm çapında 25 mm kalınlığında 1 adet silindir numune, deneye tabi tutulmuştur. 28 günlük sertleşmiş gözenekli hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları (k), Çizelge 4.7 ve Şekil 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları

Seri	Isı iletkenlik katsayıları (w/mK)
DD	0,236
D100	0,118
MA50/D50	0,163
MA100	0,311



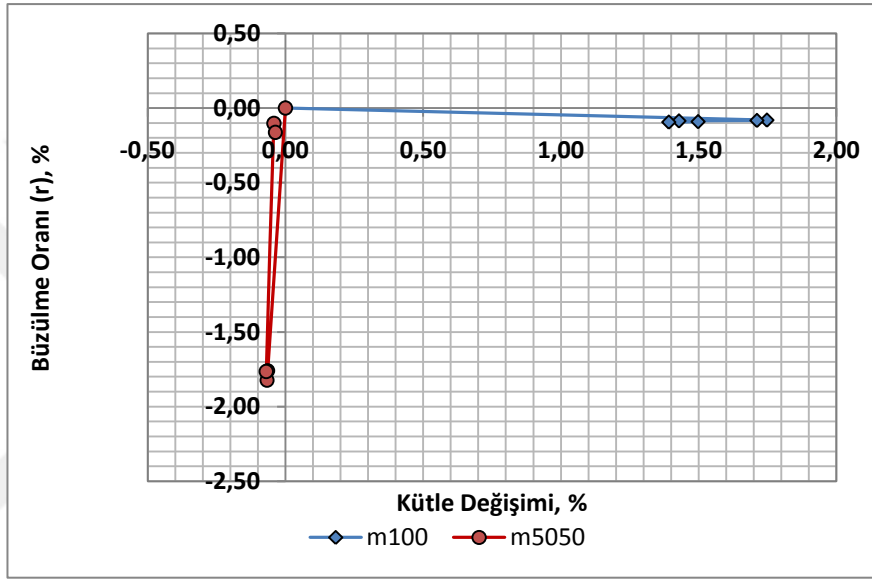
Şekil 4.10. Hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları

4.3.6. Rötre (büzülme) deneyi sonuçları

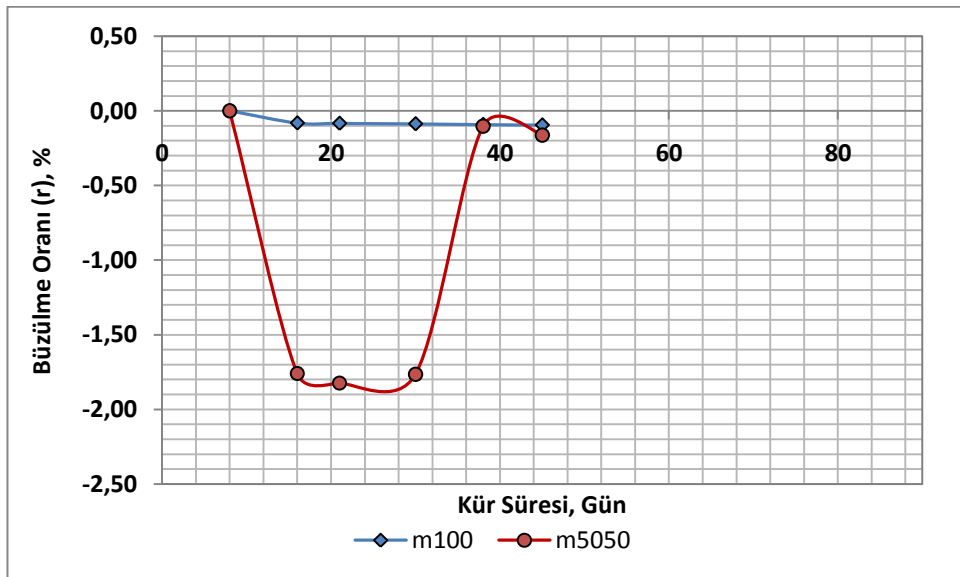
Her seri için 2 adet prizmatik numune, 8., 16., 21., 30., 38., 45. günlerde deneye tabi tutulmuş olup sonuçların ortalaması alınmıştır. 28 günlük sertleşmiş gözenekli köpük beton numunelerinin kür süresine (gün) göre % kütle değişimi (ΔW) ile % büzülme oranı (r) sonuçları, Çizelge 4.8. de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Köpük betonların kür süresine göre % kütle değişimi (ΔW) ve % büzülme oranı (r) sonuçları

m100	ΔW	r	m5050	ΔW	r
8	0,00	0,0000	8	0,00	0,00
16	1,75	-0,0812	16	-0,06	-1,76
21	1,71	-0,0834	21	-0,07	-1,82
30	1,43	-0,0866	30	-0,07	-1,76
38	1,50	-0,0915	38	-0,04	-0,10
45	1,39	-0,0946	45	-0,04	-0,16



Şekil 4.11. Köpük betonların % kütle değişimi büzülme oranı (r) ilişkisi



Şekil 4.12. Hafif betonların kür süresi (gün) büzülme oranı (r) ilişkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Köpük betonların küp numunelerinden elde edilen kuru birim ağırlıkları incelendiğinde; D100 serisindeki numunelerin 667-520 kg/m³ aralığında değişen, M50/D50 serisindeki numunelerin 717-685 kg/m³ aralığında değişen ve M100 serisindeki numuneler için de 869-692 kg/m³ arasında değişen değerler aldığı ve DD serisinin ise 917 kg/m³ olduğu görülmektedir. Agregalar olarak dünit (kromit pasası) içeren M50/D50, D100 ve DD serilerin de, istenildiği gibi düşük birim ağırlıklı hafif beton (300-900 kg/m³) sınıfına girdiği görülmüştür.

Köpük betonda hacim sabitliği, karışıma giren bileşenlerin miktarı ve türü, köpüğün yoğunluğu, karıştırma devri ve süresi, ortam koşulları gibi pek çok faktöre bağlıdır. Köpük betonda hem teorik ve gerçek taze beton yoğunlukları, hem de teorik ve gerçek kuru beton yoğunlukları arasındaki farklılıklar daha yüksektir. Taze beton karışımlarında ptt değerlerine göre, pgt değerlerinde farklılık söz konusudur. Bu farklılık karışımda kullanılan dünitin özgül ağırlığı ve yapısı ile ilgilidir. Karışıma ilave edilen köpüğün bir kısmının patlaması nedeniyle taze betonda hacim kaybı oluşmuştur. Bu durum da ptt değerlerine göre pgt değerleri düşmüştür. Sertleşmiş (28 gün) beton numuneleri ptk değerlerine göre, pgk değerlerinde ortalama azalma D100 serisi için %30 civarındadır. pgk değerlerindeki azalma da katılaşma aşamasında kalıba yerleşmiş taze beton içerisindeki köpüğün bir kısmının daha kararlılığını kaybetmesi ile ilişkilendirilmiştir. Bu MA50/D50 serisinde dünit oranına bağlı aynı değişimi göstermiştir. Bu sebeple köpük miktarını azaltarak, dünit miktarı artırılarak DD100 serisi köpük betonlar sonradan üretilmiştir. Bu seride hedeflenen gerçek yaş ve kuru yoğunluk değerleri tutturulmuştur.

Köpük betonların küp numunelerinden elde edilen basınç dayanımları kıyaslandığında, DD serisindeki numunenin 2,299 MPa, D100 serisindeki numunelerin ortalama 0,123 MPa, M50/D50 serisindeki numunelerin ortalama 0,257 MPa, M100 serisindeki numunelerin de ortalama 0,923 MPa değerlerini

aldığı görülmektedir. Kuru birim ağırlık değerleri ile kıyaslandığında kuru birim hacim değeri yükseldikçe basınç dayanımının arttığı görülmüştür.

Köpük betonların eğilme dayanımları kıyaslandığında, DD serisindeki numunenin 13,79 MPa, D100 serisindeki numunelerin ortalama 0,69 MPa, M50/D50 serisindeki numunelerin ortalama 1,09 MPa, M100 serisindeki numunelerin de ortalama 6,59 MPa değerlerini aldığı görülmektedir.

Köpük betonların elastisite modülleri kıyaslandığında, D100 serisindeki numunelerin ortalama 148 MPa, M50/D50 serisindeki numunelerin ortalama 233 MPa, M100 serisindeki numunelerin de ortalama 1292 MPa değerlerini aldığı görülmektedir. En düşük değerin tamamı Dünit agregalı seriye ait olduğu gözlenmiştir.

Hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları kıyaslandığında, üretilen köpük beton numunelerinin seriler arasında 0,118-0,311 W/mK aralığında değişen değerler aldığı görülmektedir. En düşük değerin 0,118 W/mK D100 serisine, en yüksek değerin 0,311 W/mK ise M100 serisine ait olduğu gözlenmiştir. Köpük betonların rötre değerleri kıyaslandığında M100 serisinde büzülme oranının azalarak devam ettiği (-0,0812/-0,0946) ve M50D50 serisinde ise (-1,76/-0,16) artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir.

Tez kapsamında tüm deneylerden elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; köpük beton üretiminde kullanılan dünit agregası ve mikronize kalker karışım oranları değiştirilerek basınç dayanımı değerlerinin artırılması suretiyle kromit pasası (dünit) ile hafif beton üretilebileceği görülmüştür. Ancak köpük beton üretiminde daha düşük oranda köpük kullanılması gerekmekte bu sayede basınç dayanımı yükselirken ısı iletkenliği değeri yükselmekte olduğu görülmektedir. Yine de dünitin M100 serisi ile kıyaslandığında ısı iletkenliğe önemli bir etkisi olduğu görülmektedir.

Kromit pasasında mevcut olan magnezyum betonlar için tehlikeli olan brusit oluşumuna neden olur. Brusit oluşması ile betonda genleşme ve çatlamlar

meydana getirir. Bu yüzden gerek köpük beton üretilirken karışım oranları ve köpük beton üretildikten sonraki çevre koşulları durabilite açısından önemli ve takip edilmesi gereklidir. Çalışmamızda Şekil 4.12’den de görüleceği gibi dünit agregalı köpük beton bir miktar rötre yapmış daha sonra tekrar normal haline gelmiştir. Bu yüzden dünit kullanılarak üretilcek köpük betonlarda brusit oluşumu takip edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu tez çalışması sonrasında, ülkemizde yaklaşık olarak 1.350.000 ton/yıl, Burdur Ulupınar, Yeşilova, Tefenni ve Çavdır yöresinde 300 bin ton/yıl miktarında açığa çıkan krom atıklarının hafif beton yapımında kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Krom elde edilirken açığa çıkan krom atıklarının kullanılması ile doğada hazır halde bulunan malzemenin değerlendirilme şartları ortaya koyulacak ve atık sahası rehabilitasyonu açısından da alternatif çözüm yaratılmış olarak ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Albayrak, H.F., 1988. Beton Cep Kitabı. DSİ Genel Müdürlüğü, Bayındırlık İskân Bakanlığı, Ankara, 106-118.
- Anonim, 1997. TS EN 932-1, Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler, Kısım 1, Numune Alma Metotları. TSE, Ankara.
- Anonim, 1978. TS 2941, Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini. TSE, Ankara.
- Ay, O., 2014. Krom Zenginleştirme Tesisi Performansının Arttırılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bazant, Z.P., ve Kaplan, M.F., 1996. Concrete at High Temperatures, Longman Group Limited, London.
- Bekaroğlu, M., 2012. Kompozit yapıda pomza agregası içeren köpük betonun özellikleri ve teknik parametrelerinin irdelenmesi (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Chen, B., Liu N., 2013. A novel lightweight concrete-fabrication ant its thermal and mechanical properties, Construction and building materials, 44 (2013).
- Clarke, J.L., 1993. Structural lightweight aggregate concrete, Blackie Academic & Professional, London.
- Çakı, M., 1986. Seramik Boyalar ve Kromit Konsantresinin Seramik Boya Olarak Kullanılma Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Davraz M., Kılınçarslan Ş., Kuru M., 2016. "Investigation the properties of the foam concretes produced with different ratios pumice" ICCESN 2016, Kemer, Antalya
- Davraz, M., Kılınçarslan Ş., Kuru M., 2015. Farklı yoğunluktaki köpük betonların dayanım ve ısı iletkenlik özellikleri, 9. Ulusal beton kongresi, (2015), 93-102.
- Davraz M., Kılınçarslan Ş., 2015. Investigation of Relation of between Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity in the Foam Concrete with Different Density, ICOCEE-Cappadocia 2015, s. 994-998, Nevşehir.
- Ekinci, D., 2013. Türkiye'de köpük beton. Dünya İnşaat Dergisi. <http://www.dunyainsaat.com.tr/dergioku.php?haberid=4224>

- Erdoğan, M., Karabölen, S., ve Ulu, S., 2007. Genleştirilmiş polistrenli hafif beton uygulaması, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, 7. Ulusal Beton Kongresi TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M., Yorgun, S., 2006. Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği. Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, Kibited, 1(2), s. 43-49.
- Karaman, S., 2007. Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif İnşaat Malzemeleri. HR. Ü. Z. Fak. Der., 11 (1/2), s. 63-69.
- Kıdıman, F.B., 2009. Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kodur, V.K.R. ve Sultan, M.A., 2003. "Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, 15:101-107.
- Koru, M., 2017. Köpük Betonun Yoğunluk ve Sıcaklığa Bağlı Isıl İletkenlik Katsayısının Isı Akış Ölçer Yöntemiyle Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, DOI-10.
- Lydon, F.D. ve Baledron R.V., 1986. Some observations on elastic properties of plain concrete, Cement and Concrete Research.
- Mirdalı, N.K., 2007. Krom Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Seramik Malzemelerde Kullanım Olanakları. Doktora Tezi, Ç.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Neville, A. M., 1995. Properties of Concrete. Longman Group, Burnt Mill, Harlowessex Cm 20 2je, England. ISBN: 0-582-23070-5, 844.
- Othuman, M., Azree, M., 2011. Effective thermal conductivity of foamcrete of different densities, Concrete Research Letters, 2 (1) (2011) 181-189.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton). 177-402, İstanbul.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E.K., Ranjani, G., 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement & Concrete composite. Vol. 31, pp. 388-396
- Taşdemir, M.A., 1982. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. Doktora tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- TS 1114, 1986. (Tadil: 1987/10/13). Hafif Agregalar-Beton İçin, Türk Standartları Enstitüsü, 17 s. Ankara.

- TS 825. 2008. Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Urhan, S., 1993. Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, sayı 369, 34-40.
- Uygunoğlu, T., Ünal, O., 2006. Diyatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması. Politeknik Dergisi, 9 (1), s. 65-70.
- Şehitoğlu, B., 1987. Normal ve hafif betonların elastik olmayan davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Weshe, K., 1973. Strenght and deformation behaviour of structural lightweight concrete, National Seminar on Material Science and Technology, Madras.
- Yıldırım, M.Ş., Biçer, Y. ve Yıldız, C., 1993. Yapı malzemesi olarak styropor içeren betonların fiziksel özellikleri üzerine bir çalışma, Isı Bilimi ve Tekniği 9. Ulusal Kongresi, Elazığ.
- Yüce, A.E., Güney, A., ve Önal, G., 2005. Üçköprü Krom Artıklarından Geri Kazanım Atık Alanının Rehabilitasyonu. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs, Ankara
- URL 1. (<http://www.icdacr.com>) Erişim Tarihi: 20.07.2017
- URL 2. (<http://www.organikkopukbeton.com>) Erişim Tarihi: 25.07.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zehra Rüya KAYA
Doğum Yeri ve Yılı : Keçiborlu, 1970
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : Almanca
E-posta : iskan15@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Burdur Lisesi, 1983-1987
Lisans : Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 1987-1992
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, 2015- ...

Mesleki Deneyim

Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü (Burdur)	1998-2006
İl Özel İdaresi (Burdur)	2006-Halen Çalışıyor