

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİŐTİREN KÖPÜK (EPS) İLE
ATIK POLİŐTİREN KÖPÜK GRANÜLLERİN
BETONA KARIŞTIRILMASIYLA ELDE EDİLEN
HAFİF BETONUN KARAKTERİŐTİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Hüsniye ÖZÇELİK

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİŐTİREN KÖPÜK (EPS) İLE ATIK POLİŐTİREN
KÖPÜK GRANÜLLERİN BETONA KARIŞTIRILMASIYLA ELDE EDİLEN
HAFİF BETONUN KARAKTERİŐTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Hüsniye ÖZÇELİK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2013**

Hüsniye ÖZÇELİK tarafından hazırlanan “GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN KÖPÜK (EPS) İLE ATIK POLİSTİREN KÖPÜK GRANÜLLERİN BETONA KARIŞTIRILMASIYLA ELDE EDİLEN HAFİF BETONUN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27./09/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT (AKÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. H.İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)

İmzası


...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hüsniye ÖZÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN KÖPÜK (EPS) İLE ATIK POLİSTİREN
KÖPÜK GRANÜLLERİN BETONA KARIŞTIRILMASIYLA ELDE EDİLEN
HAFİF BETONUN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Hüsniye ÖZÇELİK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

Eylül 2013, 72 sayfa

Bu çalışmada, birçok sektörde (ambalaj, inşaat vb.) kullanılan geliştirilmiş polistiren köpük (EPS) atıkların geri dönüşümü ve granül şeklinde geliştirilmiş polistiren köpüklerin hafif beton üretiminde kullanılabilmesi araştırılmıştır. Hafif beton kum, çimento, su, katkı maddesi ve geliştirilmiş polistiren köpük karıştırıcı ile karıştırılarak üretilmiştir. Hafif betonların üretiminde çimento miktarının (ağırlıkça) % 1, % 1,5 ve % 2 oranında atık EPS polistiren köpük granülleri kullanılmıştır. Elde edilen hafif betonun karakteristik özellikleri basınç, eğilme, su emme ve ısı iletkenlik testleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, hafif betonların birim hacim ağırlık, rötre dayanımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan basınç dayanım testleri sonucunda, en yüksek basınç dayanımı % 1 EPS ilave edilen hafif betonda 6,246 N/mm², en düşük basınç dayanımı % 2 EPS ilave edilen hafif betonda 5,209 N/mm² sağlanmıştır. Eğilme testleri sonuçlarında, en yüksek eğilme dayanımı % 1 EPS oranında üretilen hafif betonda 2,081 N/mm², en düşük eğilme % 2 EPS oranında üretilen hafif betonda dayanımı 1,763 N/mm² değeri ile elde edilmiştir. Su emme testi sonuçlarına göre, % 1 EPS ilave edilen hafif betonların % 2 EPS ilave edilen hafif betonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine su emme testlerinde, atık EPS malzemenin betona ilavesi ile elde edilen hafif betonların normal betona göre su emme oranının daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Isıl iletkenlik deney sonuçlarına göre, en düşük ısıl iletkenlik değeri % 2 atık EPS polistiren ilave edilen hafif betonda 0,3296 W/mK, en yüksek ısıl iletkenlik değeri % 1 atık EPS polistiren katkılı hafif betonda 0,3921 W/mK olarak tespit edilmiştir. EPS polistiren köpük granüllerin katkı oranlarının artması sonucu ısıl iletkenlik değerinin azaldığı, ısı yalıtım değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, atık EPS polistiren katkılı hafif betonların yalıtımlı ve yarı taşıyıcı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Polistiren, EPS (expanded polistiren), strafor (styropor), çimento, hafif beton.

Bilim Kodu : 708.3.029

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CHARACTERIZATION OF EXPANDED POLYSTYRENE FOAM (EPS) AND WASTE POLYSTYRENE FOAM GRANULES EMBEDDED LIGHT CONCRETE

Hüsniye ÖZÇELİK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

September 2013, 72 pages

In this study, wastes which are used expanded polystyrene foam (EPS) in many industries (packaging, construction, etc.) is thought recycle and so expanded polystyrene foams, which is forms granule, is investigated using in lightweight concrete. Lightweight concretes are produced by mixing with a mixer stone, cement, water, additives and expanded polystyrene foam. Lightweight concrete production used of 1%, 1,5% and 2% (by weight concrete) EPS. Lightweight concrete properties were determined by compression, bending, water absorption and thermal conductivity tests. In addition, lightweight concrete were performed unit weight, shrinkage resistance.

As a result of the compressive strength tests, the maximum compressive strength of the lightweight concrete in addition to 1% EPS 6,246 N/mm² and the lowest

compressive strength of lightweight concrete in addition to 2% EPS 5,209 N/mm² is provided. Bending test results, the highest flexural strength lightweight concrete produced by 1% EPS 2,081 N/mm², the lowest flexural strength lightweight concrete produced by 2% EPS 1,763 N/mm² value was obtained. According to the results of the water absorption test, 1% EPS added lightweight concretes is higher than 2% EPS added lightweight concretes. Also, in the water absorption test, the rate of water absorption was concluded that the lightweight concretes which are added waste EPS in concrete is lower than the normal. According to the experimental results of thermal conductivity, low thermal conductivity value of the additional 2% of waste polystyrene EPS lightweight concrete is determined 0,3296 W/mK, the highest thermal conductivity of 1% of the value added lightweight concrete waste polystyrene EPS is determined 0,3921 W/mK. When EPS foam polystyrene granules amount increasing in lightweight concrete, thermal conductivity decreasing and so the thermal insulation value is higher. Finally, lightweight concrete, is added EPS, can be used as semi-carrier.

Key Word : Polystyrene, EPS (expanded polystyrene), styropor, cement, light weight concrete.

Science Code : 708.3.029

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Do. Dr. Halil İbrahim DEMİRĐİ'ye, basınç ve eğilme testlerinin yapım aşamasında yardımlarını esirgemeyen RT Beton elik Malzemeleri Test Laboratuvarı çalıőanlarına, ısıl iletkenlik testleri için yardımcı olan EPSDER Engin YILDIZ'a, deney malzemelerinin tedarik aşamasında yardımlarını esirgemeyen Güç Makine Sanayi Ticaret Ltd. Şti., Sena Yapı Endüstri Mamulleri Sanayi Ticaret Ltd. Şti., Boysan Boya, Draco Yapı Kimyasalları ve İstanbul Teknik Ltd. Şti. firmalarına teőekkürlerimi sunarım.

KBÜ-BAP-11/2-YL-015 No'lu Proje ile bu tez çalıőmasını maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bana güven duyan sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. POLİSTİREN KÖPÜK MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ.....	8
2.1.1. Ekstrüde Polistiren Malzemeler (XPS).....	8
2.1.2. Genleştirilmiş Polistiren Malzemeler (GPK / EPS).....	10
2.2. BETON VE ÖZELLİKLERİ.....	12
2.2.1. Beton.....	12
2.2.2. Betonların Sınıflandırılması.....	13
2.3. AGREGALAR VE ÖZELLİKLERİ.....	15
2.3.1. Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar.....	15
2.3.2. Tane Boyutlarına Göre Agregalar.....	15
2.3.3. Tane Şekline Göre Agregalar.....	16
2.4. BETONA İLAVE EDİLEN KATKI MADDELERİ VE ETKİLERİ.....	16
2.4.1. Akışkanlaştırıcı Katkılar.....	17
2.4.2. Su Geçirimsizlik Sağlayıcı Katkılar.....	17

	<u>Sayfa</u>
2.4.3. Su Azaltıcı Katkılar.....	17
2.4.4. Priz Geciktirici Katkılar	17
2.4.5. Priz Hızlandırıcı Katkılar	18
2.4.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri	18
2.5. HAFİF BETON VE ÖZELLİKLERİ	18
2.5.1. Hafif Beton	18
2.5.2. Hafif Beton Özellikleri.....	20
BÖLÜM 3	23
MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER.....	23
3.1.1. Çimento	23
3.1.2. Agregası (Kum).....	25
3.1.3. Atık Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS).....	26
3.1.4. Su	28
3.1.5. Kimyasal Katkılar	29
3.1.5.1. Bağlayıcı	30
3.1.5.2. Köpük Yapıcı (Foamcrete).....	31
3.1.5.3. Fibercon Elyaf.....	32
3.2. YÖNTEM.....	33
3.2.1. Atık EPS İlave Edilen Hafif Beton Karışımların Hazırlanması	34
3.2.2. Atık EPS İlaveli Hafif Betonların Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi.....	41
3.2.2.1. Su Emme Oranı	42
3.2.2.2. Rötrey Tayini.....	43
3.2.2.3. Basınç Dayanımı.....	43
3.2.2.4. Eğilme Dayanımı.....	47
3.2.2.5. Isıl İletkenlik.....	49
BÖLÜM 4	51
BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	51
4.1. SU EMME ORANI TESTİ.....	51
4.2. RÖTRE TAYİNİ TESTİ.....	54

	<u>Sayfa</u>
4.3. BASINÇ DAYANIMI TESTİ.....	56
4.4. EĞİLME DAYANIMI TESTİ.....	58
4.5. ISIL İLETKENLİK TESTİ.....	60
4.6. EKONOMİK KARŞILAŞTIRMA.....	62
BÖLÜM 5	63
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.1. SONUÇLAR.....	63
5.2. ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ekstrüde polistiren köpük (XPS) malzemesi	9
Şekil 2.2. Stiren monomerlerinin bir araya gelmesiyle oluşan polistiren	10
Şekil 2.3. Genleştirilmiş polistiren köpük malzemelerin Dünyadaki kullanım alanları ve oranları (209 000 ton)	12
Şekil 2.4. Hafif betonların sınıflandırılması	20
Şekil 3.1. Kraft kağıt torbalarda Porland çimentosu.....	24
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan ırmak kumu.	26
Şekil 3.3. Polistiren köpük granülü.	27
Şekil 3.4. Kullanılan kimyasal katkıların katkı oranları ve resimleri.	30
Şekil 3.5. Hafif betonda kullanılan bağlayıcı katkısı.....	31
Şekil 3.6. Hafif betonda kullanılan köpük yapıcı katkısı.....	32
Şekil 3.7. Hafif betonda kullanılan bağlayıcı katkısı.....	33
Şekil 3.8. Numune kalıp ölçüleri	34
Şekil 3.9. Atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların döküldüğü numune kalıp resimleri.	35
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan tartım ve ölçüm cihazları.	36
Şekil 3.11. Atık EPS ilaveli hafif betonun üretim aşamaları	37
Şekil 3.12. Su dolu kapta kürlenme süresini bekleyen deney numuneleri.	42
Şekil 3.13. % 1 oranında EPS katılan hafif beton numunenin 7. gün su emme ve rötre ölçümü.	43
Şekil 3.14. Silindir ve küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri	44
Şekil 3.15. Silindir ve küp numunelerin tatmin edici olmayan kırılma şekilleri	45
Şekil 3.19. Deney numunesi yükleme düzeneği	48
Şekil 4.1. Sertleşmiş hafif betonların fırın kuru birim ağırlıklarına ait grafik.	52
Şekil 4.2. Sertleşmiş hafif betonun 7-14-28 günlük ortalama su emme oranına ait grafik.	53
Şekil 4.3. Sertleşmiş hafif betonun ortalama su emme oranına ait grafik.	54
Şekil 4.4. Sertleşmiş hafif betonun 7-14-28 günlük rötre ölçüm değerlerine ait grafik.	55

Sayfa

Şekil 4.5. Sertleşmiş hafif betonların ortalama rötre ölçüm değerlerine ait grafik.	56
Şekil 4.6. Sertleşmiş hafif betonların 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik.	57
Şekil 4.7. Basınç dayanımı testi sonrası Karışım 1 numunesinde oluşan kırılmalar.	58
Şekil 4.8. Sertleşmiş hafif betonların 28 günlük ortalama eğilme dayanımı değerleri ait grafik.	59
Şekil 4.9. Sertleşmiş hafif betonların ısı iletkenlik test sonuçlarına ait grafik.	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. XPS ve EPS malzemelerinin karşılaştırması.	9
Çizelge 2.2. Karakteristik basınç dayanımına göre beton sınıfları.	14
Çizelge 2.3. Birim ağırlık ve mukavemet dayanımına göre hafif beton sınıfları.	19
Çizelge 2.4. Birim ağırlık ve mukavemet dayanımına göre hafif beton çeşitleri.	20
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin kodlaması.	23
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel özellikleri.	25
Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri.	25
Çizelge 3.4. EPS teknik özellikleri.	28
Çizelge 3.5. Şebeke suyu analiz raporu.	29
Çizelge 3.6. Bağlayıcı malzemesine ait teknik özellikler.	31
Çizelge 3.7. Köpük kesici malzemesine ait teknik özellikler.	32
Çizelge 3.8. Fibercon PP6 malzemesine ait teknik özellikler.	33
Çizelge 3.9. Farklı oranlarda atık EPS takviyeli hafif betonu üretimi öncesinde çalışmada kullanılan malzeme miktarları.	37
Çizelge 3.10. Atık EPS ilaveli hafif beton karışımlardan hazırlanan numunelere uygulanan testler ve numune sayıları.	41
Çizelge 3.11. Farklı yapı malzemelerine ait ısı iletkenlik değerleri.	50
Çizelge 4.1. Numunelerin kodlanması.	51
Çizelge 4.2. Su emme oranlarının belirlenmesi deneyinde kullanılan numunelerin fırın kuru birim ağırlıkları.	52
Çizelge 4.3. Sertleşmiş hafif beton su emme oranları (%).	53
Çizelge 4.4. Su emme oranlarının belirlenmesi deneyinde kullanılan numunelerin 7-14 ve 28 günlük rötre ölçüm sonuçları (mm).	55
Çizelge 4.5. Sertleşmiş hafif betonun basınç dayanımı sonuçları (N/mm ²).	57
Çizelge 4.6. Sertleşmiş betonun eğilme dayanımı sonuçları (N/mm ²).	59
Çizelge 4.7. % 1 Atık EPS ilaveli Karışım 1 deney numunesinin ısı iletkenlik test.	60

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.8. % 1,5 Atık EPS ilaveli Karışım 2 deney numunesinin ısı iletkenlik test.....	60
Çizelge 4.9. % 2 Atık EPS ilaveli Karışım 3 deney numunesinin ısı iletkenlik test.....	61
Çizelge 4.10. Hafif betonun diğ er yapı malzemeleriyle ekonomik karşı laştırması.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

V	: birim hacim ağırlığı (m^3/kg)
N	: Newton
MPa	: Megapaskal
λ	: ısı iletkenlik değeri (W/mK)
W	: watt
f_c	: basınç dayanımı (N/mm^2)
f_e	: eğilme dayanımı (N/mm^2)
$^{\circ}C$: The Degree of Celsius
S/Ç	: Su – Çimento oranı
w_a	: su emme oranı
M	: kütle (kg)
F	: kuvvet (N)
A	: alan (mm^2)
Q	: ısıtıcı gücü (W)
l	: numune kalınlığı (m)
ΔT	: sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)

KISALTMALAR

- EN : Avrupa Normu (European Norm)
TS : Türk Standartları
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
EPS : Expanded Polistiren Köpük (Genleştirilmiş Polistiren Köpük)
GPK : Genleştirilmiş Polistiren Köpük
XPS : Ekstrüde Polistiren Köpük
PÇ : Portland Çimentosu
PS : Polistiren
S/Ç : Su / Çimento oranı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayileşmenin ve sosyal yaşam koşullarının sürekli ileriye gittiği günümüzde, bu gelişmelerin beraberinde getirdiği çevre kirliliği ülkelerin gündeminde ilk sıralarda yer almaya başlamıştır. Teknolojilerin yanlış kullanımı, bilinçsizlik, doğa sevgisinden yoksunluk ve çevre sağlığının öneminin anlaşılabilmesi, çevre kirliliğinin artışı daha da hızlandırmaktadır.

Çevre kirliliğinde özellikle katı atıklar önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda kamuoyunun da dikkatini büyük ölçüde çekmeye başlayan katı atıklar problemi birçok ülkede kriz noktasına ulaşmış ve başta endüstrileşmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülkede bu atıkların oluşturduğu çevre kirliliğini önlemenin yanında geri kazanarak ekonomiye katkı sağlanması da sıkça düşünölmeye başlanmıştır [1].

Doğal kaynaklar, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu amaçla malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların verimli olarak kullanılması gerekmektedir. Ormanlar, su, petrol vb. doğal kaynakların üretim sürecinde kullanılması sonucu, cam, metal, plastik ve kâğıt / karton ambalajlar elde edilmektedir. Piyasaya sürölen ambalajların atık haline geldikten sonra, türlerine göre ayrılıp geri dönüşüm sanayine sevk edilmesi sonucu, geri dönüştürölmüş malzemeler çeşitli ürünlerin üretim aşamasında ikincil hammadde olarak kullanılmaktadır. Böylece doğal kaynakların daha az kullanılarak, doğaya katkısı sağlanmış olmaktadır.

Geri dönüşümün uygulanması ile çöplere giden atık miktarında azalma sağlanarak bu atıkların taşınması ve depolanması işlemleri için daha az miktarda alan ve enerji kullanılmış olur. Evsel atıkların yaklaşık yoğunluğu 0,6 kg/m³ iken, ambalaj

atıklarının yoğunluğunun yaklaşık 0,3 kg/m³ olduğu görülmektedir. Evsel atıklar için bu azalma ağırlık olarak fazla olmamakla birlikte, hacimsel olarak bakıldığında oldukça önemli bir oran teşkil etmektedir. Yapılan toplama operasyonlarında evsel atıklar yaklaşık % 75-80 oranında sıkıştırılabilirken, ambalaj atıklarında bu oranın yaklaşık % 25 olduğu tespit edilmiştir [2].

Çok büyük miktarlarda kullanılan plastik malzemeler kullanım sonrası çevreye atılarak çevre kirliliğine ve kaynakların azalmasına sebep olmaktadır. Hem bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak hem de ekonomiye katkıda bulunmak için dünyadaki birçok ülkede ve Türkiye’de yaklaşık 30 yıldır geri dönüşüm çalışmaları yapılmaktadır. Plastik atıkların geri dönüştürülmesinin iki ana hedefi vardır. Bunlar geri kazanma yoluyla çevre kirliliğinin en aza indirilmesi ve yeni kaynakların oluşturulmasıdır. Atıkların geri kazanma oranı arttıkça doğal kaynaklara olan talep azalır. Böylece doğal kaynakların korunması sağlanırken, enerji kaynaklarının hızlı tüketilmesi önlenmiş olur. Çöp toplama ve imha maliyeti düşerken, hammadde ithal eden ülkelerin dışa bağımlılığı giderek azalır [3].

Polistiren köpük malzemeler, inşaat, endüstriyel ve tüketici uygulamalarında ısı yalıtımı, çevreye duyarlılığı, şekillendirilebilirlik, maliyet ve en önemlisi geri dönüşümü gibi üstün özelliklerinden dolayı günlük hayatta oldukça büyük yer almaktadır.

Polistiren (EPS)’in, çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi geri kazanımı ile ilgili çalışmaların desteklenmesine ve artmasına sebep olmaktadır. EPS, yalıtım sistemlerinde önemli ölçüde enerji tüketimi ve kirliliğini azaltmaktadır. Geri dönüşümünün mümkün olması, çöplere giden atık miktarında azalma sağlamaktadır. İnşaat sektöründe ise EPS kullanılmasının sebeplerinden bir diğeri beton ile tepkimeye girmeden kararlı olarak kalmasıdır.

Beton; dünyada sudan sonra en çok kullanılan malzemedir. Bileşenlerinin doğada bol olması, ekonomikliği, dayanımının yüksek olması, işlenebilirliğinin kolay olması, yangına karşı direnci, yapıların inşasına olanak sağlaması gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen yapı elemanıdır.

Hafif beton; çimento, su, hafif agrega ve özel katkıların birleşiminden oluşur. Hafif beton, ısı ve ses yalıtım özelliği, yangına dayanımı, kolay işlenmesi, ekonomik olması, üretiminin kolay olması gibi avantajlarının olması nedeniyle tuğla, briket gibi duvar malzemeleri yerine kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, hazırlanan beton karışımına atık ve genleştirilmiş polistiren köpük granüllerini kullanarak elde edilen hafif betonun karakteristik özelliklerinin belirlenip; normal betona göre daha ekonomik, çevre dostu, hafif ve ısı yalıtımı bakımından olumlu özelliklere sahip hafif beton üretilmesi amaçlanmıştır. Çevreye atılan atık malzemelerin geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin önüne geçilip, hem atık malzemenin kullanımı hem de ekonomiye katkısı sağlanacaktır. Farklı oranlarda atık ve genleştirilmiş polistiren köpük granülleri ilave edilerek elde edilen hafif betonun karakteristik özelliklerini incelemek amacıyla birim ağırlık tayini, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde; çevre kirliliği, geri dönüşümün önemi, dünyada ve ülkemizde yaşanan atıkların oluşturduğu çevre kirliliğinin geri dönüşüme katkılarına değinilmiştir.

İkinci bölümde; literatür araştırması yapılarak bugüne kadar hafif beton üzerine yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Genel olarak polistiren köpük malzemeler, beton ve beton çeşitleri, hafif beton, agregalar, katkı maddeleri ile ilgili çalışmaya yardımcı olacak bilgiler araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde; çalışmada kullanılan materyaller ve özellikleri, hafif beton üretimi sırasındaki aşamalar ve çalışmada yapılacak deneyler ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Dördüncü bölümde; deney sonucu elde edilen bulgular yer almaktadır.

Beşinci bölüm; çalışmanın son bölümü olup, bu bölümde genel bir değerlendirme ile sonuçlardan bahsedilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son otuz yıl içinde, hafif beton kullanımı birçok sanayi ülkesinde özellikle; Belçika, Hollanda, Almanya, İngiltere, A.B.D. ve Japonya'da çok hızlı bir şekilde artmıştır. Söz konusu ve diğer sanayi ülkelerinde hafif betonla inşa edilmiş birçok yapı mevcuttur [4].

Yapılan literatür araştırması sonucu, ambalaj sanayisinde atık madde olarak açığa çıkan styropor parçalarının hafif beton üretiminde kullanıldığı ve konu ile ilgili çeşitli çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür.

Babu yapmış olduğu çalışmada, silis dumanı içeren genişletilmiş köpüklü (EPS) hafif betonların davranışlarını incelemiştir [5]. Babu vd. yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise, uçucu kül içeren EPS agregalı betonların özelliklerini incelemiştir [6]. Babu vd. bir başka çalışma ile, hafif betonun nem hareketi ve dayanımında EPS agregasının boyut etkisini incelemişlerdir [7]. Chen ve Liu yapmış oldukları çalışmada, çelik fiber takviyeli EPS'li hafif betonların özelliklerini incelemişlerdir [8]. Miled vd. EPS içeren betonların basınç altında hasar mekanizmasını ve boyut etkisini incelemişlerdir [9].

Laukaitis vd. yapmış oldukları çalışma ile, çimento kompozit özelliklerine polistiren köpük tanelerinin etkisini belirlemişlerdir [10]. Chen ve Liu yaptıkları çalışmada, EPS içeren hafif betonlarda polimerik katkı olarak styrene-butadiene rubber lateksini kullanmış ve elde ettikleri betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır [11]. Keleştemur ve Yıldız yaptıkları çalışma ile, styropor katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkisini incelemişlerdir [12]. Keleştemur ve Yıldız bir başka çalışmalarında, silis dumanı ilavesinin styropor katkılı betonlardaki donatı korozyonuna etkisini belirlemişlerdir [13].

Yıldız vd. beton karışımına styropor ilave edilerek elde edilen hafif betonun fiziksel özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırma yapılan numuneler, katkısız ağırlığından % 10-% 20-% 30 ve % 40 oranlarında azalma oluşturacak miktarlarda styropor ilave edilerek hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde; donma-çözülme dayanımı, su emme, boşluk oranı ve birim ağırlık oranının belirlenmesi üzerine fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Numunelerdeki styropor oranının artması ile malzemenin birim ağırlığında azalma, su emme ve boşluk oranında artış olduğunu, donma-çözülmede ise numunelerde çatlamlar ve az miktarda parçalanmalar olduğunu gözlemlemişlerdir [14].

Yıldız vd. bir başka çalışmalarında, ambalaj sanayisinde atık madde olarak açığa çıkan styropor parçalarının granül hale getirilip beton üretiminde kullanılarak elde edilen hafif betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilmede çekme dayanımı ve sürtünme yoluyla aşınma kaybı gibi karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Beton numunelerdeki styropor ilavesinin artması ile basınç dayanımlarında düşüş meydana geldiğini saptamışlardır [15].

Gündüz, yapılarda mantolama ve diğer alanlarda kullanılan polistirenin geri kazanımı temel alınarak, atık haldeki polistirenin granül hale getirilmesi ve hafif beton üretiminde hafif agrega olarak kullanılabilmesini araştırmıştır. Çalışmada % 1,5-% 2 % 2,5-% 3 ve % 3,5 oranlarında polistiren katılarak beton numuneleri üretilmiştir. Basınç dayanımı için 15x15x15 cm küp numuneler ve ısı iletkenlik analizi için 50x50x5 cm plaka numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenip, basınç dayanımı en düşük 3,80 MPa, en yüksek 9 MPa; ısı iletkenlik analizi ise 0,2807-0,3955 W/mK aralığında bulunmuştur. % 1,5 ve % 2 oranlarında üretilen betonların yarı taşıyıcı özellikteki yapı elemanlarında kullanılabileceğini, % 2,5 - % 3 ve % 3,5 oranlarında üretilen betonların ise ısı yalıtım amaçlı kullanılabileceğini saptamıştır [16].

Taşdemir, strafor ve ponza taşı hafif agregaları ile değişik birim ağırlıklarda üretilen hafif betonların mekanik özelliklerini değerlendirmiştir. Birim ağırlığı 900-1300 kg/m³ aralığında olan ponza taşı hafif agregalı hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı arasında lineer bağıntıların olduğu sonucuna varılmıştır [17].

İlgün, pomza hafif agregasından elde edilen betonlar ve bu betondan imal edilmiş betonarme kirişlerin dayanım ve davranışını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Hafif betondan imal edilen kirişlerin emniyetle taşıyıcı kiriş olarak kullanılabileceğini görmüştür [18].

Öztok, Kayseri yöresinde bulunan pomza hafif agregalarının yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı beton üretimindeki uygunluğunu araştırmıştır. Hafif beton yapımında kullanılan kum, bims, çimento, silis dumanı, uçucu kül gibi malzemelerin, beton üzerindeki etkilerini görebilmek için farklı miktarlarda kullanmıştır. Yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı betonların en yüksek basınç dayanımını 43,2 MPa ve 47,8 MPa elde etmiştir [19].

Boratav, araştırmasında, volkanik tüf taşı kullanmış, yüksek dayanımlı hafif beton üretimi için çeşitli deneysel araştırmalar yapmıştır. İlk aşamasında çimento dozajı, silis duman miktarı, maksimum agrega çapı, kum miktarı, kaba-ince agrega oranları değişken parametreler olarak seçmiş ve en uygun karışımları saptamıştır. İkinci aşamadaki karışımlarda ise değişken olanlarda çelik lif kullanmış ve bununla beton kırılma dayanımının azaltılmasını sağlamıştır. Kullanılan liflerin, kuru birim ağırlığı önemli ölçüde arttırmadığını görmüş, ancak plastik ve rötre deneylerinde özellikle çelik lifin olumlu yönde katkısı olduğunu saptamıştır. Elastik modül değerlerinin normal betonunkinden daha az olduğunu saptamıştır [20].

Katkıda vd. yüksek mukavemetli hafif betona silis dumanının çekme, basma ve eğilme dayanımlarını incelemiştir. Su-bağlayıcı oranları sabit tutularak silis dumanı farklı oranlarda çimento ile karıştırılarak birçok karışım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Su-bağlayıcı oranı 0,26 ile 0,42 aralığı için % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranında silis dumanı eklenmiştir. Bütün karışımların 28 günlük çekme, basma ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Deneyler sonucunda; su-çimento esaslı malzeme oranına bağlı olarak silis dumanının eklenmesiyle çekme, basma ve eğilme dayanımlarının arttığı görülmüştür ama optimum değiştirme yüzdesi sabit değildir. Bu sonuçlara dayanarak, beton ile silis dumanı arasında bir ilişki kurarak çekme, basma ve eğilme dayanımları istatistiksel yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir [21].

Şatır, taşıyıcı hafif betonlarda çelik lif kullanmanın betonun özelliklerine etkisini araştırmıştır. Hafif betonlara çelik lif ilavesiyle bu malzemenin taşıyıcı amaçlı kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen beton numunelerde çelik lifin ağırlıkça yüzdesi değiştirilmiştir. Elde ettiği standart silindir ve prizma beton numuneler üzerinde basınç, yarma, eğilme deneyleri yapmıştır. Elde ettiği sonuçlar ile şahit beton numunelerin deney sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çelik lif ilavesiyle basınç ve çekme dayanımlarında önemli ölçüde artış kaydederek çelik lifli hafif betonun normal betonun mukavemetine ulaştığını saptamıştır [22].

Özel vd. betonda fiber katkı olarak polietilen tereftalatın (PET) kullanılabilirliğini üzerinde çalışmışlardır. Su/çimento oranının (0,55) sabit tutulduğu ve iki farklı çimento tipi (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R) kullanılarak hazırlanmış karışımlara polipropilen fiberlere (PPF) alternatif olarak endüstriyel atık olan PET'lerin betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmada PET üç farklı oranda (300, 600, 900 gr/m³) kullanılırken PPF önerilen en büyük değer olan 600 gr/m³ olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre PET kullanım miktarına bağlı olarak betonun mekanik ve fiziksel performansını düşürdüğü, fakat piyasada kullanılan PPF'lere göre alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür [23].

Şahin vd., doğal hafif agregaya PVC (Polivinil klorür) atıklarının değişen oranlarda ilave edilmesiyle üretilen hafif betonların bazı özelliklerini incelemiş, birim hacim ağırlığı düşük, basınç dayanımı yeterli düzeyde ve su emme miktarı az olan yapı malzemesinin üretilmesini amaçlamıştır. Yapılan deneyler sonucunda üretilen hafif malzemenin birim hacim ağırlığı 760-883 kg/m³, basınç dayanımı 21,4-37,7 kgf/cm² ve su emme değerleri ise % 23,4-32,3 arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Atık PVC agregasının 200-250 kg/m³ çimento dozajıyla düşük ve orta dayanımlı yalıtım ve dolgu betonu üretimi için uygun olduğunu belirlemiştir [24].

Ganesh Babu ve Saradhi Babu, çalışmalarında, polimerle modifiye edilmiş dayanımı yüksek hafif agregalı betonun mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Brezilya'da imal edilen styren-bütadien kauçukla modifiye edilmiş hafif agregalı betonların fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Hafif agregalı betonda SBR lateks içeriği, su/(çimento+

silis dumanı) oranı ve su emme oranını düşürdüğü, şiddetli gerilme ve eğilmede çekme dayanımlarının arttırdığını görmüşlerdir [25].

Gürer vd., inşaat endüstrisinde farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilerek yeni bir hammadde kaynağı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak, sıva ve çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayisinde çeşitli şekillerde kullanılabileceğini, kırık mermer plakları, karosiman yapımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir [26].

2.1. POLİSTİREN KÖPÜK MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

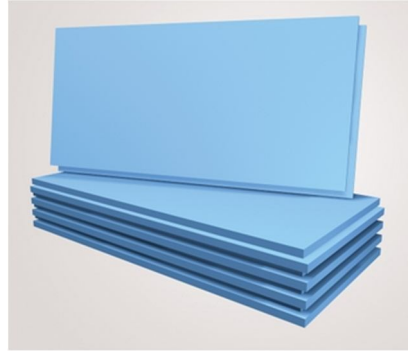
Köpük plastikler çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılan plastik köpük, hücreli köpük ve genişletilmiş köpük, yapı köpükleri, süngerler, şişirilmiş köpük ve mikro hücreli köpükler gibi hücreli yapıya genişletilmiş malzemelerdir. Köpükler esnek, yarı rijit (sert) veya rijit olabilirler. Geniş yoğunluk aralığına 1,6-960 kg/m³ sahiptirler. Levha, blok, film ve farklı şekillerde elde edilebilmesi diğer önemli tercih sebebidir.

Köpükler sıvı plastik formuna ek olarak dolgu malzemesi, yanmaya karşı geciktirici katkı maddeleri, katalizörler vb. katkı malzemeleri kullanılarak şekillendirilmektedir. En popüler kullanılan ekstrüde polistiren köpük malzeme, genişletilmiş polistiren köpük malzemedir [27]. Özellikle polistiren köpük malzemelerin kullanım alanlarının genişliği ve geri dönüşüm imkânının olması bu malzeme grubunu ön plana çıkartmaktadır. Günlük hayatımızda gıdaların sağlıklı paketlenmesi ve korunmasında, tarım alanında, cihazların korunmasında, yalıtkan, elektrik teknolojisinde kullanılmaktadır. Geri dönüşümü ise kullanım alanlarının fazla olmasından dolayı maliyet, enerji ve verimliliği düşünülerek desteklenmektedir [28].

2.1.1. Ekstrüde Polistiren Malzemeler (XPS)

Homojen hücre yapısına sahip, ısı yalıtımı yapmak amacıyla üretilen ve kullanılan köpük malzemelerdir. XPS hammaddesi polistireni bir şişirme ajanı yardımı ile

sürekli bir ekstrüzyon işlemi vasıtasıyla sabit basınç altında köpük halinde üretilir. Kapalı hücre yapısına sahip levha haline getirilmiş ürün kullanım yerine uygun olarak yüzey işlemlerine tabi tutulur. Üretimi sırasında işlem parametrelerinin varyasyonu ile çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılamak üzere XPS ürün özelliklerinin değişikliğine izin verir. Köpük yoğunluğu (20-50 kg/m³) ile basınç mukavemeti değerleri (100-500 kPa) elde edilebilir. Isı iletkenlik hesap değeri 0,030-0,035-0,040 gruplarında üretilir [29].



Şekil 2.1. Ekstrüde polistiren köpük (XPS) malzemesi [29].

Çizelge 2.1’de Standartlar bazında XPS ve EPS Malzemelerinin bir karşılaştırması yapılmıştır.

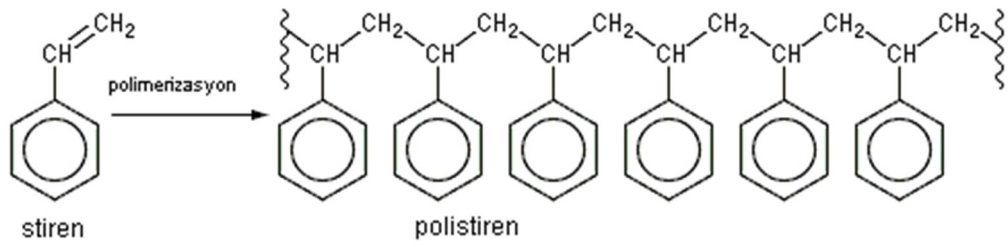
Çizelge 2.1. XPS ve EPS malzemelerinin karşılaştırması [29].

	XPS	EPS
SU EMME DEĞERLERİ		
Tam Daldırma ile uzun süreli su emme EN 12087 (Wlt)	% ≤ 0,7-3	% ≤ 1- 5
Difüzyon ile uzun süreli su emme EN 12088 (Wdv)	% ≤ 0,5-5	% ≤ 3-5
Donma-Çözülme döngüsünde su emme EN 12091 (Wv)	% ≤ 1-2	
YOĞUNLUK (kg/m ³) TS 825	25-30	15-30
ISI İLETKENLİK DEĞERLERİ (λ) TS 825 (W/mK)	0,030-0,035-0,040	0,035-0,045
BUHAR DİFÜZYON DİRENCİ (μ)	80-250	20-100
BASMA DAYANIMI (kPa) EN 826	100-1000	30-500
YÜZEYLERE DİK ÇEKME DAYANIMI (kPa) EN 1607	100-900	20-400

2.1.2. Genleştirilmiş Polistiren Malzemeler (GPK / EPS)

Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS-Expanded Polystyren Foam), stiren monomerin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen, köpük haldeki kapalı gözenekli tipik olarak beyaz renkli bir termoplastik malzemedir [30].

Şekil 2.2’de stiren monomerlerinin bir araya gelmesiyle oluşan polistiren zincir parçası gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Stiren monomerlerinin bir araya gelmesiyle oluşan polistiren [31].

Polistiren, birçok stiren monomerinin bir araya gelmesinden oluşan stiren polimerizasyonu sonucu elde edilir [30]. Stiren, 145 °C’de kaynayan ve bu sıcaklıkta hızla polimerleşen bir sıvıdır.

Polistiren zinciri 750 ile 1300 monomer biriminden meydana gelen, 100 °C’nin altında şeffaf ve katı, 100 °C’nin üzerinde yumuşayıp akışkan hale dönüşen ve kolayca kalıplanıp şekillendirilebilen bir plastiktir [32].

Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz ‘Pentan’dır. Organik bir bileşen olan pentan, tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağladıktan sonra, üretim sırasında ve üretimi takiben çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Açığa çıkan pentan gazı atmosferde bulunan CO₂ ve su buharına H₂O’ya dönüşür. Pentanın açığa çıkmasıyla, malzemenin bünyesinde bulunan çok sayıdaki (yoğunluğa bağlı olarak 1 m³ EPS’de 3-6 milyar) küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin % 98’i hareketsiz havadır; % 2’si ise polistirendir.

Malzeme, küçük tanecikler halinde hammadde olarak temin edildikten sonra ön şişirme işleminden geçer. Bu sırada taneciklerin içindeki pentan gazı ile hava yer değiştirir ve malzemenin istenilen yoğunluğu bu aşamada büyük ölçüde sağlanır. Daha sonra özel silolarda dinlendirilen genişletilmiş taneciklerin kalıp içerisinde su buharı yardımı ile birbirleriyle kaynaşması ve malzemenin özelliklerini kazanması sağlanır. Tanelerin birbiri ile kaynaşması sonucunda bal peteği görünümünde, arada boşluk kalmadan birbiri ile kaynaşmış çokgenlerin oluşturduğu sürekli bir kütle meydana gelir. Daha sonraki üretim adımları ise malzemenin kullanım sahasına (ısı yalıtım amaçlı veya ambalaj malzemesi olarak) göre değişiklik gösterir.

EPS'nin üstün ısı yalıtım özellikleri çok sayıdaki taneciklerinin bünyesinde bulundurduğu durgun hava sayesinde. Dünyada mevcut en iyi ısı yalıtımı sağlayan birkaç malzemedeki biri olan EPS, aynı performansı, ülkemizde kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinden daha ekonomik olarak sağlayan tek malzemedir.

Malzeme, esnek olan yapısı, darbe emiş özelliği ve mekanik dayanıklılığı sayesinde de birçok ürünün koruma amaçlı ambalajlanmasında kullanılır ve ambalajlanan ürünlerin hasar görmelerini engeller. Ayrıca, hem ısı yalıtım özelliği hem de koruma özelliği sayesinde EPS'in özel tipleri gıda malzemelerinin de ambalajlanmasında kullanılır.

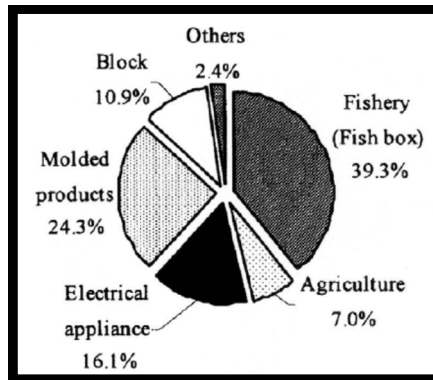
Etkin mekanik dayanımın yanında şişirici gazın çok kısa sürede hava ile yer değiştirmesi, ürünün performansının kullanım ömrü boyunca sabit kalmasını sağlar. Kalınlığı azalmaz, ısı iletkenliği artmaz, mekanik özellikleri değişmez ve diğer özelliklerinde de zamanla hiçbir bozulma meydana gelmez.

EPS, kullanım sahasına göre istenilen yoğunluklarda üretilir. Özellikleri yoğunlukla istenilen yönde değiştirilebildiğinden malzeme israfına ve gereksiz maliyet artışlarına sebep olmaz. Isı yalıtım amacıyla genellikle 15-30 kg/m³ yoğunluklarda; ambalaj malzemesi olarak kullanım amacıyla da 20-100 kg/m³ yoğunluklarda üretilmektedir. Bitmiş ürün olarak EPS, hafiflik, kolay işlenebilirlik ve diğer malzemeler ile kompozit ürünlerin imalatında kullanılabilirlik gibi özelliklere de sahiptir.

Bütün bu özelliklerinin yanı sıra EPS, % 100 geri dönüşümlü bir malzeme olması ve bünyesinde bulundurduğu malzemelerin atmosfere ve ozon tabakasına zarar vermemesinden ötürü çevre dostu bir malzemedir. Ayrıca EPS gıda maddelerinin ambalajlarında kullanılan ve insan sağlığına zararlı olmayan bir üründür.

EPS ürünler, levha, boru veya önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayisinde yoğun bir şekilde kullanılırlar. EPS ürünlerin ayrıca, binalarda duvar malzemesi olarak kullanımından, soğuk hava depolarının yalıtımına, soğuk bölgelerdeki karayolu yapımına kadar birçok yerde tercih edilir. Hafifliğin, dayanımın, kolay şekil verebilmenin, kolay uygulayabilmenin ve düşük ısı iletkenliğinin olmasından dolayı kullanım sahası çok geniştir.

Şekil 2.3'te 2000 yılında dünyada kullanılan polistiren köpük malzemelerin (209 000 ton) kullanım alanlarını ve oranları gösterilmektedir [30].



Şekil 2.3. Genleştirilmiş polistiren köpük malzemelerin Dünyadaki kullanım alanları ve oranları (209 000 ton) [30].

2.2. BETON VE ÖZELLİKLERİ

2.2.1. Beton

Beton, uzun yıllardan beri inşaat sektöründe en önemli yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Beton hammaddesinin doğada bol miktarda bulunması, kolayca

istenilen şekli alabilmesi, uzun yıllar hizmet vermesi, dayanıklılık ve ekonomik olarak çok uygun malzeme olması açısından vazgeçilmez bir yapı malzemesidir [33].

Betonu oluşturan bileşenlerinin doğada bol miktarda bulunması ve ekonomik olmasından dolayı kullanımı yüksektir. Dayanımı ve dayanıklılığının yüksek, maliyetinin düşük olması, işlenebilirliği, yangına karşı direnci, üretiminde az enerji gereksinimi duyması, çevre dostu, estetik yapıların yapımına olanak sağlayan mühendislik özelliklerinden dolayı alternatifsiz bir yapı elemanıdır.

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla oluşturulan, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla çimentonun hidratasyonu ile katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir [34].

Kaliteli beton, servis şartlarında maruz kaldığı yükte fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyan, dayanımı yüksek, geçirimsiz betondur. Betonda kalitenin ölçüsü, basınç dayanımına göre değil, betonun ekonomikliği ve servis şartlarındaki maruz kaldığı çevre etkileri ve yüklere karşı dayanıklılığıdır. Betonun dayanımı kullanılan malzeme ve oranlarına (agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkıları), tasarımına, su/çimento miktarına, üretim teknolojisi, sıkıştırma ve kür uygulamalarına bağlı olarak şekillenmektedir [35].

2.2.2. Betonların Sınıflandırılması

Beton malzemeler, dayanımı sağlayan agrega, agregalar arasında bağlanma sağlayan çimento ve su ile gerektiğinde ilave edilen özel katkı maddelerinden oluşan, farklı renk, yüzey ve biçimlerdeki taşıyıcı bir yapı malzemesidir.

Birim ağırlığına göre beton malzemeler, hacim ağırlığına (yoğunluğuna) göre üç alt grupta sıralanabilir. Bunlar sırasıyla ağır, normal ve hafif yoğunluğa sahip beton malzemelerdir.

Ağır Beton: Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlara karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları 2800-5000 kg/m³ arasında olan betonlardır.

Normal Beton: Doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 1800-2800 kg/m³ arasında değişen betonlardır [36].

Normal dayanımlı betonların karakteristik 28 günlük basınç dayanımına göre beton sınıfları izelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Karakteristik basınç dayanımına göre beton sınıfları [36].

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı ($f_{1\ sil} = \text{N/mm}^2$)	En düşük karakteristik silindir dayanımı ($f_{1\ kp} = \text{N/mm}^2$)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Hafif Beton: Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) 700-2000 kg/m³ arasında olan betonlardır [36].

2.3. AGREGALAR VE ÖZELLİKLERİ

Betonun mutlak hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agregalar, mineral kökenli ve 100 mm'ye kadar çeşitli tane büyüklüklerinde kırılmamış veya kırılmış tanelerin yığıdır.

Doğal agregata: Taş ocaklarından, nehirlerden, denizlerden, teraslardan ve göllerden elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregadır. Bu agregata grupları içinde en yaygın kullanılan akarsu yatağından elde edilen agregalardır.

Yapay agregata: Yüksek fırın cürufu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül veya yüksek fırın cüruf kumu sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır.

2.3.1. Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar

Hafif Agregalar: Betonun birim ağırlığını azaltmak, betona ses ve ısı yalıtım özelliği kazandırmak için veya atık maddeleri değerlendirmek amacıyla kullanılan agregalardır. Genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler, su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Basınç, çarpma ve aşma dayanımı oldukça düşüktür. Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den küçük olan agregalardır. Bu agregalar sünger taşı (ponza, bims), volkan tüfleri, diatomit, yüksek fırın cürufu, hızar talaşı, rende talaşı ve geliştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralanmaktadır.

Ağır Agregalar : Bunlar ağır beton elde etmek için kullanılır. Birim ağırlıkları 3200 kg/m^3 den büyüktür.

2.3.2. Tane Boyutlarına Göre Agregalar

İnce agregata (kum) : İnce agregata doğal kum, kırma kum (ince mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen agregadır. İnce agregata taneleri sert ve sağlam olmalıdır.

İri agregada (çakıl) : Doğal çakıl, kırma taş (iri mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Tüvenan (karışık) agregada : Doğal agregada ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agregada kullanılması istenmemektedir.

2.3.3. Tane Şekline Göre Agregalar

Doğal agregada ocağından çıkan malzemeler genel olarak, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve bu şekillerine göre sınıflandırılır. Aynı zamanda kırma agregada keskin köşeli agregada grubuna girer [37].

2.4. BETONA İLAVE EDİLEN KATKI MADDELERİ VE ETKİLERİ

Beton katkı maddeleri; su, agregada ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler [37].

Betona ilave edilen katkı maddeleri mineral ve kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılır. Kimyasal katkıları betonun akışkanlığını arttırmak, erken ve yüksek dayanıma ulaşmak, geçirimsizliği ve donatıya dayanımı sağlamak ve priz sürelerini değiştirmek için kullanılır.

Uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcılar kullanılmaktadırlar.

Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak

yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır [37].

2.4.1. Akışkanlaştırıcı Katkılar

Beton üretiminde çimento miktarından azaltma yapmadan veya dayanımından ödün vermemek için üretilen betonun akıcı ve yerleşebilir olmasını sağlayan katkı maddeleridir.

2.4.2. Su Geçirimsizlik Sağlayıcı Katkılar

Su geçirimsizlik sağlayan katkıların amacı, su geçirimsiz beton, yani su geçirmeyen beton elde edebilmektir. Su geçirimsizlik sağlayıcılar, çimento ağırlığının % 0,5 oranında kullanılır. Rengi, kahverengi ve sıvı haldedir. Yoğunluğu 20 °C’ de yaklaşık 1.07 kg/lt’ dir [37,49].

2.4.3. Su Azaltıcı Katkılar

Beton karışım suyunu azaltıcı kimyasal katkı maddeleri, beton kıvamı aynı kalmak üzere, daha az beton karışım suyu kullanmasını sağlayan kimyasal maddelerdir.

2.4.4. Priz Geciktirici Katkılar

Priz geciktirici katkılar, betonu sıcak, rutubetli ve rüzgarın fazla olduğu iklim koşullarında rahat dökülebilmek için kullanılır. Priz geciktirici katkı maddeler, genellikle hava sıcaklığının yüksek olduğu, rutubetin az olduğu, rüzgarın fazla olduğu durumlarda; betonun uzun mesafeye taşınması durumunda kullanılır. Priz geciktirici katkılar, betona katılan çimento ağırlığının % 0,2 - % 2’ si arasında olup, sıcaklık, nem ve rüzgara göre değişir. Renkleri, genellikle sarı, yeşilimsi veya renksizdir. Yoğunluğu 20 °C’ de 1,20 kg/lt’ dir.

2.4.5. Priz Hızlandırıcı Katkılar

Priz sürelerini kısaltmak, erken basınç ve çekme mukavemetlerini arttırmak için kullanılır [37,38].

2.4.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri

Hava sürükleyici katkı maddeleri, taze betonun hava miktarını artırarak ve hava boşluklarını birbirinden ayrı olarak karıştırma sırasında küçük, düzgün dağıtılmış ve beton prizi tamamlanıncaya kadar kalıcı hava kabarcığını sürükleyen kimyasal katkı maddesidir. Bu katkı maddesinin amacı, betonun işlenebilirliği ve dayanıklılığını artırmaktır. Çimento taneciği iriliğinde (10-100 mikron) milyonlarca hava kabarcığını beton içinde homojen bir şekilde dağıtarak betonu, donma - çözünme olaylarından korumak için kullanılır.

Hava sürükleyici katkılar, yoğunluklu olarak beton yollar, pist betonları, havaalanları ve su yapıları gibi yerlerin betonunda kullanılır. Hava sürükleyici katkı maddeleri, çimento ağırlığının % 0,03 - % 0,15' i arasında kullanılır [37,38].

2.5. HAFİF BETON VE ÖZELLİKLERİ

2.5.1. Hafif Beton

Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) 700-2000 kg/m³ arasında olan betonlardır. Dayanımları 7-17 N/mm² arasında olan betonlar orta mukavemetli beton sınıfına girerler. Hafif betonlar, atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanından ses, ısı ve ağırlık özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır.

Hafif beton; çimento, su, hafif agrega ve özel katkıların birleşiminden oluşur. Günümüzde bütün yapıların duvarlarında ve zeminlerinde ısı yalıtımı ve ses yalıtımını sağlayan birim ağırlığı bakımından hafif ve ekonomik olan bir yapı malzemesidir. Hafif beton, ısı ve ses yalıtım özelliği, yangına dayanımı, kolay

işlenmesi, ekonomik olması, üretiminin kolay olması gibi avantajlarının olması nedeniyle tuğla, briket gibi duvar malzemeleri yerine kullanılmaktadır.

Hafif betonlar hafif agregalarla, kimyasal köpüklerle, kum kullanılmadan yalnız iri agrega ile ve kimyasal metotlarla gaz oluşturulması çeşitli metotlarla üretilmektedirler.

Hafif betonun birim ağırlığına ve mukavemet dayanımına göre sınıflandırılması Çizelge 2.3'te verilmiştir [36,37].

Çizelge 2.3. Birim ağırlık ve mukavemet dayanımına göre hafif beton sınıfları [36].

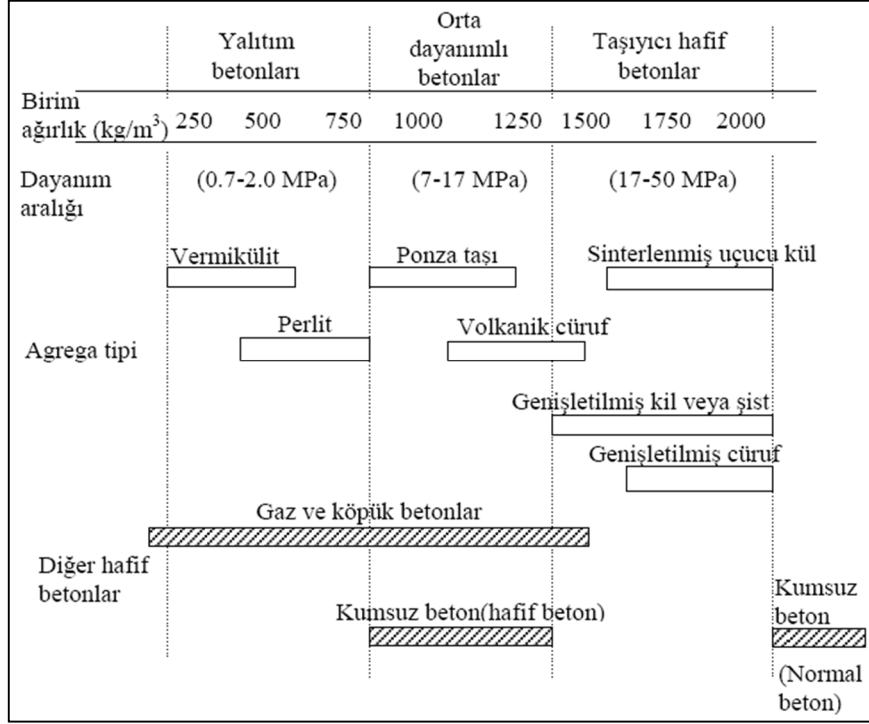
Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m³)	Dayanım aralığı (MPa)
S1	300-800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

Hafif betonların içeriğinde kullanılan malzemelerden dolayı sahip oldukları basınç dayanımları düşüktür. Çizelge 2.3'te belirtilen hafif beton sınıfına göre birim ağırlıkları ve basınç dayanımlarını sınıflandırmak mümkündür. Bu beton sınıflarında yer alan S1 sınıfındaki betonlar daha çok ısı yalıtımında kısmen de taşıyıcı olarak kullanılır. S2 ve S3 betonları orta dayanımlı hafif beton sınıfına girer ve yalıtım özellikleri de vardır. S4, S5 ve S6 sınıfındaki betonlar ise taşıyıcı beton olarak kullanılır.

Hafif betonun işlevlerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.4'te ve Şekil 2.4'te verilmiştir [36].

Çizelge 2.4. Birim ağırlık ve mukavemet dayanımına göre hafif beton çeşitleri [36].

	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Dayanım aralığı (MPa)
Yalıtım betonları	300-800	0.7-2.0
Orta dayanımlı betonlar	800-1400	7-17
Taşıyıcı hafif betonlar	1400-2000	17-50



Şekil 2.4. Hafif betonların sınıflandırılması [36].

2.5.2. Hafif Beton Özellikleri

Birim Ağırlık: Taze betonun birim hacimdeki ağırlığıdır. Birimi kg/dm³ veya kg/m³ olarak ifade edilir. Taze betonun birim ağırlığının küçük olması, betonun içerisinde yer alan taneler arası boşluk miktarının fazla olduğunu gösterir.

Özgül ağırlık: Boşluksuz birim hacmin ağırlığıdır. Bir maddenin birim hacimdeki ağırlığına denir ve genel olarak birimi gr/cm³ olarak ifade edilir.

Yoğunluk: Malzemenin boşlukları çıktıktan sonra, cismin ağırlığının katılar hacmine oranına denir. Yoğunluk arttıkça direnç ve ısı iletkenliği artar ve su geçirimsizliği azalır.

Boşluk Oranı (Porozite): Bir malzemenin dolu hacminin boşluklu hacmine oranına denir (Yoğunluğun özgül ağırlığına oranıdır). Boşluk oranı arttırıldığında malzemenin ısı geçirimsizliği ve yoğunluğu azalır (Plastik köpük, cam yünü).

Doluluk Oranı (Komposite): Malzemenin dolu kısmının hacminin malzemenin tüm hacmine oranını gösterir.

Su Emme Oranı: Malzemenin suya doymuş ağırlığı (P_2) ile kuru ağırlığı (P_1) arasındaki farkın kuru ağırlığına oranının yüzde olarak değeri malzemenin ağırlıkça su emme yüzdesini (S_a) gösterir.

Rötre: Taze halde kalıba dökülen betonlar sertleşmelerini tamamlayıncaya kadar ebatlarında küçülme meydana gelmesi olayıdır. Taze ve prizini almamış betonun su kaybederek veya ortam ile sıcaklık farklarından dolayı büzülerek çatlaklar oluşur. Oluşan rötre çatlaklarını engellemek için beton taze iken sulanmalıdır. Taze halde sulanan bir betonda rötre çatlakları bu yöntem ile engellenmiş olur. Betonda oluşan rötrenin büyüklüğü; kullanılan agregaların mekanik özelliklerine, inceliğine ve betona katılan çimento dozajına bağlıdır.

Basınç Dayanımı: Beton binalar taşıdıkları yükler bakımından çeşitli zorlamaların etkisi altındadır. Oluşan bu zorlamalara göre betonun çeşitli dayanımlara sahip olması gerekmektedir. Betonun dayanımları arasında olması gerek en büyük dayanım basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı yüksek olan bir beton sağlamdır. Betona katılan su/çimento oranı basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak birimi N/mm² veya MPa olarak ifade edilir.

Eğilme Dayanımı: Kirişlere gelen dik kuvvetin oluşturduğu zorlamalara karşı göstermiş olduğu dayanımdır. Genel olarak bu dayanım basınç dayanımının % 15 oranı kadardır. Genel olarak birimi N/mm² veya MPa olarak ifade edilir.

Isıl İletkenlik: Hafif betonun en belirgin özelliklerinden birisidir. Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı direkt olarak malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile orantılıdır. Isıl iletken katsayısı, homojen bir malzemenin kararlı koşullar altında, iki yüzey sıcaklığı arasındaki farkın 1 °C olduğu durumda birim zamanda (1 saat), birim alana (1 m²) ve bu alana dik yönde birim kalınlıktan (1m) kilokalori şeklinde geçen ısı miktarıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı iletkenliği birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir. Genel olarak betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru orantılıdır. Betonun birim ağırlığı arttıkça ısı iletkenliği de artar [39-41].

Camcıoğlu, hafif betonların ısı iletkenlikleri birim ağırlıklarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinde birim ağırlıkların 960-1648 kg/m³ arasındaki değişebileceğini ve yalıtım betonu için bu değerlerin 0,07-0,28 W/mK (0,06-0,25 kcal/mh °C) değişmekte olduğunu saptamıştır [42].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde “Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS) İle Atık Polistiren Köpük Granüllerin Betona Karıştırılmasıyla Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli tez çalışmasında kullanılan malzemeler (Bölüm 3.1), yöntem ve çalışma takvimi (Bölüm 3.2) verilmiştir. Çalışmada Portland çimento, EPS ve atık EPS, kum (agrega), su ve kimyasal ve/veya mineral katkı malzemeleri kullanılmıştır. Hafif betonların üretilmesi sırasında çimento miktarının ağırlıkça % 1-% 1,5-% 2 oranlarında EPS ve atık EPS granülleri ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerin kodlaması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin kodlaması.

Numune Kodlaması	Açıklama
Karışım 0 (K0)	Kontrol betonu (% 0 EPS ilavesiz)
Karışım 1 (K01)	% 1 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)
Karışım 2 (K01,5)	% 1,5 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)
Karışım 3 (K02)	% 2 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

3.1.1. Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır [38].

Çimentonun bağlayıcı özelliği kazanması için suya ihtiyaç vardır. Çimentoya katılan su miktarı betonun dayanım özelliğini etkilemektedir. Su/çimento oranı 0,25'in altında 0,50'nin üzerinde olduğu zaman betondan istenilen işlenebilirlik alınmaz.

Su/Çimento Oranı: Taze betonda etkili su içeriğinin, çimento ağırlığının oranıdır. Uygun bir şekilde sıkıştırılmış bir betonun içerdiği boşluk miktarı su/çimento oranıyla doğrudan ilişkilidir. Herhangi bir malzemenin içerdiği boşluk oranı arttıkça dayanımı azalır. Betonda çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı çimento miktarının % 25-30'u kadar olmasına karşın, işlenebilirlik açısından daha fazla su kullanmak gereklidir. Buna karşı betonda kullanılan su miktarı arttıkça dayanım azalır [41].

Çalışmada yapılacak olan bütün deneme karışımlarında kullanılan Porland çimento, ÇİMENTAŞ TRAKYA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den alınan CEM IV/B (P) 32,5 R kalite çimento kullanılmıştır. Kraft kağıt torbalarda Porland çimentosunun (50 şer kg'lık) resmi Şekil 3.1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan Su/çimento (S/Ç) oranı 0,40 olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.1. Kraft kağıt torbalarda Porland çimentosu.

CEM IV/B (P) 32,5 R kalite çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir [43].

Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel özellikleri [43].

Fiziksel Özellik	Birim	ÇİMENTAŞ TRAKYA
2 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	16,0
7 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	25,0
28 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	37,0
Özgül Yüzey	cm ² /g	5500,0
Priz Başlangıcı	dakika	205,0
Priz Sonu	dakika	250,0
Hacim Sabitliği	mm	0,0
Su İhtiyacı (Vicac Suyu)	%	32,6

Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri [43].

Kimyasal Özellik		ÇİMENTAŞ TRAKYA
SO ₃	%	2,5
MgO	%	1,2
Cl	%	0,019
Kızdırma Kaybı	%	5,2
Çözünmeyen Kalıntı	%	
Serbest Kireç	%	0,5
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	%	0,95

3.1.2. Agregas (Kum)

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kuru, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir [44].

Agregaların özellikleri, beton yapımındaki malzemelerin karışım oranlarını, taze betonun işlenebilmesini, terlemesini, pompalanabilmesini ve beton yüzeyinin masterlanıp düzeltilebilmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Sertleşmiş betonun dayanıklılığı, dayanımı, büzülmesi, birim ağırlığı, termik özellikleri ve ekonomisi gibi özellikleri de bileşimindeki agreganın özelliklerine göre değişmektedir. Agregaların fiziksel özellikleri şunlardır: özgül ağırlık, birim ağırlık, komposite, porozite (gözeneklilik), donma-çözülme dayanımı, nem durumu ve diğer fiziksel

etkenlere karşı dayanıklılık. Agreganın kullanım yeri ve amacına göre, tane dağılımı (granülometrik bileşim), tane şekli, tane dayanımı, dona dayanıklılık, zararlı madde içeriği açısından belli özelliklerde olması istenir [45].

Dayanımlı ve kaliteli beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple bu çalışmada su ihtiyacını azaltmak ve işlenebilirliği arttırmak için agrega olarak 0,25-1 mm elek aralığında sahip ırmak kumu kullanılmıştır. Irmak kumunun resmi Şekil 3. 2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan ırmak kumu.

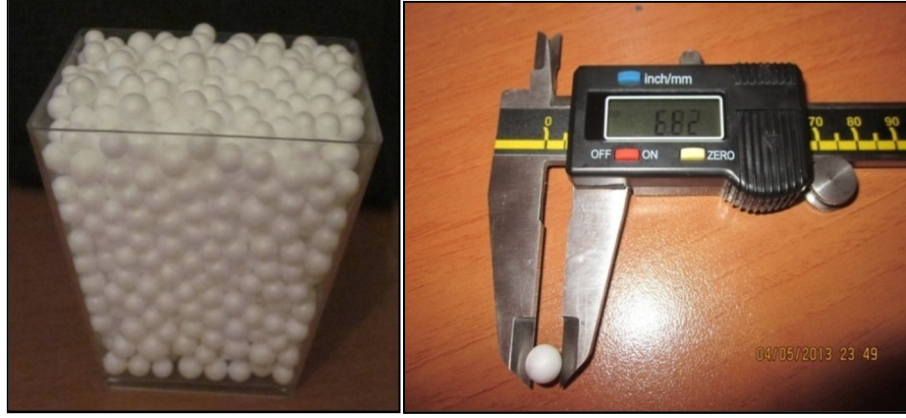
3.1.3. Atık Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS)

Polistiren köpük, bir petrol ürünüdür. Hammaddesini teşkil eden granüller, 1 mm tane çapında parçacıklardan oluşmuş olup, ısı ve buharlaşma işlemleri ile hacimleri genişletilir. Polistirenin ısı iletkenlik değeri oldukça düşüktür. Isı iletkenliği 0,040 w/mK olup, 5 cm kalınlığındaki polistiren; 97 cm’lik tuğla, 265 cm’lik beton, 295 cm’lik taş duvar kalınlığının ısı yalıtımına eş değer olmaktadır.

Polistirenin yoğunluğu 0,01-0,03 kg/dm³, basınç dayanımı 0,06-0,2 N/mm², çekme dayanımı; 0,13-0,5 N/mm², elastikiyet modülü 0,03-0,18 N/mm², özgül ısı kapasitesi; 1,38 k j/kg K, su emme oranı (ağırlıkça) 0,02, ses yutma katsayısı 1000 Hz’de % 35’tir [31,46].

Çalışmada kullanılan 4-8 mm büyüklüğündeki atık EPS köpük granülleri, Sena Yapı Endüstri Mamülleri Sanayi Ticaret Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Kullanılan atık EPS köpükler EPS köpük üretimi sırasında ortaya çıkmıştır.

Atık EPS köpük malzemesinin resmi Şekil 3.3'te ve teknik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir [46].



Şekil 3.3. Polistiren köpük granülü.

Çizelge 3.4. EPS teknik özellikleri [46].

EPS TEKNİK ÖZELLİKLERİ					
TEKNİK ÖZELLİK		İLGİLİ STANDART	BİRİM	EPS	
Yoğunluk		DIN 53420	Kg/m ³	15	20
Yapı malzemesi klasmanı		DIN 4102	-	B1	B1
Isı iletkenlik	Labor. Değeri	DIN 52612	W / mK	0,036-0,038	0,034-0,036
	Hesap değeri	DIN 4108	W / mK	0,04	0,04
%10 deformasyonda basınç dayanımı		DIN 53421	N/mm ²	0,07-0,12	0,12-0,16
%2'den küçük deformasyonda basınç dayanımı		-	N/mm ²	0,012-0,025	0,020-0,035
Makaslama dayanımı		DIN 53427	N/mm ²	0,09-0,12	0,12-0,15
Bükülme dayanımı		DIN 53423	N/mm ²	0,16-0,21	0,25-0,30
Çekme dayanımı		DIN 53430	N/mm ²	0,15-0,23	0,25-0,32
E - modülü		-	N/mm ²	0,6-1,25	1,0-1,75
Sıcaklığa göre form dayanımı	Kısa süreli	DIN 53424	°C	100	100
	Uzun süreli 5.000 n/m ²	DIN 53424	°C	80-85	80-85
	Uzun süreli 20.000 n/m ²	DIN 18164	°C	75-80	80-85
Isısal uzama katsayısı		-	1/K	5-7.10 ⁻⁵	5-7.10 ⁻⁵
Özgül ısı kapasitesi		DIN 4108	J / (Kg.k)	1500	1500
Tamamen suya batmış durumda su alma durumu	7 gün	DIN 53428	Hacmen %	3	2,3
	1 yıl		Hacmen %	5	4
Su buhar geçirgenliği		DIN 53429	g/m ² .d	40	35
Buhar difüzyon direnç katsayısı (μ)		DIN 4108	1	20/50	30/70
Buhar difüzyon direnç katsayısı		DIN 52615	1	30/70	40/100
Yanıcılık		DIN 4102	B1:kendiliğin den söner	B2 ve B1	B2 ve B
			B2: normal		

3.1.4. Su

Atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların üretiminde şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan şebeke suyunun İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İSKİ) laboratuvarında yapılan analiz raporları Çizelge 3.5'te verilmiştir [47].

Çizelge 3.5. Şebeke suyu analiz raporu [47].

PARAMETRE	TÜRK STANDARTLARI (TS 266) 2005	DÜNYA SAĞLIK TEŞKİLATI (WHO) 1993	ADD ÇEVRE KORUMA AJANSI (EPA) 2003	AVRUPA BİRLİĞİ (EC) 1998	KALİTE DEĞERLERİ
Bulanıklık	1,0	5,0	1,0	1,0	0,2
BİRİNCİL STANDARTLAR (MİKROBİYOLOJİK), EMS/100 mL					
Koliform Bakteri	< 1	0	< 1	0	0
BİRİNCİL STANDARTLAR (Dezenfeksiyon Yan ürünleri), mg/L					
Toplam Trihalometanlar	100	460	80	100	40,6
Bromat	10	10	10	10	-
BİRİNCİL STANDARTLAR (İNORGANİK KİMYASALLAR), mg/L					
Alüminyum	0,20	0,20	0,20	0,20	< 0,05
Arsenik	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,002
Baryum	-	0,7	2,0	-	0,04
Kadmiyum	0,005	0,003	0,005	0,005	< 0,002
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,10	0,05	< 0,02
Bromür	-	-	-	-	0,05
Florür	1,5	1,5	2,0	1,5	0,19
Siyanür	0,05	0,07	0,20	0,05	< 0,02
Kurşun	0,010	0,010	0,015	0,010	< 0,01
Cıva	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000
Nitrat (NO ₃ -)	50	50	45	50	7,15
Selenyum	0,01	0,01	0,005	0,01	< 0,01
Gümüş	*	0,10	0,10	-	< 0,02
Antimon	0,005	0,020	0,006	0,005	< 0,005
Berilyum	-	-	0,004	-	< 0,002
İKİNCİL STANDARTLAR (ESTETİK), mg/L					
Klorür	250	250	250	250	34,0
Renk (birim)	20	15	15	-	2,5
Bakır	2,0	2,0	1,0	2,0	< 0,02
Demir	0,2	0,3	0,3	0,2	< 0,02
Mangan	0,05	0,1	0,05	0,05	< 0,02
Koku Yapan Madde (mg/L)	-	-	-	-	1,8
Geosmin (MIB)	-	-	-	-	2,2
PH	6,5-9,5	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-9,5	7,5
Sülfat	250	500	250	250	82,5
Toplam Çözünmüş Madde	-	1000	500	-	354
Çinko	-	3,0	5,0	-	< 0,1
İLAVE PARAMETRELER,mg/L					
Kalsiyum	-	300	-	-	64,5
Sertlik (CaCO ₃ olarak)	-	500	-	-	221
Magnezyum	-	-	-	-	12,5
Potasyum	-	-	-	-	3,43
Sodyum	200	200	-	200	33,6
Serbest Klor	-	5,0	4,0	-	1,5
Amonyum	0,5	1,5	-	0,5	< 0,03

3.1.5. Kimyasal Katkılar




Kimyasal katkıları betonun akışkanlığını arttırmak, erken ve yüksek dayanıma ulaşmak, geçirimsizliği ve dona karşı dayanımı sağlamak ve priz sürelerini değiştirmek için kullanılır.

Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar.

Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır [37].

Çalışmada atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların hazırlanması aşamasında kimyasal katkı olarak bağlayıcı (Katkı 1), köpük kesici (Katkı 2) ve fibercon elyaf (Katkı 3) kullanılmıştır.

Kullanılan kimyasal katkıların karışım oranları ve resimleri Şekil 3.4’de verilmiştir.

	Kimyasal Bağlayıcı (Katkı 1)	Köpük Kesici (Katkı 2)	Fibercon Elyaf (Katkı 3)
Çimento ağırlığının %’si	1	0,5	1
Kimyasal katkı malzemesine ait resim			

Şekil 3.4. Kullanılan kimyasal katkıların katkı oranları ve resimleri.

3.1.5.1. Bağlayıcı

Bağlayıcı (Katkı 1); kum, çimento ve EPS polistiren köpük granül karışımının birbiriyle bağlayıcılığını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bağlayıcı, Boysan Boya’dan temin edilmiştir. Üretimi yapılacak hafif beton numuneler için hazırlanan beton karışımına katılan çimento ağırlığının % 1’i kadar ilave edilmiştir.

Bağlayıcı malzemesine ait resim Şekil 3.5’de ve teknik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.5. Hafif betonda kullanılan bağlayıcı katkısı.

Çizelge 3.6. Bağlayıcı malzemesine ait teknik özellikler [48].

Katı Madde (105 °C) (%)	59 - 61
MFFT (°C)	~ 0
pH	7,0-8,5
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.00
Brookfield Viskozite (RVT 23 ° C; 20 rpm) mPas	500-1500
Donma Çözülme (°C)	6
Camlaşma Sıcaklığı (DSC) (°C)	10
Ortalama partikül boyutu (nm)	350
Renk	Beyaz

3.1.5.2. Köpük Yapıcı (Foamcrete)

Köpük yapıcı; hafif betonun harcı yapılırken üretimi yapılan hafif betona köpük yapıcı özelliği kazandırmak amacıyla kullanılmıştır. Köpük yapıcı; ekonomik, uygulaması kolay, ömrü yüksek, çevreye zarar vermez, metalde paslanmaya sebep vermez, ısı kaybını önler. Köpük yapıcı Draco Yapı Kimyasalları firmasından temin edilmiştir. Üretimi yapılacak hafif beton numuneler için hazırlanan beton karışımına katılan çimento ağırlığının % 0,5’i kadar ilave edilmiştir.



Şekil 3.6. Hafif betonda kullanılan köpük yapıcı katkıları.

Köpük kesici malzemesine ait resim Şekil 3.6’da ve teknik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Köpük kesici malzemesine ait teknik özellikler [49].

	FoamCrete 20T
Yoğunluk (kg/lt)	1.13 ±00.2
pH	6,0-8,5
Suda çözünürlük (+20°C)	Tam çözünür
Standart	ASTM C 869-80
Depolama ısı ve raf ömrü (°C)	5 / +25
Dozaj miktarı Çimento miktarına max. (%)	1,5
Renk	Sarımtırak

3.1.5.3. Fibercon Elyaf

Fibercon elyaf (Katkı 3); üretimi yapılacak olan hafif betonun mekanik dayanımı arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Fibercon elyaf İstanbul Teknik firmasından PP6 olarak temin edilmiştir. Üretimi yapılacak hafif beton numuneler için hazırlanan beton karışımına katılan çimento ağırlığının % 1’i kadar ilave edilmiştir. Fibercon elyaf PP 6 malzemesine resim Şekil 3.7’de ve teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Hafif betonda kullanılan bağlayıcı katkıları.

Çizelge 3.8. Fibercon PP6 malzemesine ait teknik özellikler [50].

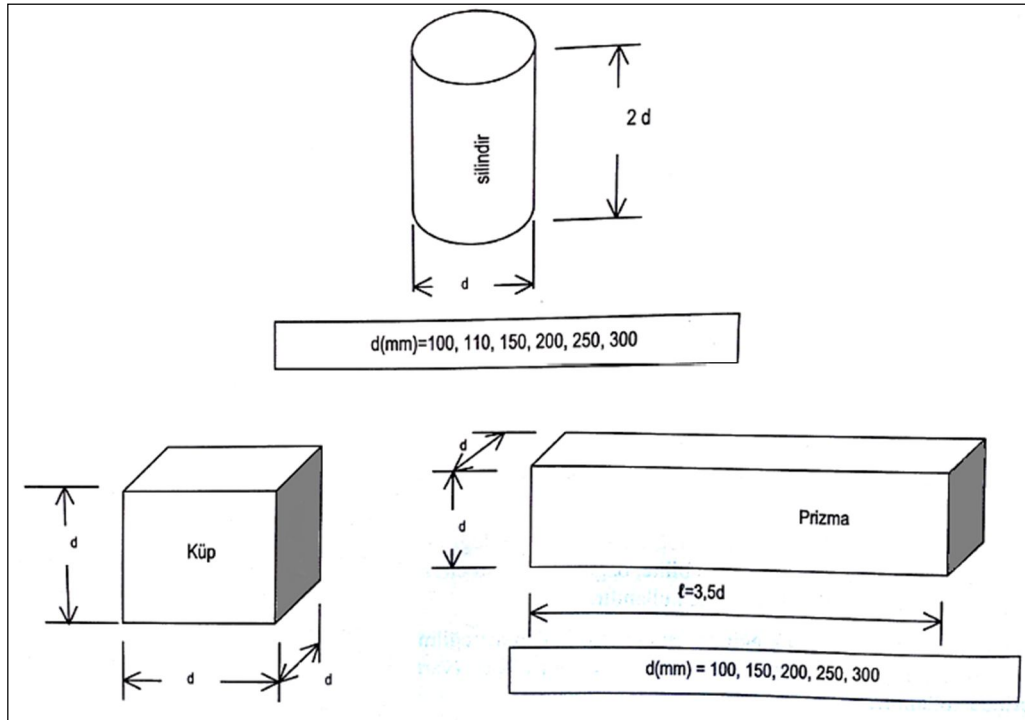
Test	Birim	Fibercon PP 6
Elyaf uzunluğu	mm	6
Elyaf çapı	denye	5
Hammadde		Olefin polipropilen
Renk		Beyaz
Yoğunluk	gr/cm ³	0,910
Ergime noktası	°C	160-170
Çekme mukavemeti	MPa	300-400
Uzama	%	5-15
Elastisite modülü	GPa	3,5-4,5
Kimyasal Dayanım		Mükemmel-Özellikle alkali ortamlarda

3.2. YÖNTEM

Atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların hazırlanmasında, Bölüm 3.1’de teknik özellikleri verilen Porland çimento, agrega, atık EPS, su ve katkı malzemeleri (Katkı 1 - Katkı 2 ve Katkı 3) belirlenen oranlarda karıştırılmıştır ve hafif beton karışımlar hazırlanmıştır. Bölüm 3.2.1’de farklı oranlarda atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların hazırlanması aşaması, çalışma planı ve Bölüm 3.2.2’de hazırlanan atık EPS ilaveli hafif beton karışımların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan cihazlar ve testler anlatılmıştır.

3.2.1. Atık EPS İlave Edilen Hafif Beton Karışımların Hazırlanması

Kum ve çimento belirlenen oranlarda kuru halde 5 dakika (mala yardımıyla) karıştırıldı, gerekli suyun 3/4'ü ilave edilerek vibratör ile karıştırıldı. Gerekli su miktarının kalanına (1/3'üne) kimyasal katkıları (Katkı 1-Katkı 2 ve Katkı 3) eklendi ve atık EPS önceden hazırlanan beton karışıma (kum, çimento ve su karışımına) ilave edildi. Vibratör ile homojen olarak 10 dakika karıştırıldı. Numune kalıpları önceden hafif betonların kolay çıkması için gres yağı ile yağlandı. Atık EPS katkılı hafif beton önce numune kalıplarına yarısı dolacak kadar döküldü ve 25 şişleme yapıldı. Ardından hava kabarcıklarının uzaklaştırılması için geri kalanı doldurulan kalıbın 2/3'ü kadar 25 şişleme ve sağdan soldan plastik tokmak ile sarsma işlemine tabi tutuldu. Daha sonra numune kalıplarının yüzeyleri mala yardımı ile düzeltildi ve üzeri nemli bez ile kapatıldı. Çalışmada kullanılan atık EPS ilave edilmiş hafif beton karışımlar farklı ölçülere sahip numune kaplarına dökülmüştür. Farklı ebatlara sahip numune kalıpları Şekil 3.8'deki ölçülere (TS EN 12390-1) uygun olarak seçilmiştir [51].



Şekil 3.8. Numune kalıp ölçüleri [51].

Hafif beton üretiminde kullanılacak numune kalıp fotoğrafları Şekil 3.9'da verilmiştir.

Numune Kabı Resmi	Uygulanacak test
	<p>Basınç, su emme ve rötre dayanımı testlerinde kullanılacak numunelerin hazırlanmasında 100x100x100 mm ölçülerine sahip numune kalıplarına ait fotoğrafı.</p>
	<p>Eğilme dayanımı testlerinde kullanılacak numunelerin hazırlanmasında 100x350x100 mm ölçülerine sahip numune kalıplarına ait fotoğrafı.</p>
	<p>Isı iletkenlik testlerinde kullanılacak numunelerin hazırlanmasında 500x500x50 mm ölçülerine sahip numune kalıbına ait fotoğrafı.</p>

Şekil 3.9. Atık EPS ilave edilen hafif beton karışımların döküldüğü numune kalıp resimleri.

Çalışmada, tartımların yapılmasında kullanılan ± 1 gr. hassasiyete sahip dijital terazi ve 150 kg'lık terazi, 0-200 mm çene aralığına sahip 0,001 mm hassasiyetli dijital kumpas ve taze beton sıcaklığı ölçmek için TT T-ECHNI-C marka -20 ile +50 °C ölçüm aralığında ± 1 °C sapma hassasiyetine sahip çelik problu dijital termometre kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tartım ve ölçüm cihazları Şekil 3.10'da verilmiştir.

Cihaz	Kullanıldığı aşama	Teknik özellik
	Numunelerin hazırlanması aşamasında karışımların tartılmasında	± 1 gr. hassasiyete sahip dijital terazi
	Rötre testlerinde kullanılmıştır.	0-200 mm çene aralığına sahip 0,001 mm hassasiyetli dijital kumpas
	Taze beton sıcaklığı ölçmek için kullanılmıştır.	TT T-ECHNI-C marka -20 ile +50 °C ölçüm aralığında ± 1 °C sapma hassasiyetine sahip çelik problu dijital termometre

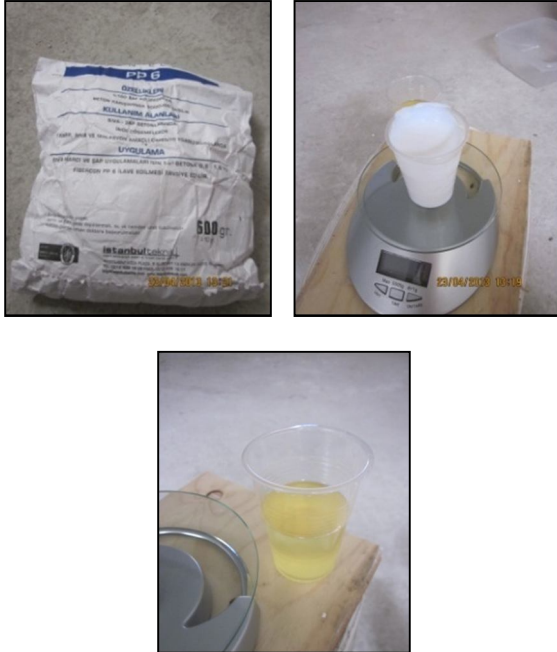
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan tartım ve ölçüm cihazları.

Farklı oranlarda atık EPS takviyeli hafif betonu üretimi öncesinde TS 802'deki standartlara göre Çizelge 3.9'da verildiği gibi ağırlık oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.9. Farklı oranlarda atık EPS takviyeli hafif betonu üretimi öncesinde çalışmada kullanılan malzeme miktarları.

Malzeme	Özellik	Teorik Ağırlık (kg)			Düzeltilmiş ağırlık (kg)					
		1%	1,50%	2%	1m ³			0,030m ³		
					1%	1,50%	2%	1%	1,50%	2%
Çimento	CEM IV/B (P) 32,5 R	500	500	500	500	500	500	15,000	15,000	15,000
Agrega (Kum)	Elenmiş İrmak Kumu	282.5	280	277.5	282,5	280	277,5	8,475	8,400	8,325
Polistiren (EPS)	4-8 mm	5	7.5	10	5	7.5	10	7,200	7,360	7,420
Su	Şehir Şebeke Suyu	200	200	200	198	190	185	0,150	0,150	0,150
Katkı 1	Kimyasal Bağlayıcı	5	5	5	5	5	5	0,150	0,150	0,150
Katkı 2	Foamcrete 20 T	2.5	2.5	2.5	2,5	2,5	2.5	0,075	0,075	0,075
Katkı 3	Fibercon Elyaf PP 6	5	5	5	5	5	5	0,150	0,150	0,150




Atık EPS ilaveli hafif betonun üretim aşamaları Şekil 3.11’de verilmiştir.

İlgili fotoğraf	Aşama
	<p>1.Aşama: Hafif beton malzemesinin kullanılacak katkı malzemelerin tartım aşaması.</p>

Şekil 3.11. Atık EPS ilaveli hafif betonun üretim aşamaları.

İlgili fotoğraf	Aşama
	<p><u>2.Aşama:</u> Kuru çimento – kum karışımının homojen olarak karıştırılması (5 dakika).</p>
	<p><u>3.Aşama:</u> Çimento – Kum karışımına su eklenerek homojen sağlamak için 13 dakika karıştırıldı. Suyun 3/2'si çimento-kum karışımına eklendi. Kalan su miktarı kimyasal katkı malzemeleriyle karıştırılarak son 5 dakikada karışıma eklendi.</p>
	<p><u>4.Aşama:</u> Homojen karıştırılan Çimento, kum, su ve katkı maddelerinden hazırlanan karışımına polistiren köpük granül eklenerek 10 dakika süre ile homojen olarak tekrar vibratör ile karıştırıldı. Atık EPS ilave edilmiş hafif beton hazırlanan kalıplara döküldü.</p>

Şekil 3.11. (devam ediyor).

İlgili fotoğraf	Aşama
	<p><u>5.Aşama:</u> Atık EPS ilave edilmiş hafif beton hazırlanan kalıplara dökümü, şişleme aşaması.</p>
	<p><u>6.Aşama:</u> Atık EPS ilave edilmiş hafif beton hazırlanan kalıplara dökümü düzeltme ve sıcaklık ölçümünün yapılması aşaması.</p>
	<p><u>7.Aşama:</u> Atık EPS ilave edilmiş hafif betonun kalıplara döküldükten sonra tokmaklanması ve mala ile düzeltme aşaması.</p>

Şekil 3.11. (devam ediyor).

İlgili fotoğraf	Aşama
	<p>8.Aşama: Hafif betonun (% 1 oranında EPS eklenen) kalıplara dökülmüş hali. Numunelerin üzerine etiketleme işleminin yapıldığı aşama.</p>
	<p>9.Aşama: 24-48 saat sonra kalıplardan çıkartılan atık EPS ilave edilmiş hafif beton numuneleri.</p>
	<p>10.Aşama: Kalıplardan çıkartılan hafif beton numunelere mekanik testlerin uygulanabilmesi için geçen kür süresi (28 gün).</p>

Şekil 3.11. (devam ediyor).

3.2.2. Atık EPS İlaveli Hafif Betonların Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi

Çalışmada farklı oranlarda atık EPS ilaveli hafif betonların özelliklerinin incelenmesi için farklı ölçülerde hazırlanan hafif beton numunelere birim ağırlık, su emme oranı, rötre tayini, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda 7 ve 28 günlük örnekler üzerinde analizler yapılmıştır.

Çalışmada farklı oranlarda atık EPS ilaveli hafif betonların özelliklerinin incelenmesi için farklı ölçülerde hazırlanan hafif beton numunelerin ölçüleri, numune sayıları ve uygulanan testler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Atık EPS ilaveli hafif beton karışımlardan hazırlanan numunelere uygulanan testler ve numune sayıları.

Uygulanan Test	Numune Kodları	Atık EPS ilave oranı (çimento ağırlığının)	Numune Ölçüsü (mm)	Numune Sayısı (adet)
Su emme oranı	Kontrol Betonu (K0)	% 0	100x100x100	2
	Karışım 1 (K01)	% 1	100x100x100	2
	Karışım 2 (K01,5)	% 1,5	100x100x100	2
	Karışım 3 (K02)	% 2	100x100x100	2
Rötre tayini testi	Kontrol Betonu (K0)	% 0	100x100x100	2
	Karışım 1 (K01)	% 1	100x100x100	2
	Karışım 2 (K01,5)	% 1,5	100x100x100	2
	Karışım 3 (K02)	% 2	100x100x100	2
Basınç dayanımı testi	Kontrol Betonu (K0)	% 0	100x100x100	3
	Karışım 1 (K01)	% 1	100x100x100	3
	Karışım 2 (K01,5)	% 1,5	100x100x100	3
	Karışım 3 (K02)	% 2	100x100x100	3
Eğilme dayanımı testi	Kontrol Betonu (K0)	% 0	100x350x100	3
	Karışım 1 (K01)	% 1	100x350x100	3
	Karışım 2 (K01,5)	% 1,5	100x350x100	3
	Karışım 3 (K02)	% 2	100x350x100	3
Isıl iletkenlik testi	Kontrol Betonu (K0)	% 0	500x500x50	1
	Karışım 1 (K01)	% 1	500x500x50	1
	Karışım 2 (K01,5)	% 1,5	500x500x50	1
	Karışım 3 (K02)	% 2	500x500x50	1

3.2.2.1. Su Emme Oranı

Su emme oranı testi için her bir karışım oranından 100x100x100 mm 2 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 20 ±2 °C sıcaklıktaki su dolu kaptan tamamen doygun hale gelinceye kadar bekletilmiştir (Şekil 3.12). Su dolu kaptan çıkarılan numuneler nemli bir bez yardımıyla kurulanmış ve tartılmıştır. Tartım sonunda bulunan değerler suya doygun kütle değerleridir. Tartılan numuneler sonrasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Belirlenen etüv kurusu ağırlıkları ve suya doygun ağırlıkları kullanılarak aşağıda verilen (3.1) eşitliği kullanılarak sertleşmiş betonların su emme oranları hesaplanmıştır.

-
- B : Sertleşmiş beton numunesinin etüv kurusu ağırlığı, kg
D : Sertleşmiş beton numunesinin suya doygun ağırlığı, kg
M : Sertleşmiş beton numunesinin ağırlıkça su emme oranı, %



Şekil 3.12. Su dolu kaptan kürlenme süresini bekleyen deney numuneleri.

3.2.2.2. Rötire Tayini

Su emme testi için hazırlanan numuneler (100x100x100 mm) üzerinde ölçüm yapılmıştır. 0-200 mm çene aralığına sahip dijital kumpas ile ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan hafif beton numunelerin kür süresi dolana kadar su dolu kaptan bekletilmiştir. Kür süresi dolan numuneler su dolu kaptan çıkarılarak üzerindeki fazla su miktarı bir bez yardımıyla alınmıştır. Numunelerin 7-14 ve 28 günlük değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. % 1 oranında EPS katılan hafif beton numunenin 7. gün su emme ve rötire ölçümü.

3.2.2.3. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı için her bir karışım oranından (100x100x100 mm) 3 adet numune 28 gün suda bekletilen numuneler basınç dayanımı testine TS EN 12930-3'e göre yapılmıştır.

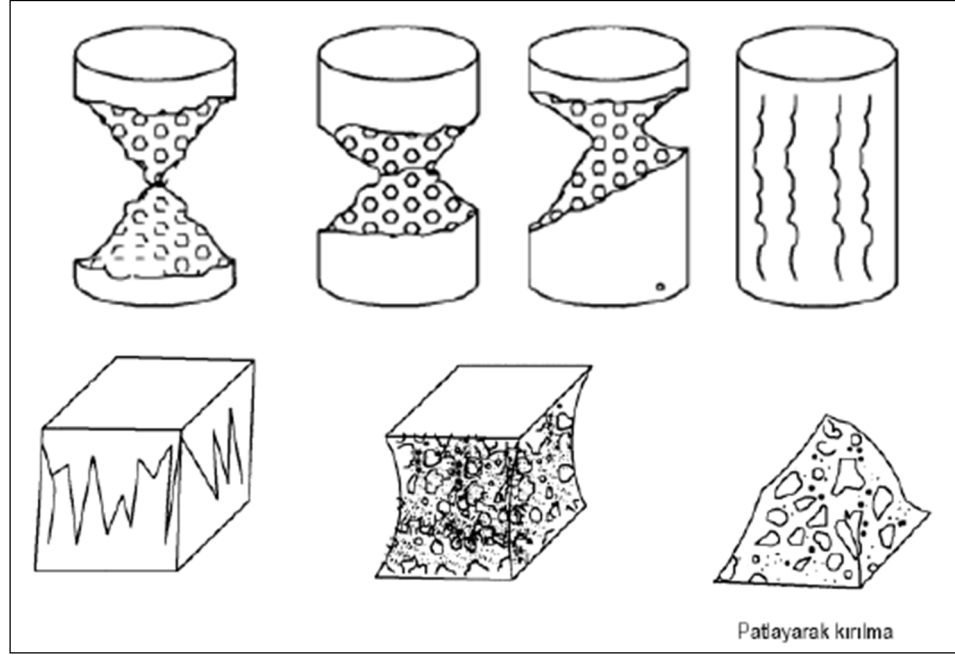
Basınç dayanımı aşağıda verilen (3.2) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²)

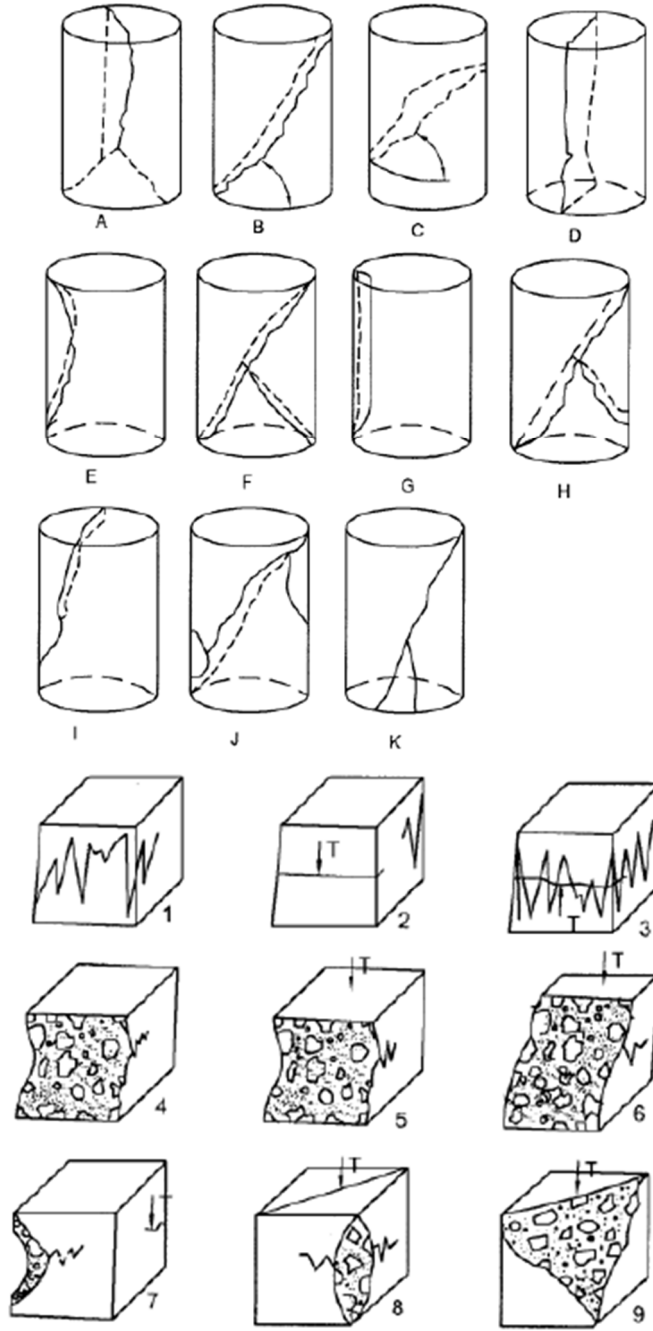
F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

Ao: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm²

Numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneylerinin tatmin edici doğrulukta yapıldığının göstergesi olan numune kırılma şekilleri Şekil 3.14’da ve tatmin edici olmayan numune kırılma şekilleri Şekil 3.15’de gösterilmiştir [38].



Şekil 3.14. Silindir ve küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri [38] .



Şekil 3.15. Silindir ve küp numunelerin tatmin edici olmayan kırılma şekilleri [38].

Basınç dayanımı test numuneleri RT Beton Çelik Malzeme Test Laboratuvarı'nda bulunan 2000 kN kapasiteli basınç test cihazında test edilmiştir. Şekil 3.16'da test cihazı ve Şekil 3.17'de test esnasındaki numunenin pozisyonu ve test sonrası fotoğrafı Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Basınç dayanımı testinde kullanılan test cihazı.



Şekil 3.17. Numunenin test cihazına yerleştirilmesi.



Şekil 3.18. Basınç dayanımı testi yapılan numunenin son hali.

EPS ilaveli hafif betonlarda hafif agrega olarak kullanılan EPS malzemesinin dağılımı Şekil 3.19’da verilmiştir.

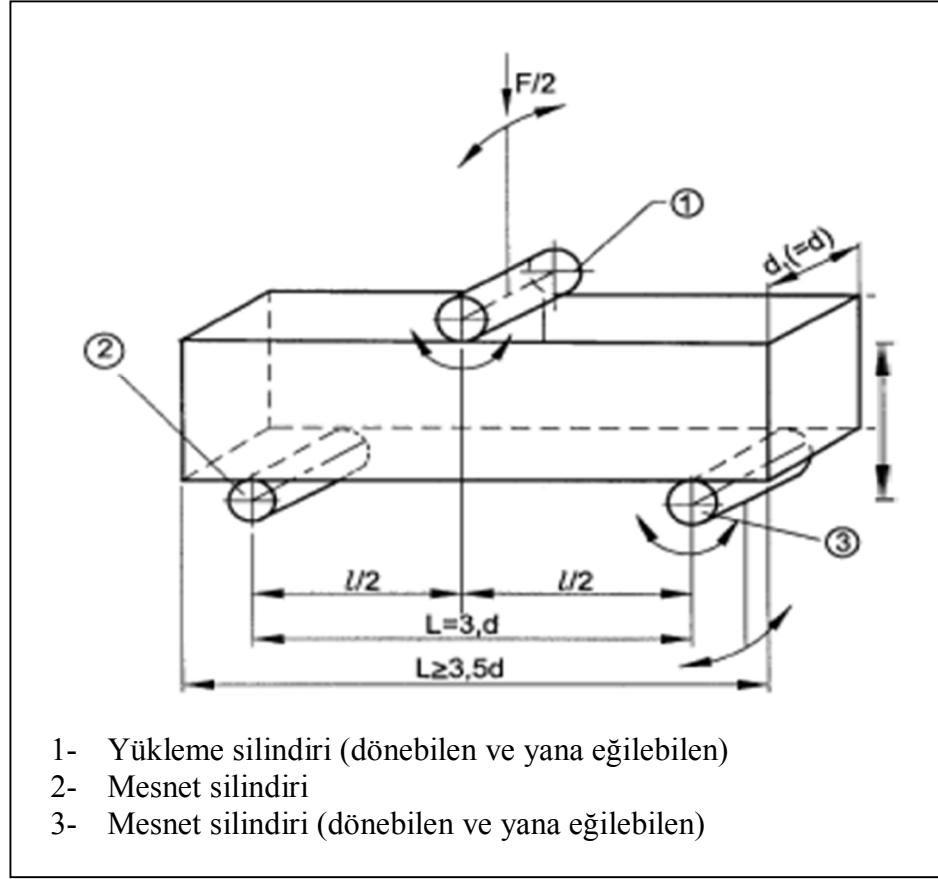


Şekil 3.19. Hafif betonda kullanılan EPS dağılımı.

3.2.2.4. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı için her bir karışım oranından 100x350x100 mm 3 adet 28 günlük suda bekletilen numuneler eğilme dayanımı testi TS EN 12930-5’e göre yapılmıştır.

Numuneler üzerine orta noktadan yük uygulaması Şekil 3.20’de gösterildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri mesnetler üzerine silindirlere dik gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Deney numunesi yükleme düzeneği [37].

Eğilme dayanımı aşağıda verilen (3.3) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

f_e : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm^2)

F : En büyük büyük yük, N

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

d_1, d_2 : Numunenin en kesit boyutları, mm [46].

3.2.2.5. Isıl İletkenlik

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği; malzemenin tanecik derecesine, taneciklerin büyüklük ve dağılım durumuna, yapısına, malzeme içindeki nem miktarına ve birim hacim ağırlığına bağlı olarak değişir. Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği, denge koşullarında iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1 °C olduğunda birim zamanda (1 saat), birim alanından (1 m²), bu alana dik yönde birim kalınlığından (1 m) geçen ısı miktarı ile ölçölür. Birimi W/m °K 'dir.

Isı iletkenlik katsayısı aşağıdaki (3.4) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{2 \cdot A \cdot \Delta T} \quad (3.4)$$

Q : ısıtıcı plakaya beslenen elektrik gücü (Watt)

ΔT : yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı (C veya K)

l : numune kalınlığı (m),

A : ısıtıcı plaka alanı (m²)

Genleşmiş yüksek fırın cürufu, perlit, cam, uçucu kül ve sünger taşı agregalarının kimyasal yapıları diğer agregalara göre daha camsıdır. Bu agregalar ile yapılan betonlar kuru birim hacim ağırlıklarına göre diğer betonlara göre daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptirler. Farklı yapı malzemelerine ait ısı iletkenlik değerleri Çizelge 3.11'de verilmiştir [51,52].

Çizelge 3.11. Farklı yapı malzemelerine ait ısı iletkenlik değerleri [53].

Malzeme	λ W/(m·K)	Malzeme	λ W/(m·K)
Ahşap	0.140	Briket	0.814
Alçı, dış	0.139	Buz	2.326
Alçı, iç	0.291	Cam	1.1163
Amyant (asbest)	0.209	Cam pamuğu	0.0407
Asfalt	0.744	Deri	0.175
Bakalit	0.233	Etörnit	0.0291
Betonarme	1.512	Grafit	0.523
Betosek	0.175	Grobeton	1.047
Bitüm	0.175	Heraklit	0.151
Bitümlü kanaviçe	0.349	İnce talaş	0.093
Blokaj	0.582	İzotaş	0.175
Karamozayik	0.279	Polistren (köpük)	0.0349
Kiremit	0.523	Porselen	1.1163
Kizelgur	0.174	Ruberoit	0.140
Kontrplak	0.175	Sıva, dış	0.872
Kum	0.582	Sıva, iç	0.698
Lastik	0.186	Şap	1.047
Linolyum	0.186	Taş	2.326
Mantar (yerli)	0.0698	Tesviye betonu	1.047
Marley	0.186	Tuğla (delikli)	0.465
Mermer	0.908	Tuğla, dış (dolü)	0.872
Mika	0.965	Tuğla, iç (dolü)	0.698
Mukavva	0.140	Yton, dış	0.175
Pamuk	0.0582	Yton, iç	0.151
Pleksiglas	0.186	Yün	0.0465

Isıl iletkenlik testi için her bir karışım oranından 500x500x50 mm ölçülerinde hazırlanan hafif beton numuneleri Çevre Enerji Verimlilik Kalite Kurulu İktisadi İşletmesi (ÇEVKAK) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akış sayacı metotlarıyla TS EN 12664'e göre yapılmıştır. Numuneler deney öncesinde 24 saat etüvde tutularak kurutulmuştur. Numuneler ısıtıcı plaka ile soğutucu plakaların arasına konularak ısıtma işlemi yapılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, genişletilmiş polistiren köpük granüllerin karıştırılmasıyla elde edilen betonun karakteristik özellikleri incelenmiştir. Farklı oranlarda atık polistiren (EPS) ilave edilen beton karışımından Karışım 1, Karışım 2 ve Karışım 3 olmak üzere 3 farklı karışım hazırlanmıştır. Her bir karışımdan su emme, rötre tayini ve basınç dayanımı testleri için 7 adet 100x100x100 mm, eğilme testi için 3 adet 100x350x100 mm ve ısıl iletkenlik testi için 1 adet 500x500x50 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Sertleşmiş hafif beton numuneler üzerine su emme, rötre tayini, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısıl iletkenlik testleri uygulanmıştır ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Hazırlanan hafif beton numunelerine verilen kodlamalar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin kodlanması.

Numune Kodlaması	Açıklama
Karışım 0 (K0)	Kontrol betonu (% 0 EPS ilavesiz)
Karışım 1 (K01)	% 1 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)
Karışım 2 (K01,5)	% 1,5 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)
Karışım 3 (K02)	% 2 EPS ilaveli hafif beton (Çimento ağırlığının)

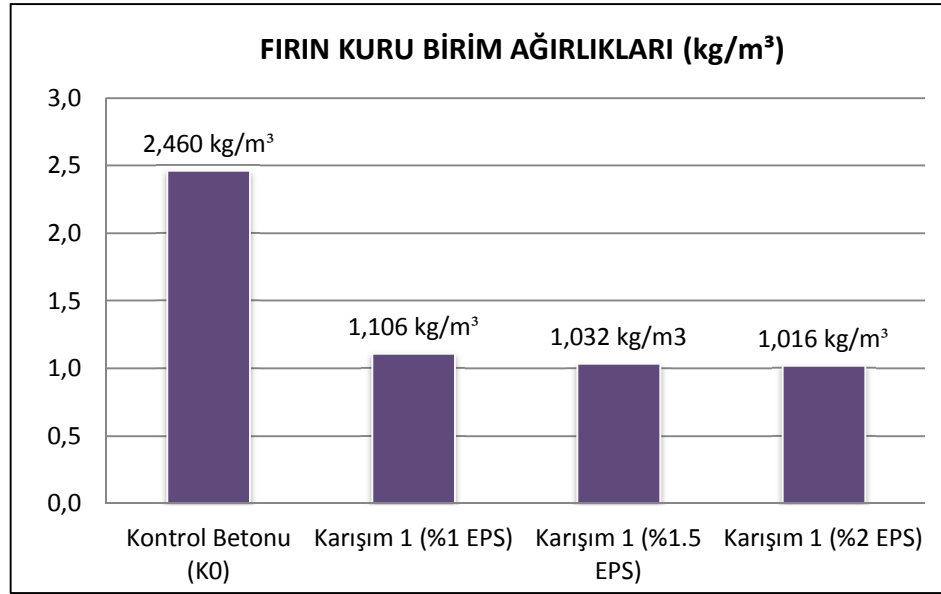
4.1. SU EMME ORANI TESTİ

Su emme oranı testi Bölüm 3.2.2.1’de belirtilen değerlere uygun olarak yapılmıştır. Su emme testi için 2 adet 100x100x100 mm olarak ölçülerinde hafif beton numuneler hazırlanmıştır.

Su emme oranları belirlenmesi deneyinde kullanılan numunelerin fırın kuru birim ağırlıkları Çizelge 4.2’de ve birim ağırlıklarına ait grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Su emme oranlarının belirlenmesi deneyinde kullanılan numunelerin fırın kuru birim ağırlıkları.

		Kontrol Betonu (K0)	Karışım 1 (K01)	Karışım 2 (K01,5)	Karışım 3 (K02)
Fırın kuru birim ağırlıkları, kg/m ³	1. Numune	2,580	1,093	1,004	1,034
	2. Numune	2,460	1,106	1,032	1,016
	Ortalama	2,460	1,106	1,032	1,016



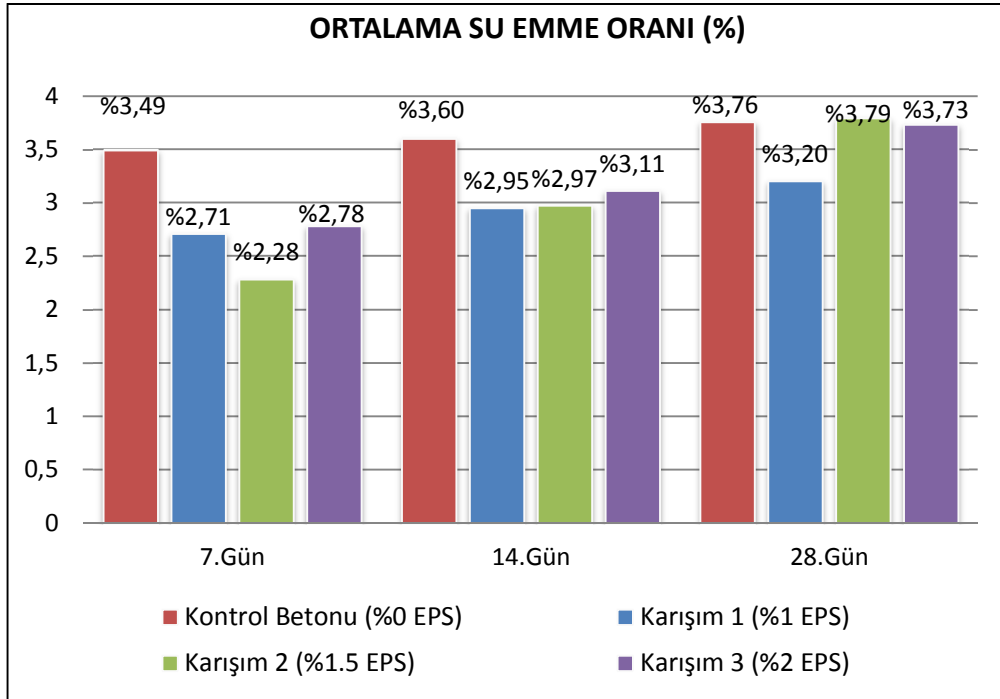
Şekil 4.1. Sertleşmiş hafif betonların fırın kuru birim ağırlıklarına ait grafik.

Hafif beton numunelerine katılan EPS polistiren köpük granüllerinin birim ağırlığa etkisi Şekil 4.1’de görülmektedir. EPS polistiren köpük granüllerinin miktarı arttıkça betonların fırın kuru birim ağırlıkları azalmaktadır. Normal betona göre hafif betonun birim ağırlığı % 42 daha hafif olduğu gözlemlenmiştir.

Bölüm 3’de su emme testinin (3.1) bağıntısı kullanılarak hesaplanan su emme oranları Çizelge 4.3’de ve su emme değerlerine ait grafik Şekil 4.2 ve 4.3’te verilmiştir.

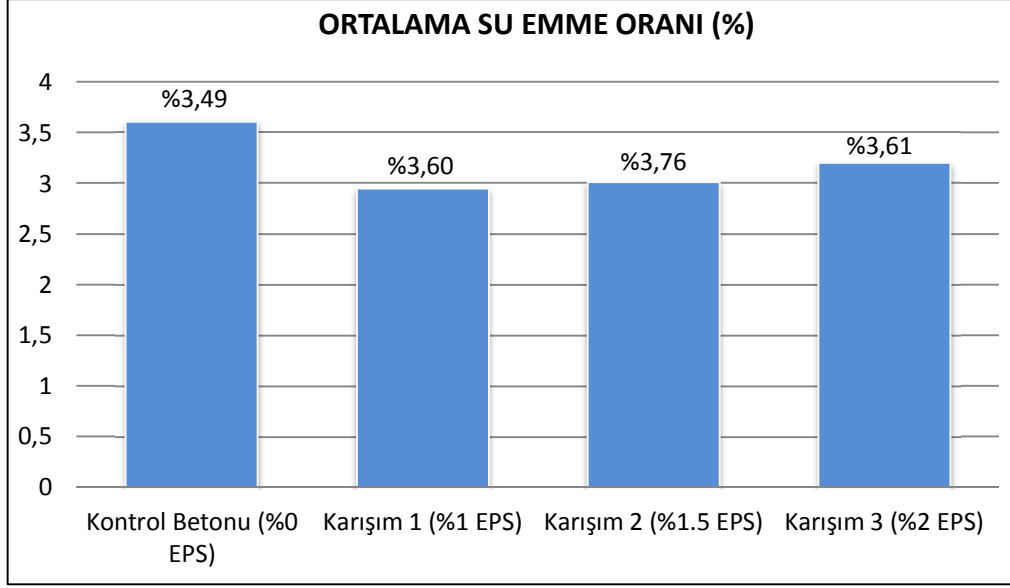
Çizelge 4.3. Sertleşmiş hafif beton su emme oranları (%).

Numune Kodları		7. gün	14. gün	28.gün	Ortalama (%)	
Kontrol Betonu (K0)	1. Numune	3,52	3,61	3,86	3,66	3,61
	2. Numune	3,46	3,58	3,65	3,56	
Karışım 1 (K 01)	1. Numune	2,90	3,19	3,39	3,16	2,95
	2. Numune	2,52	2,71	3,00	2,74	
Karışım 2 (K 01,5)	1. Numune	2,47	3,51	4,6	3,53	3,01
	2. Numune	2,08	2,42	2,98	2,49	
Karışım 3 (K 02)	1. Numune	2,56	2,87	3,43	2,95	3,2
	2. Numune	2,99	3,34	4,02	3,45	



Şekil 4.2. Sertleşmiş hafif betonun 7-14-28 günlük ortalama su emme oranına ait grafik.

Şekil 4.2'ye göre sertleşmiş hafif beton numunelerine uygulanan 7-14 ve 28 günlük su emme testi sonucunda numunelerin su emme oranları kür süresine bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 4.3. Sertleşmiş hafif betonun ortalama su emme oranına ait grafik.

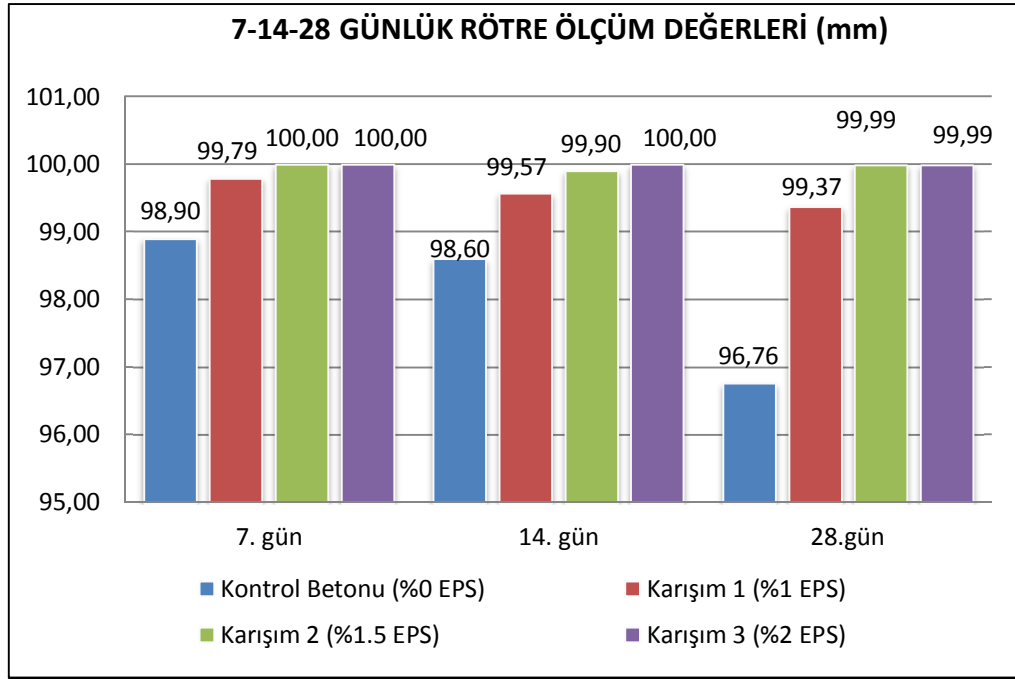
Şekil 4.3'te sertleşmiş hafif beton numunelerine uygulanan 7-14 ve 28 günlük su emme testi sonucunda numunelerin ortalama su emme oranları kontrol betonuna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Su emme oranı en az % 1 oranında EPS katkı Karışım 1 serisinde meydana gelmiştir. Hafif beton numunelerine ilave edilen atık EPS oranı arttıkça su emme oranı da artmaktadır.

4.2. RÖTRE TAYİNİ TESTİ

Rötre tayini testi Bölüm 3.2.2.2'de belirtilen değerlere uygun olarak yapılmıştır. Rötre tayini, hazırlanan hafif beton numunelerin 7-14 ve 28. gündeki okunan değerleri Çizelge 4.4'te ve ortalama rötre ölçüm değerlerine ait grafik Şekil 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

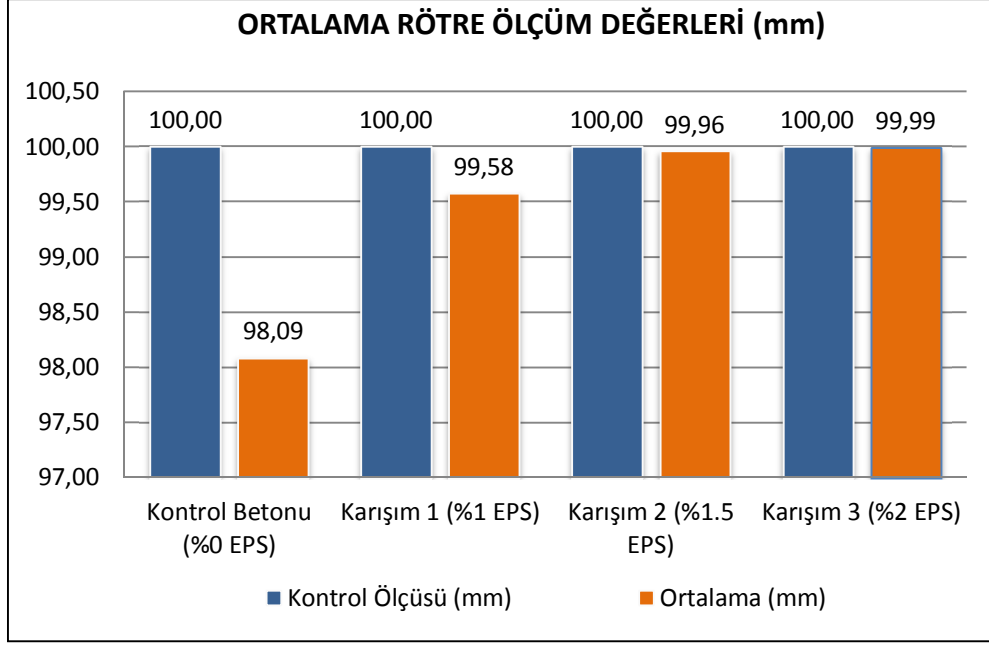
Çizelge 4.4. Su emme oranlarının belirlenmesi deneyinde kullanılan numunelerin 7-14 ve 28. gündeki rötre ölçüm sonuçları (mm).

Numune Kodları		7. gün	14. gün	28.gün	Ortalama (mm)	
Kontrol Beton (K0)	1. Numune	98,9	98,7	96,65	98,08	98,085
	2. Numune	98,9	98,5	96,87	98,09	
Karışım 1 (K 01)	1. Numune	99,98	99,72	99,62	99,77	99,575
	2. Numune	99,60	99,42	99,11	99,38	
Karışım 2 (K 01,5)	1. Numune	99,99	99,90	99,90	99,93	99,96
	2. Numune	100,00	99,99	99,98	99,99	
Karışım 3 (K 02)	1. Numune	99,99	99,99	99,98	99,986	99,988
	2. Numune	2. Numune	100,00	99,99	99,99	



Şekil 4.4. Sertleşmiş hafif betonun 7-14-28 günlük rötre ölçüm değerlerine ait grafik.

Şekil 4.4'e göre sertleşmiş hafif beton numunelerine uygulanan 7-14 ve 28 günlük kür sonunda numunelerin üzerinde yapılan ölçümler sonucunda numune boylarında azalmalar meydana gelmiştir. Numuneler üzerinde oluşan küçülmeler normal betonda, en az küçülme % 2 EPS katkıli Karışım 2 serisinde oluşmuştur.



Şekil 4.5. Sertleşmiş hafif betonların ortalama rötre ölçüm değerlerine ait grafik.

Şekil 4.5'te sertleşmiş hafif beton numunelerine uygulanan ortalama 7-14 ve 28. gün sonunda ölçülen değerler sonucunda kontrol ölçüsü 100x100x100 mm olan numunelere göre numunelerin boylarında küçülmeler meydana gelmiştir. Normal betonda % 2, hafif beton numunelerinde en az Karışım 2'de % 1 oranında küçülme oluşmuştur.

4.3. BASINÇ DAYANIMI TESTİ

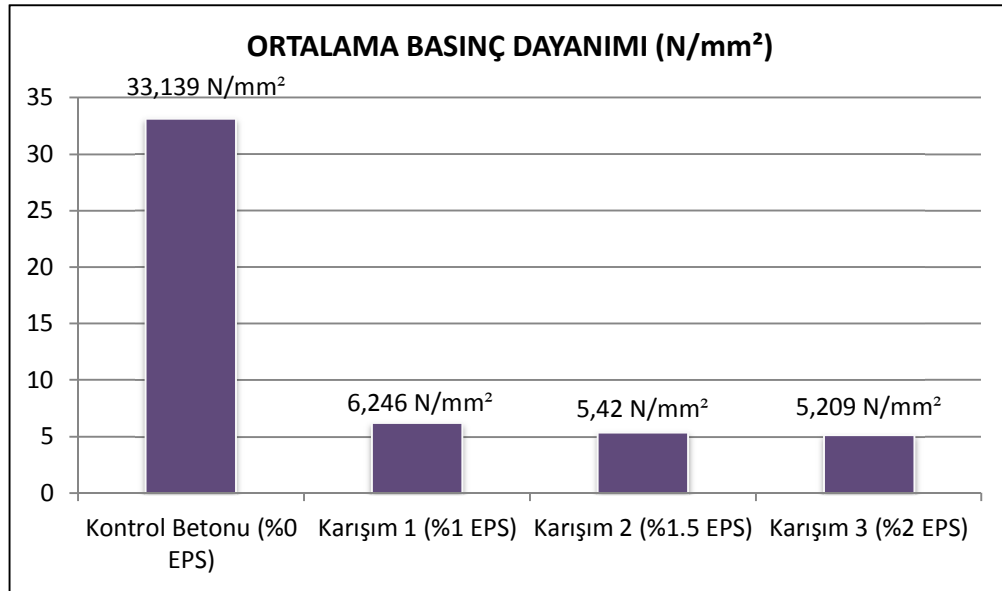
Basınç dayanımı testi Bölüm 3.2.2.3'te belirtilen ölçütlere uygun olarak yapılmıştır. Basınç dayanımı için hazırlanan numunelerin, 28. gündeki sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.5'te ve basınç dayanımına ait değerler Şekil 4.6'da verilmiştir.

28 günlük ortalama basınç dayanımı normal betonda 33,139 N/mm², hafif beton numunelerinde en yüksek basınç dayanımı Karışım 1 olan seride 6,246 N/mm², en düşük basınç dayanımı Karışım 3 olan seride 5,209 N/mm² elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Sertleşmiş hafif betonun basınç dayanımı sonuçları (N/mm²).

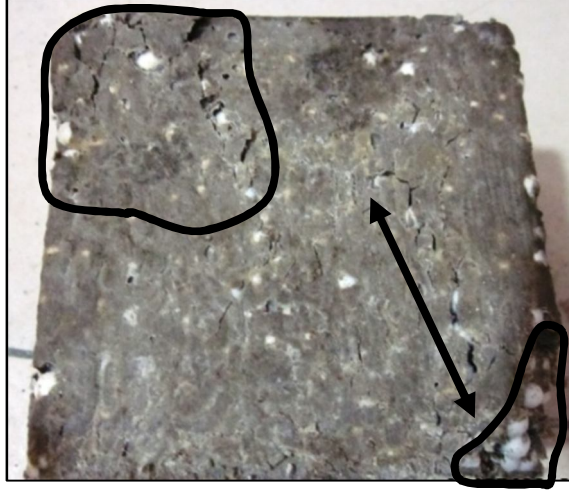
Numune Kodları		Kesme Dayanımı Değerleri (N/mm ²)	Dayanım Ortalaması (N/mm ²)
Kontrol Beton (K0)	1. Numune	33,568	33,139
	2. Numune	32,467	
	3. Numune	33,382	
Karışım 1 (K 01)	1. Numune	6,223	6,246
	2. Numune	6,223	
	3. Numune	6,293	
Karışım 2 (K 01,5)	1. Numune	4,633	5,420
	2. Numune	5,484	
	3. Numune	6,154	
Karışım 3 (K 02)	1. Numune	4,984	5,209
	2. Numune	5,320	
	3. Numune	5,565	

Hafif beton ve kontrol betonları üzerinde yapılan basınç dayanımına ait testlerde polistiren köpük ilave edilen hafif betonların normal betona göre daha az dayanıma sahip olduğu görülmektedir. EPS polistiren köpük granüllerin oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Sertleşmiş hafif betonların 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik.

Basınç dayanımı testinde uygulanan kuvvete karşılık Karışım 1 numunesinde meydana gelen kırılmalar Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Numune üzerinde oluşan kırılmalar yükleme başlığının temas ettiği yüzeylere ve köşe noktalarında oluşmuştur.



Şekil 4.7. Basınç dayanımı testi sonrası Karışım 1 numunesinde oluşan kırılmalar.

4.4. EĞİLME DAYANIMI TESTİ

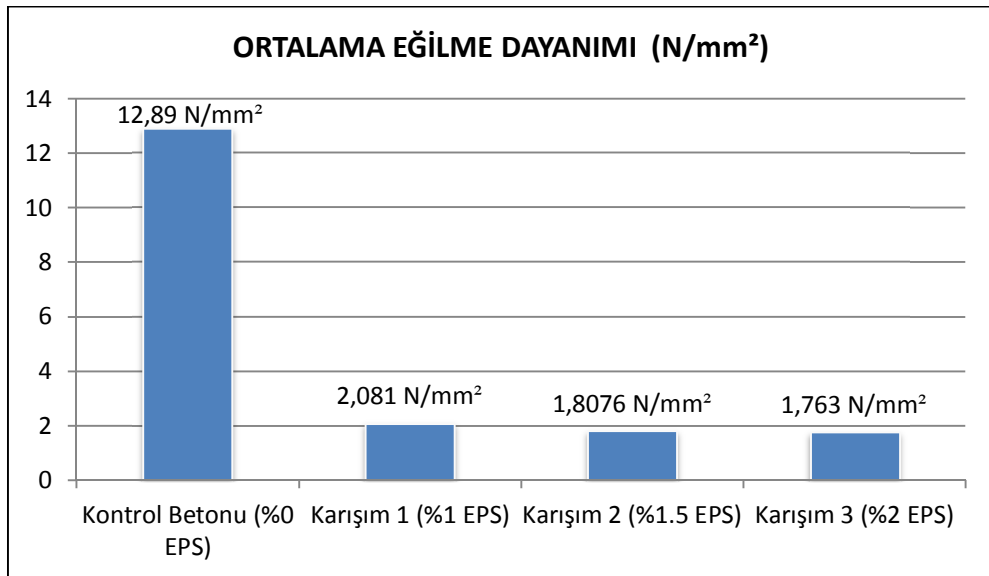
Eğilme dayanımı testi Bölüm 3.2.2.4’te belirtilen ölçütlere uygun olarak yapılmıştır. Eğilme dayanımı için 100x350x100 mm olarak hazırlanan numunelerin, 28. gündeki sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.6’da ve eğilme dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.

28 günlük ortalama eğilme dayanımı normal betonda 12,89 N/mm², hafif beton numunelerinde en yüksek eğilme dayanımı Karışım 1 olan seride 2,081 N/mm², en düşük basınç dayanımı Karışım 3 olan seride 1,763 N/mm² elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Sertleşmiş betonun eğilme dayanımı sonuçları (N/mm²).

Numune Kodları		Eğilme Dayanımı Değerleri (N/mm ²)	Dayanım Ortalaması (N/mm ²)
Kontrol Betonu (K0)	1. Numune	4,30	12,89
	2. Numune	4,27	
	3. Numune	4,32	
Karışım 1 (K 01)	1. Numune	2,074	2,08
	2. Numune	2,074	
	3. Numune	2,097	
Karışım 2 (K 01,5)	1. Numune	1,544	1,81
	2. Numune	1,828	
	3. Numune	2,051	
Karışım 3 (K 02)	1. Numune	1,661	1,76
	2. Numune	1,773	
	3. Numune	1,855	

Hafif beton ve kontrol betonları üzerinde yapılan eğilme dayanımına ait testlerde polistiren köpük ilave edilen hafif betonların normal betona göre daha az dayanıma sahip olduğu görülmektedir. EPS polistiren köpük granüllerin oranı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Sertleşmiş hafif betonların 28 günlük ortalama eğilme dayanımı değerleri ait grafik.

4.5. ISIL İLETKENLİK TESTİ

Farklı uygulama yapılmış ısı iletkenlik numunelerin (500x500x50 mm) ısı iletkenlik testi Bölüm 3.2.2.5'te belirtilen ölçütlere uygun olarak yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre elde edilen değerler Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. % 1 Atık EPS ilaveli Karışım 1 deney numunesinin ısı iletkenlik test sonucu ve değerleri.

Deney Verileri	Birim	Karışım 1 Numunesi
Deney numune boyutları	mm	500x500x50
Şartlandırma Sıcaklığı	°C	23 ±5
Isıtıcı plaka alanı	m ²	0,625
Sıcak Folyo Sıcaklığı	°C	30.6
Soğuk Folyo Sıcaklığı	°C	15.3
Deney sırasında deney numunesinin yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık farkı	°C	15.3
Deney numunesinin etüvde kaldığı süre	Saat	27
Deney numunesinin etüvde kaldığı sıcaklık	°C	116
Deney sonucu elde edilen ısı iletkenlik değeri	W/mK	0,3921

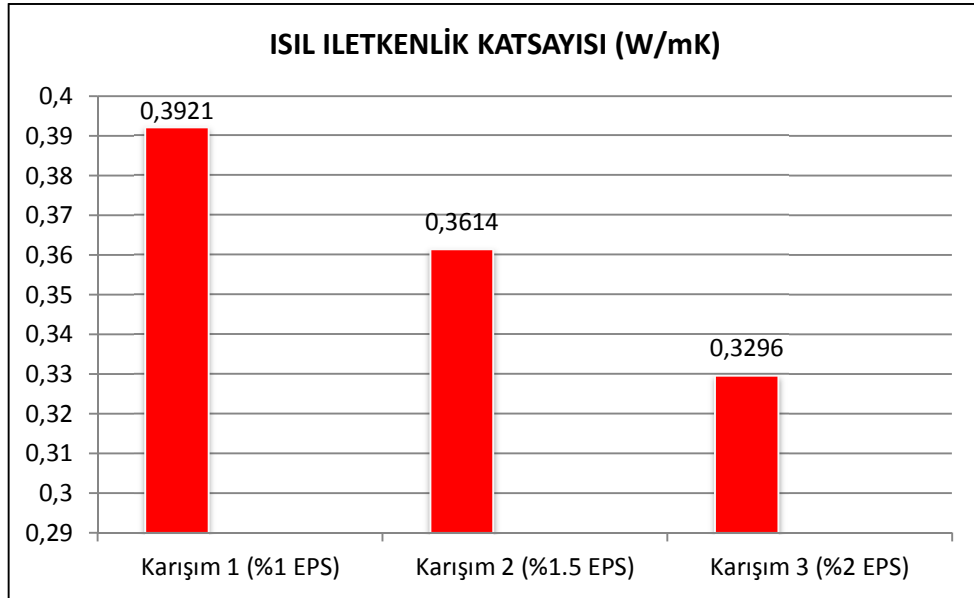
Çizelge 4.8. % 1,5 Atık EPS ilaveli Karışım 2 deney numunesinin ısı iletkenlik test sonucu ve değerleri.

Deney Verileri	Birim	Karışım 2 Numunesi
Deney numune boyutları	mm	500x500x50
Şartlandırma Sıcaklığı	°C	23 ±5
Isıtıcı plaka alanı	m ²	0,625
Sıcak Folyo Sıcaklığı	°C	30.8
Soğuk Folyo Sıcaklığı	°C	14.6
Deney sırasında deney numunesinin yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık farkı	°C	16.6
Deney numunesinin etüvde kaldığı süre	Saat	28,5
Deney numunesinin etüvde kaldığı sıcaklık	°C	115
Deney sonucu elde edilen ısı iletkenlik değeri	W/mK	0,3614

Çizelge 4.9. % 2 Atık EPS ilaveli Karışım 3 deney numunesinin ısı iletkenlik test sonucu ve değerleri.

Deney Verileri	Birim	Karışım 3 Numunesi
Deney numune boyutları	mm	500x500x50
Şartlandırma Sıcaklığı	°C	23 ±5
Isıtıcı plaka alanı	m ²	0,625
Sıcak Folyo Sıcaklığı	°C	31.5
Soğuk Folyo Sıcaklığı	°C	13.3
Deney sırasında deney numunesinin yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık farkı	°C	18.2
Deney numunesinin etüvde kaldığı süre	Saat	28,5
Deney numunesinin etüvde kaldığı sıcaklık	°C	115
Deney sonucu elde edilen ısı iletkenlik değeri	W/mK	0,3296

Hafif beton numunelerine ilave edilen polistiren köpük granüllerinin ısı iletkenlik katsayısı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.9’da verilmiştir. Beton karışımına ilave edilen polistiren köpük granüllerinin karışım oranı arttıkça ısı iletkenlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.9. Sertleşmiş hafif betonların ısı iletkenlik test sonuçlarına ait grafik.

Normal betonun ısı iletkenlik değeri 1,512 W/mK, briketin 0,814 W/mK, tuğlanın 0,465, ytongun 0,175 W/mK’dir [53].

Hafif beton numuneleri üzerine uygulanan ısı iletkenlik testinde ısı iletkenlik değeri en yüksek Karışım 1 numunesinde 0,3921 W/mK, en düşük Karışım 3 numunesinde 0,3296 W/mK elde edilmiştir. Elde edilen ısı iletkenlik sonuçlarına göre Karışım 3 serisi en düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir ve buna bağı olarak ısı yalıtımı yüksektir. Isı iletkenliği düşük olan malzemelerin yalıtım amaçlı kullanımı daha iyi olur.

Yapı malzemelerinde ısı iletkenliği düşük olan bir malzemenin ısı yalıtımı yüksektir. Isı yalıtımında kullanılacak yapı malzemesinin ısı iletkenlik katsayı değeri düşük olmalıdır.

4.6. EKONOMİK KARŞILAŞTIRMA

Hafif beton için yapılacak ekonomik karşılaştırma diğ er yapı malzemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.10'da verilen değerler 2013 birim fiyatlar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Her malzemeye ait elde edilen birim fiyatlar esas alınarak 1 m³'lük hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.10. Hafif betonun diğ er yapı malzemeleriyle ekonomik karşılaştırması.

	1m ³ duvar için kullanılacak malzeme miktarı	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL)
Beton duvar	2540 kg	103,00 TL/m ³	103,00 TL
Tuğ la duvar (Tuğ la+Sıva)	190 adet (19x19x13,5 cm)	0,55 TL/adet	104,5 TL
Gaz beton duvar (Gaz beton+tutkal)	49 adet (60x25x15 cm)	2,60 TL/adet	127,40 TL
Hafif beton (Karışım 2)	1004 kg	85,00 TL/m ³	85,00 TL

Çizelge 4.10'da yapılan ekonomik karşılaştırma sonucunda % 1,5 EPS katkı Karışım 2 hafif beton numunesinin diğ er yapı elemanlarına göre ekonomik olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Hafif beton üretimi üzerine yapılan bu çalışmada sabit su/çimento oranına sahip hafif betonlara atık EPS ilave edilerek üretilen hafif betonların karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada % 1 (Karışım 1), % 1,5 (Karışım 2) ve % 2 (Karışım 3) oranlarında atık EPS ilaveli hafif beton numuneleri üretilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde birim ağırlık, su emme, rötre tayini, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısıl iletkenlik testleri uygulanmıştır. Çalışmada atık EPS ilave edilerek üretilen hafif betonların karakteristik özelliklerini, çevre dostu, yalıtımlı ve taşıyıcı bir malzeme üretimi amaçlanmıştır. Doğada oluşan atık malzemelerin geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin önüne geçilip, hem atık malzemenin kullanımı hem de ekonomiye katkısı sağlanacaktır.

Bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Hazırlanan hafif beton numunelerinin birim ağırlıklarının normal betona (kontrol betonuna) göre daha hafif olduğu görülmüştür. % 1 oranında atık EPS ilaveli hafif betonun birim ağırlık değeri $1,106 \text{ kg/m}^3$ olarak, % 2 oranında atık EPS ilaveli hafif betonun birim ağırlık değeri ise $1,016 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Buradan hafif betona ilave edilen atık EPS polistiren granüllerin miktarı arttıkça elde edilen hafif beton numunelerinin birim ağırlığının azaldığı sonucuna varılmıştır. Betonların birim ağırlıklarına bakıldığında üretilen % 1-% 1,5 ve % 2 oranında atık EPS katkılı hafif betonların hafif beton sınıfına girdiği ve normal beton ağırlığından yaklaşık % 42 daha hafif bir beton elde edildiği görülmüştür.

2. Atık EPS ilave edilerek üretilen hafif betonların birim ağırlığının, karışımdaki polistiren oranı artırdıkça düştüğü görülmüştür. Böylece, polistirenli hafif betonların, balkon ve çatı parapetleri gibi yapı elemanlarda kullanılması yapı ağırlığındaki azalmadan dolayı, temel ve taşıyıcı elamanların boyutları konusunda ekonomiklik sağlayacağı düşünülebilir.
3. Hazırlanan hafif beton numunelerin 7-14 ve 28 gün boyunca su emme oranları tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde su emme oranları sonuçları en düşük % 1 atık EPS ilaveli hafif beton numunelerde % 2,95 oranında, en yüksek % 2 atık EPS ilaveli hafif beton numunelerde % 3,2 oranında olduğu görülmüştür. EPS oranı arttıkça hafif beton içerisindeki boşluklu gözeneklerin çok olmasından dolayı su emme oranlarının arttığı saptanmıştır. Aynı zamanda kontrol betonuna göre hazırlanan hafif beton numunelerinin su emme oranlarının birbirine yakın çıktığı görülmüştür.
4. Rötire tayini testlerinde hazırlanan 100x100x100 mm hafif beton numunelerin 7-14 ve 28.gündeki boylarındaki değişimler gözlenmiştir. Yapılan ölçümlerde % 1 atık EPS ilaveli hafif beton numunelerinde değişimin fazla olduğu, % 1,5 oranında atık EPS ilaveli hafif beton numunelerinde daha az olduğu saptanmıştır. Normal betonda küçülme % 2, hafif beton numunelerinde en az küçülme Karışım 2'de % 1 oranında oluşmuştur.
5. Hafif beton numunelerine uygulanan basınç dayanımı testlerinde % 1 atık EPS katkılı hafif betonların basınç dayanımı 6,246 N/mm², % 1,5 ve % 2 oranındaki atık EPS katkılı hafif betonların basınç dayanımı ise sırasıyla 5,42 N/mm² ve 5,209 N/mm² sonuçları elde edilmiştir. Buna göre % 1 atık EPS katkılı hafif beton numunelerinde EPS oranı az olduğu için basınca dayanıklı olduğu saptanmıştır. Ancak kontrol beton ile % 1 atık EPS katkılı hafif beton karşılaştırıldığında ise kontrol betonuna göre basınç dayanımının % 18,9 düşük olduğu sonucuna varılmıştır.
6. Hafif beton numunelerine farklı baskı kuvvetlerinde yapılan analizlerde en uygun şekillenmenin 48-50 kN baskı kuvvetleri arasında gerçekleştiği

görülmüştür. Bu baskı kuvvetinin altındaki kuvvetlerde numunelerde fiziksel etkinin fazla olmadığı, üzerindeki kuvvetlerde ise numuneler üzerinde çatlak ve kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. Uygulanan baskı kuvvetlerinde numune ile başlık arasında sıkışması ve üstten uygulanan kırılma yüküne maruz kalmasıyla köşelerde kırılma ve yanlara doğru patlamaların meydana geldiği görülmüştür.

7. Basınç dayanımı testleri sonucunda kırılan numunelerin TS 12390 standardına göre tatmin edici kırılma şekillerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda numuneler için hazırlanan taze betonun karışımlarının homojen olarak yapıldığı sonucuna varılmıştır.
8. Eğilme dayanımı testleri için hazırlanan 100x350x100 mm hafif beton numunelerinde uygulanan kuvvet sonucunda en fazla eğilme % 2 atık EPS ilaveli numunelerin üzerinde olduğu görülmüştür. 28 günlük ortalama eğilme dayanımı normal betonda 12,89 N/mm², hafif beton numunelerinde en yüksek eğilme dayanımı Karışım 1 olan seride 2,081 N/mm², en düşük basınç dayanımı Karışım 3 olan seride 1,763 N/mm² elde edilmiştir. Kontrol beton ile % 1 atık EPS katkılı hafif beton karşılaştırıldığında ise kontrol betonuna göre eğilme dayanımı % 16 düşük olduğu sonucuna varılmıştır.
9. Numunelere ilave edilen EPS oranı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı saptanmıştır. Numuneler üzerine uygulanan kuvvet sonucunda ortaya çıkan dayanımlar numunelere katılan atık EPS oranlarıyla ters orantılıdır.
10. Üretilen hafif betonların birim ağırlıkları 1016-1106 kg/m³ ve basınç dayanımları 5,209-6,246 N/mm² değerlerine göre S2-S3 hafif beton sınıfına girdiği saptanmıştır.
11. Uygulanan basınç ve eğilme dayanımı testleri sonuçlarına göre üretilen hafif beton numuneleri, yapıların ara bölmelerinde, yalıtım ve orta dayanımlı beton olarak kullanılabilmesi saptanmıştır.

12. Isıl iletkenlik testleri için hazırlanan 500x500x50 mm hafif beton numunelerinde uygulanan sıcaklık sonucunda en iyi sonucun % 2 atık EPS ilaveli numunelerde çıktığı görülmüştür. EPS oranı arttıkça ısı iletkenlik değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.
13. Hafif beton numuneleri üzerine uygulanan ısı iletkenlik testinde ısı iletkenlik değeri en yüksek Karışım 1 numunesinde 0,3921 W/mK, en düşük Karışım 3 numunesinde 0,3296 W/mK elde edilmiştir. Elde edilen ısı iletkenlik sonuçlarına göre Karışım 3 serisinin en düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu saptanmıştır.
14. Doğada atık halde bulunan polistiren köpük malzemelerin geri dönüşümü sağlanarak yalıtımlı ve yarı taşıyıcı hafif beton elde edilmiştir. Böylece atık malzemelerin geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin önüne geçilip, ekonomiye katkısı sağlanmıştır.
15. Doğada bulunan polistiren köpük atıkların granül olarak hafif betonda kullanılarak, yalıtımlı ve taşıyıcı beton üretiminde kullanılabileceği saptanmıştır.
16. Atık EPS polistiren granülleri kullanıldığı için atık EPS katkılı hafif betonun üretim maliyeti normal betona göre daha düşüktür.

5.2. ÖNERİLER

1. Yüksek dayanımlı çimento kullanılarak basınç dayanımı daha da yüksek elde edilebilir.
2. Atık polistiren (EPS)'in içerisine pet şişe, odun talaşı, araba lastikleri, cam gibi farklı atıklar karıştırılarak çalışılabilir.
3. Elyaf veya tel takviyeli atık EPS katkılı hafif betonların mekanik dayanım ve kullanım alanına göre istenilen özellikleri araştırılabilir.

4. Atık plastik malzemelerin hafif betonların mekanik dayanım ve kullanım alanına göre istenilen özellikleri araştırılabilir.
5. Yapılan numunelerin karışım oranları aynı kalacak şekilde sonlu elemanlar metoduyla analizleri yapılarak elde edilen değerleri kıyaslanabilir.
6. Hafif betonların içeriğine katılan EPS polistiren köpük granüllerin ses yalıtımı üzerindeki etkisi araştırılabilir.
7. Üretimi yapılan hafif betonların duvar bölmelerinde kullanılabilmesi için birbirine geçmeli kalıpların içerisine dökülerek duvar panelleri üretimi yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Hanoğlu, C., Sağlam, M., Yüksel, M. ve Hallice, L., “Plastik atıkların geri kazanılması”, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 15: 20-21 (1995).
2. İnternet: ÇEVKO, “Neden Geri Kazanım”, <http://www.cevko.org.tr/cevko/Ic-Sayfa/Tuketiciler/Neden-Geri-Kazanim-.asp> (2012).
3. MEGEP, “Geri Dönüşüm Makinelerinde Üretim 1”, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, 20-30 (2006).
4. Kocataşkın, F., “Yapı Malzemeleri Bilimi”, *Birsen Kitapevleri Yayınları*, İstanbul, 1-19 (2000).
5. Babu, K. G. and Babu, D. S., “Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume”, *Cement and Concrete Res.*, 33: 755-762 (2003).
6. Babu, D. S., Babu, K. G. and Wee, T. H., “Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash”, *Cement and Concrete Res.*, 35: 1218-1223 (2005).
7. Babu, D. S., Babu, K. G. and Wee, T. H., “Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete”, *Cement and Concrete Composites*, 28: 520-527 (2006).
8. Chen, B. and Liu, J., “Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber”, *Cement and Concrete Res.*, 34: 1259-1263 (2004).
9. Miled, K., Roy, R. L., Sab, K. and Boulay, C., “Compressive behavior of an idealized EPS lightweight concrete: Size effects and failure mode”, *Mechanics of Materials*, 36: 1031-1046 (2004).
10. Laukaitis, A., Zurauskas, R. and Keriene, J., “The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties”, *Cement and Concrete Composites*, 27: 41-47 (2005).
11. Chen, B. and Liu, J., “Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads”, *Construction and Building Materials*, 21 (1): 7-12 (2007).

12. Keleştemur, O. ve Yıldız, S., “Styropor katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 8 (3): 311-315 (2005).
13. İnternet: Hafif Beton Blok Ltd. Şti., “Köpük Beton”, <http://www.hafifbetonblok.com/334KBETONKASIM%202011.pdf> (2011).
14. Yıldız, S., Kaya, A. ve Keleştemur, O., “Styropor kullanılarak elde edilen hafif betonların fiziksel özelliklerinin deneysel olarak araştırılması“, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi*, 16 (2): 357-366 (2004).
15. Yıldız, S., Kaya, A. ve Keleştemur, O., “Styropor katılarak elde edilen betonun karakteristik özelliklerinin incelenmesi“, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi*, 19 (2): 155-165 (2007).
16. Gündüz, Ş., “Polistren agregalı hafif beton üzerine deneysel bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-69 (2007).
17. Taşdemir, C., “Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427: 57-61 (2003/5).
18. İlgün, A., “Hafif betondan imal edilmiş betonarme kirişlerin dayanım ve davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-3 (1992).
19. Öztok, İ., “Yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı beton”, Yüksek Lisans Tezi, *O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3 (1997).
20. Boratav, S. S. ve Yeginobalı, A., “Lif takviyeli yüksek dayanımlı hafif beton”, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, O.D.T.U.*, Ankara 255-256 (1997)
21. Katkhuda, H., Hanayneh, B. and Shatarat, N., “Influence of silica fume on high strength lightweight concrete”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58: 781-788 (2009).
22. Şatır, Y., “Taşıyıcı hafif betonlarda çelik lif kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-3 (2000).
23. Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A. ve Kıran, C., “ Betonda fiber katkı olarak polietilen tereftalatın kullanılabilirliğinin araştırılması”, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 3 (2): 17-28 (2011).
24. Şahin, S., Karaman, S. ve Özüng, İ., “Atık PVC katkılı hafif betonların özellikleri ve tarımsal yapılarda kullanım olanakları“, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* , 137-144 (2007).

25. Babu K. G. and Babu, D. S., Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, *Cement and Concrete Research*, 755-762 (2003).
26. Gürer C., Akbulut H. ve Kürklü G., "İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi", 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 28-35 (2004).
27. Rosato, D.V., Rosato, D. and Rosato, M., "Plastic Product Material and Process Selection Handbook", *Elsevier Science Ltd.*, 333-368 (2004).
28. Kanehiro, H. "Disposal and recycling of fisheries plastic Wastes: fishing net and expanded polystyrene", *Elsevier Science Ltd.*, 261-269 (2004).
29. İnternet: XPS Isı Yalıtımı Sanayicileri Derneği, "XPS nedir?" <http://www.xpsturkiye.org/sayfa.asp?ID=129> (2013).
30. İnternet: EPS Sanayi Derneği, "EPS nedir?" <http://www.epsder.org.tr/epsnedir> (2013).
31. İnternet: Ankara Üniversitesi "Organik Kimya – Polimerler", http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1066/mod_resource/content/1/7.%20Polimerler.pdf (2013).
32. Tuğ, S., "Polistiren enjeksiyonunda çevrim zamanı optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2-10 (2005).
33. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı "MEGEP, İnşaat Teknolojisi, Beton 1", <http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/insaat/moduller/Beton1.pdf> (2007).
34. İnternet: Usta, Hilal, "Hazır Beton Sektör Araştırması", <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-38.pdf> (2005).
35. Ünsal, A. ve Şen, H., "Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri", *T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü*, 1-8 (2008).
36. İnternet: Afyon Kocatepe Üniversitesi, "Yapı Malzemesi - Beton", http://www.teknolojikaestirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/3.HTM, (2013).
37. İnternet: Taşdemir, C. ve Şengül, Ö., "Hafif Betonların Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri" Türkiye Hazır Beton Birliği, [http://www.thbb.org/Files/File/beton2013bildiriler/Beton%202013%20cag rili%20Bildiriler/\[29-51\].pdf](http://www.thbb.org/Files/File/beton2013bildiriler/Beton%202013%20cag rili%20Bildiriler/[29-51].pdf) (2010).
38. İnternet: Beton Katkı Üreticileri Birliği, "Katkı sınıfları", www.kub.org.tr/katkisiniplari.html (2012).

39. İnternet: Dokuz Eylül Üniversitesi, “Yapı Malzemesi 1”, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/10.1._Fiziksel_ozellikler-web.pdf (2013).
40. İnternet: <http://aboutmaterials.blogspot.com/2009/05/yap-malzemelerinin-fiziksel-ozellikleri.html> (2013).
41. Öz, V., “Hafif agregalı blok üretiminde Yatağan uçucu külünün etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 10-30 (2007).
42. Camcıoğlu, V., “Hafif Betonlar” *İmar İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü*, Ankara (2000).
43. İnternet: Çimentoaş Trakya Çimento, http://www.cimentas.com.tr/trakya/index.php/tr/products/detail/PR_TK_B_P_32_5_R, (2013).
44. Erdoğan T.Y., ”Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. Genişletilmiş 2. Baskı*, Ankara,12-38 (2007).
45. Bilgi, M., “Yüksek performanslı prefabrike hafif betonların özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta,1-26 (2009).
46. İnternet: Orcan Ambalaj, <http://www.orcangroup.com/eps2.htm>, (2013).
47. İnternet: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Su Laboratuvar Hizmetleri, http://www.iski.gov.tr/Web/UserFiles/File/su_kalite_raporu/pdf/sukalite_mart2013t.pdf, (2013).
48. İnternet: Boysan Boya Ltd. Şti., <http://www.boysan.com.tr> (2013).
49. İnternet: Draco Yapı Kimyasalları Ltd. Şti., <http://www.draco.com.tr> (2013).
50. İnternet: İstanbul Teknik Ltd.Şti., <http://www.istanbulteknik.com> (2013).
51. *TS EN 12390-1*, “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm1; Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri”, *TSE*. Ankara (2002).
52. Yağanoğlu, V., “Tarımsal yapılarda kullanılan bazı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Erzurum, 25:19 (1994).
53. Eriç, M., “Yapı Fiziği ve Malzemesi”, *Literatür Yayınevi*, İstanbul, 98-152 (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Hüsniye ÖZÇELİK 1983 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Zeytinburnu Endüstri Meslek Lisesi Makine Ressamlığı Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2006 yılında mezun olduktan sonra özel sektörde iş hayatına başladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bahçeşehir 2.Kısım Mah. Yeşilyuvam Sitesi D Blok Kat:4
Başakşehir / İSTANBUL
Tel : 0535 542 49 34
E-posta : husniyeozcelik@gmail.com