

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**ATIK EPS AGREGALI HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Proje No: FBA-2014-5191
NORMAL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Doç. Dr. Okan KARAHAN
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı

Öğr. Gör. Zehra Almaz ÖZCAN
Tomarza Mustafa Akıncıoğlu MYO İnşaat Bölümü

Araştırmacı

Öğr. Gör. İsmail İsa ATABEY
Sivas Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü

Kasım 2016
KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Proje yürütücüsü projeye finansal destekleri için Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür eder (Proje no: FBA-2014-5191). Ayrıca projeye katkılarından dolayı Koyuncu Kimya Dış Tic. İnş. Elektr. Elektronik. San. Ltd. şirketine teşekkür eder.

İÇİNDEKİLER

Teşekkür	i
İçindekiler.....	ii
Tablolar Listesi.....	iii
Şekiller Listesi.....	iv
Özet	v
Abstract	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	8
3.1. Malzemeler.....	8
3.1.1. Çimento.....	8
3.1.2. Atık EPS.....	9
3.1.3. Kum.....	10
3.1.4. Ajan.....	10
3.1.5. Su.....	11
3.2. Deneysel Program.....	11
4. BULGULAR.....	14
4.1. İşlenebilme.....	14
4.2. Birim hacim ağırlık.....	15
4.3. Su emme ve boşluktuluk oranı.....	16
4.4. Eğilme dayanımı.....	18
4.5. Basınç dayanımı.....	19
4.6. Aşınma direnci.....	21
4.7. Kılcal su emme.....	23
4.8. Rötire.....	25
4.9. Isıl iletkenlik.....	26
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	29
6. KAYNAKLAR.....	33

Tablolar Listesi

Tablo 2.1. Hafif Betonların Karışım Oranları	6
Tablo 2.2 Hafif Betonların Birim Ağırlıkları ve Dayanımları	6
Tablo 2.3. Genleştirilmiş Polistiren Hafif Betonların Basınç Dayanımları	7
Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel ve dayanım özellikleri	8
Tablo 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri	8
Tablo 3.3. Kumun tane boyutu dağılımı	10
Tablo 3.4. Kumun fiziksel özellikleri	10
Tablo 3.5. E 200P ajanın teknik özellikleri	11
Tablo 3.6. Atık EPS agregalı normal dayanımlı harç karışım oranları	12
Tablo 3.7. Atık EPS agregalı yüksek dayanımlı harç karışım oranları	12
Tablo 4.1. Harçların işlenebilirlik değerleri	15
Tablo 4.2. Harçların birim hacim ağırlık değerleri	15
Tablo 4.3. Normal dayanımlı hafif harçların su emme ve boşlukluluk oranları	16
Tablo 4.4. Yüksek dayanımlı hafif harçların su emme ve boşlukluluk oranları	17
Tablo 4.5. Harçların eğilme dayanım sonuçları	19
Tablo 4.6. Harçların basınç dayanım sonuçları	20
Tablo 4.7. Harçların aşınma sonuçları	22
Tablo 4.8. Normal dayanımlı hafif harçların kılcal su emme sonuçları	24
Tablo 4.9. Yüksek Dayanımlı hafif harçların kılcal su emme sonuçları	24
Tablo 4.10. Hafif şap ısı iletkenlik katsayısı sonuçları	28

Şekiller Listesi

Şekil 2.1. Genleştirilmiş polistiren (EPS)	2
Şekil 2.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması	5
Şekil 3.1. Kırık atık EPS lerin ve öğütücünün görünümü	9
Şekil 3.2. Öğütülmüş atık EPS lerin görünümü	9
Şekil 3.3. Hobart mikserinde harç karışımı	12
Şekil 3.4. Hazırlanan numunelerin görünümü	13
Şekil 4.1. Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi	14
Şekil 4.2. Eğilme dayanımı deneyi	18
Şekil 4.3. Basınç dayanımı deneyi	20
Şekil 4.4. Aşınma deneyi	21
Şekil 4.5. Kılcal su emme deney düzeneği	23
Şekil 4.6. Kuruma rötresi ölçüm seti	25
Şekil 4.7. Kuruma rötresi ile zaman ilişkisi	26
Şekil 4.8. Şap numunelerin görünümü	27
Şekil 4.9. Isı iletkenlik cihazı	27
Şekil 4.10. Mahfazalı sıcak plaka cihazı grafik konfigürasyonu	27

ATIK EPS AGREGALI HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Çevre koşullarına karşı binaların yalıtılması ve enerji verimliliklerinin artırılması giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Bunu başarmak için kullanılan yöntemlerden birisi de hafif betonların kullanılmasıdır. Betondaki normal agregaların hafif agregalarla değiştirilmesi ile hafif betonlar elde edilebilir. Hafif beton ve şap üretiminde en sık başvurulan yöntem, bileşimde normal ağırlıklı agregaların tamamen veya kısmen hafif agregayla yer değiştirilmesidir. Hafif agregalar olarak ponza, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil veya şist ve genişletilmiş polistiren (EPS) kullanılabilir. Bu çalışma, atık EPS köpük hafif agregalar içeren normal ve yüksek dayanımlı şap betonlarını kapsamaktadır. Bu çalışmada hafif agregalar olarak genişletilmiş polistiren (EPS) kullanılmış olan hafif şap betonlarının fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Hafif agregalı hafif şap betonlarının birim hacim ağırlık, boşlukluluk, su emme, kılcal su emme, basınç ve eğilmede çekme dayanımı, aşınma direnci, kuruma rötresi ve ısı iletkenlik özellikleri ölçülmüştür. Bu amaçla, hem normal hem de yüksek dayanımlı şap betonları için 6'şar seri hazırlanmıştır. Atık EPS agregaları, ince agregalar ile %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında hacimce yer değiştirilmiştir. Atık EPS'lerin yoğunluğu ince agregalardan düşük olduğundan, atık EPS şap betonları birim hacim ağırlıkları $400\text{--}2000\text{ kg/m}^3$ olarak hafif ağırlıklı beton haline gelmiştir. Elde edilen sonuçlar hafif atık EPS agregasının miktarına bağlı olarak beton birim ağırlıklarının düşürülebildiğini, farklı fiziksel ve mekanik özelliklerde hafif şap betonların elde edilebildiğini göstermektedir. Betonlardaki birim ağırlığın azalmasıyla dayanımlarında azalmalar meydana gelmektedir. Bununla birlikte, ısı iletkenliklerin düşmesi sonucunda yalıtım özelliğine sahip betonlar elde edilmektedir.

Anahtar Kelime: Atık EPS, geri dönüşüm, hafif beton, dayanım, ısı iletkenliği

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE EPS AGGREGATE LIGHTWEIGHT CONCRETE

ABSTRACT

Insulation against environmental conditions and improving the energy efficiency of buildings is becoming increasingly important. One of the methods to achieve this is the use of lightweight concretes. Lightweight concretes can be obtained by substituting normal aggregates with lightweight aggregates. The most common method for producing lightweight concrete or screed is completely or partially replacing normal weight aggregates with lightweight aggregates in the mixture. Pumice, expanded perlite, expanded clay or schist and expanded polystyrene (EPS) are some of the materials that can be used as lightweight aggregate. In this study covers the use of waste expanded polystyrene (EPS) beads as lightweight aggregate, both in normal and high strength screed concrete. In this study, physical and mechanical properties of lightweight screed concretes made with waste expanded polystyrene (EPS) are investigated. The measured properties of lightweight screed concretes were unit weight, porosity, capillary water absorption, water absorption capacity, compressive, flexural tensile strengths, abrasion resistance, drying shrinkage and thermal conductivity. For this purpose, six series of screed concrete samples were prepared for both normal and high strength. Waste EPS aggregate was used as a replacement of fine aggregate, at the levels of 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% by volume. The density of waste EPS is much less than that of fine aggregate; waste EPS screed concrete becomes a lightweight concrete with a density of about 400–2000 kg/m³. The results obtained show that, depending on the amount of lightweight waste EPS aggregate, unit weight of concrete can be reduced and various physical and mechanical properties of concretes can be obtained. Reductions in strengths of concretes have been obtained with decreasing concrete unit weights. In addition, concretes having thermal insulation characteristics are obtained with the reductions in thermal conductivity.

Keywords: Waste EPS, recycling, lightweight concrete, strength, thermal conductivity

1. GİRİŞ

Geri dönüştürme işleminin doğal kaynaklarımızın korunması, enerji tasarrufu ve atık miktarının azalması gibi birçok yararı vardır. Atıkların değerlendirilmesi konusunda çevresel önemin büyük olduğu bu çalışmada, atık EPS köpükler ile hafif şap beton üretimi hedeflenmiştir. Bu projede üretilecek olan atık EPS köpüklü hafif betonların yalıtım betonu olarak özellikle dolgu ve tesviye şaplarında kullanılması ile çevreye duyarlı geri kazanım sağlanacaktır.

EPS köpükler doğada parçalanma süresi en uzun olan madde olduğu için doğal yoldan yok olması oldukça güçtür. Bu nedenle bu maddelerin mümkün olduğunca toplanıp geri kazanımları sağlanmalıdır. Bu çalışmanın amacı, agregaya yerine atık EPS tanecikleri kullanılarak üretilecek hafif şap betonlarının dayanım, dayanıklılık ve ısı özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Atık EPS köpüklerinin beton agregası olarak kullanılarak geri kazanımı amaçlanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda, hafif şap olarak üretilecek olan betonların geleneksel olarak bilinen normal şap betonları ile kıyaslanarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Atık EPS hafif agregaya yerine kullanılarak hafif agregalı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Atık EPS agregalı hafif betonlar farklı çimento dozajlarında normal ve yüksek dayanımlı olarak üretilmiştir. Ayrıca atık EPS hafif agregalı betonların özellikle ısı performansına olan etkileri araştırılmıştır. Üretilen atık EPS ile hafif agregalı beton karışımı ile yalıtım betonları geliştirilerek ısı performansı iyileştirilmiştir. Böylece yapılarda ısı iletkenliği azaltılmış ısı yalıtım özelliğine sahip olacak dolgu ve tesviye şapı olarak kullanılması uygun olan bir ürün elde edilmiştir. Üretilen hafif şap betonları taşıyıcı amaçlı olarak değil, dolgu ve tesviye şapı olarak kullanılması uygun olacaktır. Atık EPS agregalı hafif şapların gerek toplam yapı ağırlığının azaltılması yönünde gerekse ısı yalıtım yönüyle faydalı olacağı görülmüştür.

2. GENEL BİLGİLER

Atık en basit tanımı ile, "ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere kullandığımız maddelerin, o an için kullanılmayan veya kullanıldıktan sonra atılan kısmıdır". Sanayide, ulaşımda, tarımda, turizmde, inşaat sektöründe, üretim yaparken, hizmet verirken, çok sayıda madde ve malzeme biçim değiştirir. Bu faaliyetler için enerji sağlarken ve enerji kullanırken, gaz, sıvı ve katı halde atıklar ve artıklar ortaya çıkar. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir. [1]. Geri dönüştürme işleminin doğal kaynaklarımızın korunması, enerji tasarrufu ve atık miktarının azalması gibi birçok yararı vardır. Atıkların değerlendirilmesi konusunda çevresel önemin büyük olduğu bu çalışmada, atık EPS köpükler ile hafif şap beton üretimi hedeflenmiştir.

Genleştirilmiş polistiren (Expanded Polistiren Sert Köpük, EPS, Styropor) stiren monomerin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen, köpük haldeki kapalı gözenekli tipik olarak beyaz renkli termoplastik bir yalıtım malzemesidir. Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz 'Pentan'dır. 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 [2].



Şekil 2.1. Genleştirilmiş polistiren (EPS)

Bilindiği gibi durgun hava, bilinen en ekonomik, çevre dostu ve mükemmel ısı yalıtım malzemesidir. EPS'nin üstün ısı yalıtım özellikleri çok sayıdaki taneciklerinin bünyesinde bulundurduğu durgun hava sayesinde. Dünyada mevcut en iyi ısı yalıtımı sağlayan birkaç malzemenin biri olan EPS, aynı performansı, ülkemizde kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinden daha ekonomik olarak sağlayan tek malzemedir. Isı yalıtım amacıyla

genellikle 15–30 kg/m³ yoğunluklarda üretilmektedir. EPS ürünler, levha, boru veya önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayinde yoğun bir şekilde kullanılırlar [2].

EPS ürünleri ayrıca, binalarda duvar malzemesi olarak kullanımından, soğuk hava depolarının yalıtımına, soğuk bölgelerdeki karayolu yapımına, zeminlerin takviyesine, gemiler için can simidi ve can yeleği yapımına kadar sayılması mümkün olmayan; hafifliğin, dayanımın, kolay şekil verebilmenin, kolay uygulayabilmenin ve düşük ısı iletkenliğinin önemli olduğu bütün uygulamalarda sınırsız kullanım alanı vardır [2].

Ancak bütün plastikler gibi EPS köpüklerde doğada parçalanma süresi en uzun olan madde olduğu için doğal yoldan yok olması oldukça güçtür. Bu nedenle bu maddelerin mümkün olduğunca toplanıp geri kazanımları sağlanmalıdır. Modifiye edilmemiş EPS köpük agregalar, suya karşı iticidirler (hydrofobic). Ancak kimyasal bir madde ile kaplanarak (hydrophilic) su emici hale getirildikten veya özellikleri değiştirildikten sonra beton agregası olarak kullanılabilirler. Atık EPS köpükler orijinal olarak beton agregası olarak kullanılması durumunda, sadece yalıtım betonu veya hafif izolasyon tuğlası elde edilebildiği bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Modifiye edilmemiş EPS agrega ile yapılan betonların basınç dayanımlarının düşüklüğü ve bazı durabilite özelliklerinin kriterlerin altında olması gibi dezavantajları da vardır [3].

Hafif şaplar özel bir kimyasal katkı ile kaplanmış atık EPS tanecikleri ile portland çimentosu ve su ile belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşur. Geleneksel şap betonu ise kum, çimento ve su bulunur. Kimyasallı granül, kumun yerine kullanılarak şapa hafiflik ile ısı ve ses yalıtım değerleri kazandırır.

Hafif beton elde etmek için kullanılan agregalar genel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi doğal hafif agregalar (pomza, diatomit, volkanik curuf vs.), diğeri ise yapay hafif agregalardır (perlit, genleştirilmiş kil, uçucu kül vs.). EPS köpük ise, son zamanlarda hafif yalıtım betonu yapımında sıkça kullanılan, oldukça düzgün, yuvarlak şekilli süngerimsi plastik tanelerdir.

Günümüzde yapıların kendi (zati) yüklerinin azaltılması özellikle yapının düşük deprem kuvvetlerin etkisinde kalması açısından önemlidir. Hafif beton ve şap üretiminde en sık başvuru yöntem, bileşiminde normal ağırlıklı agregaların tamamen veya kısmen hafif agregayla yer değiştirilmesidir. Hafif agrega olarak ponza, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil veya şist ve EPS genleştirilmiş polistiren kullanılabilir [4].

İnşaat mühendisliğinde yaygın uygulama alanı bulan normal betonun iyi bir taşıyıcı olmasına karşın birim ağırlığı büyük, dolayısıyla ısı iletkenliği katsayısı yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilir. Böylece taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülerek ekonomi sağlanabilir. Diğer yandan betonda birim ağırlığın azaltılmasıyla ısı iletkenlik ve ısı genleşme katsayıları küçülür, yangına dayanıklılık artar. Buna karşın betonun boşluk miktarının artması nedeniyle dayanım düşer, aşınmaya dayanıklılık azalır, neme duyarlılık artar [5].

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar üretildikleri malzemenin kaynağına ve kendi birim ağırlıklarına göre dört sınıfta toplanabilirler [6].

- Doğal hafif agregalar: Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf, ağaç parçacıkları.
- Doğal malzemeden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil ve şist, perlit, vermikülit, stiropor gibi polimer esaslı malzemeler.
- Endüstriyel atıklardan üretilen hafif agregalar: Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül.
- Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş yüksek fırın cürufu ve kızdırılmış uçucu kül

Beton TS EN 206-1'e göre yoğunluklarına göre üç gruba ayrılır [7]:

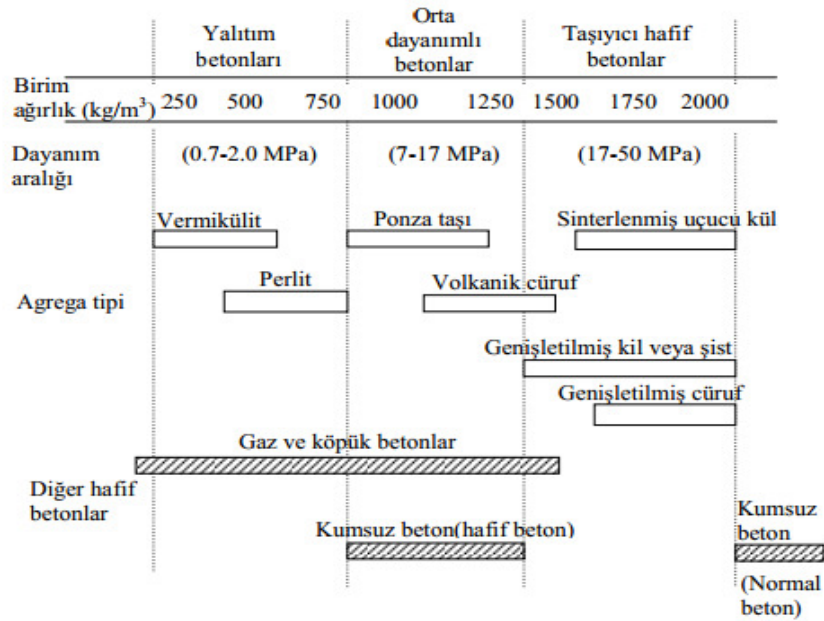
- i. Normal Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m³'ten büyük olup, 2600 kg/m³'ü geçmeyen beton
- ii. Hafif Beton: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 800 kg/m³ veya daha büyük olup, 2000 kg/m³'ü geçmeyen beton.
- iii. Ağır Beton: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 2600 kg/m³'ten daha büyük olan beton.

Birim ağırlıklarına göre hafif betonlarda üç gruba ayırmak olasıdır [8]:

- Yalıtım Betonları: Birim ağırlıkları $300 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3$ arasında,
- Orta Mukavemetli Hafif Betonlar: Birim ağırlıkları $800 \text{ kg/m}^3 - 1400 \text{ kg/m}^3$ arasında,
- Taşıyıcı Hafif Betonlar: Birim ağırlıkları 1400 kg/m^3 'den büyük olan betonlardır.

Hafif şap betonunun, normal şap betonuna göre avantajları ve dezavantajları [4,6]:

- Yapının yükü azalacağından kesitler küçültülerek ekonomi sağlanması,
- Isı iletkenlik katsayıları düşük ve ısı yalıtımı yüksek olur,
- Yangın dayanıklılığı normal şap göre daha güvenli olur,
- Çekme dayanımı basınç dayanımına oranı yüksek olduğundan rötre çatlakları azalır,
- Boşluklu bir yapıya sahip oldukları için dayanımları normal betona göre düşük olur,
- Aşınmaya dayanıksız olurlar,
- Neme karşı yalıtılmalıdırlar.



Şekil 2.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması [8]

Sönmez ve arkadaşları [4], yaptıkları çalışmada hafif agrega olarak EPS-genleştirilmiş polistren (stiropor) kullanmışlardır. Ürettikleri hafif betonların birim ağırlıkları 300 kg/m^3 'den 1200 kg/m^3 'e kadar 100 kg/m^3 artışlarla değiştirilmiştir. Böylece 10 değişik hafif beton

elde etmişlerdir. Bu betonların taze haldeki özellikleri ile basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Ayrıca üç birim ağırlık (400 kg/m^3 , 800 kg/m^3 , 1200 kg/m^3) için ısı iletkenlik katsayılarını bulmuşlardır. Sonuç olarak stiropor hafif agregası kullanarak ürettikleri hafif betonların birim ağırlıklarını 300 kg/m^3 değerlerine kadar düşürmüşlerdir. Stiropor hafif betonunun birim ağırlığı azaldıkça ısı iletim katsayısının da azaldığını ve ısı iletkenlik katsayılarını $0,14-0,34 \text{ W/mK}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Basınç dayanımlarının düşük olmasından dolayı ürettikleri hafif betonların taşıyıcı amaçlı değil, dolgu ve tesviye şapı olarak kullanılmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Genleştirilmiş polistiren hafif agregasıyla genel olarak yalıtım amaçlı hafif betonlar üretilmektedir. Bununla birlikte birim ağırlığı 800 kg/m^3 'ün üzerine çıkararak çatı plağı veya bölme duvarı panelleri üretmek mümkündür. Bu amaçla İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılan bir çalışmada genleştirilmiş polistiren kullanarak üretilen nominal birim ağırlıkları 300 , 600 , 800 , 1000 , 1300 ve 1600 kg/m^3 olan hafif betonların fiziksel özellikleri ile mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan genleştirilmiş polistiren betonlarının bileşimi Tablo 2.1'de, basınç dayanımları ise Tablo 2.2'de verilmektedir [6].

Tablo 2.1. Hafif Betonların Karışım Oranları

Beton birim ağırlığı, kg/m^3	300	600	800	1000	1300	1600
Çimento, kg	200	380	390	400	390	375
Kum, kg	0.0	90	260	355	680	990
Su, kg	105	140	165	180	155	175
Genleştirilmiş polistiren 1, kg	1.37	2.80	3.66	1.88	1.47	1.52
Genleştirilmiş polistiren 2, kg	1.90	3.32	3.78	2.21	1.55	1.59
Genleştirilmiş polistiren 3, kg	9.93	6.90	5.04	5.75	4.90	3.01

Tablo 2.2. Hafif Betonların Birim Ağırlıkları ve Dayanımları

Nominal birim ağırlık kg/m^3	Kuru birim ağırlık kg/m^3	Basınç dayanımı N/mm^2
300	280	0,22
600	584	1,39
800	780	3,10
1000	973	5,12
1300	1285	11,33
1600	1587	14,27

Diğer bir araştırma [9] kapsamında üretilen genleştirilmiş polistiren hafif agregalı betonların 28 günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Genleştirilmiş polistiren numuneler GP, karbon takviyeli genleştirilmiş polistiren numune ise KGP olarak adlandırılmıştır. Hafif betonların birim ağırlıkları arttıkça basınç dayanımları da artmaktadır. Genleştirilmiş polistiren ile üretilen ve birim ağırlıkları 500 kg/m³'ün altında olan hafif betonların basınç dayanımları çok düşük olup yalıtım betonları sınıfında sayılabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 2.3. Genleştirilmiş Polistiren Hafif Betonların Basınç Dayanımları

	GPB1	GPB2	GPB3	GPB4	GPB5
Birim Ağırlık (kg/m ³)	335	402	978	1404	1606
Basınç Dayanımı (MPa)	0,33	0,28	1,06	2,44	3,36

Kan [3] tez çalışmasında, genleştirilmiş atık polistiren köpüklerin (EPS) geri dönüşümünü sağlamada yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Atık EPS köpüklerin, ısıtma işlemiyle modifiye edilebilirliği araştırılmış, daha sonra modifiye edilmiş atık EPS köpükler (MEPS) beton agregası olarak kullanılarak geri kazanımı amaçlanmıştır. İdeal modifiye kombinasyonu olarak tespit edilen, 130°C'de 15 dakika ısıtma işlemi tabii tutulan atık EPS köpüklerin, hacimleri ortalama 21 kat azalırken, birim ağırlıkları aynı oranda artmıştır. Atık EPS köpükler modifiye edildikten sonra, başta birim ağırlıkları olmak üzere bütün özellikleri iyileştirilmiş ve özellikle basınç dayanımlarında, %2514 ile %9163 oranında artışlar gözlenmiştir. Aynı zamanda bu agreganın, kısmen doğal agrega ile yer değiştirilmesiyle üretilen betonların, karışımındaki MEPS agrega yüzdesine bağlı olarak taşıyıcı hafif beton elde edilebileceği, MEPS betonlar üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerle anlaşılmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada TS EN 197-1 [10] standartlarına uygun CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Temin edilen Portland çimentosu TS EN ISO 9001:2008 kalite yönetim sistemleri belgesine sahip Baştaş Çimento Fabrikası tarafından üretilmiştir. CEM I 42,5 R çimentosuna ait fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini içeren analiz raporları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel ve dayanım özellikleri

Özellikler	Değerler	TS EN 197-1 Sınırları
Blaine, cm ² /gr	3468	-
Özgül Ağırlık, g/cm ³	3,15	-
İncelik (40 Mikron), %	10,3	-
İncelik (90 Mikron), %	0,9	-
Priz Başı, dak	162	Min 60
Priz Sonu, dak	215	-
Hacim Genleşmesi, mm	1,0	Max 10
2 günlük dayanım, MPa	26,5	Min 20
7 günlük dayanım, MPa	39,0	-
28 günlük dayanım, MPa	49,7	42,5 - 62,5

Tablo 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri

Bileşenler	Değerler, %	TS EN 197-1, %
MgO	1,73	-
SO ₃	3,57	Max 4,0
Cl	0,021	Max 0,1
Na ₂ O	0,38	-
K ₂ O	0,93	-
Kızdırma Kaybı	1,87	Max 5,0
Çözünmeyen Kalıntı	1,00	Max 5,0

3.1.2. Atık EPS

Hafif agrega olarak kullanılabilirliği araştırılacak olan atık EPS köpükler Koyuncu Kimya Dış Tic. İnş. Elektr. Elektron. San. Ltd. şti.'den temin edilmiştir. Atık EPS köpükler genel olarak şekil 3.1 'de görölen üretim esnasında kırılan EPS'lerden oluşmuştur. Atık EPS köpükleri kırmak ve ufalamak amacıyla şekil 3.1 'de görölen öğütücü kullanılmıştır.



şekil 3.1. Kırık atık EPS lerin ve öğütücünün görönumü

Bu öğütücü ile 0-4 mm çapında ince atık EPS köpük agrega elde edilmiştir. Öđütölmüř olarak temin edilen ince atık EPS'lerin görönumü şekil 3.2 'de gösterilmiştir. Atık EPS köpüklerin yoğunluk değerı 12 ve 16 kg/m³ dür.



şekil 3.2. Öđütölmüř atık EPS lerin görönumü

3.1.3. Kum

Deneysel çalışmalarda agrega olarak 0-4 mm dane büyüklüğüne sahip olan ince dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan ince agrega için TS 3530 EN 933-1 [11]' e göre elek analizi, piknometre deneyi ile özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi tayini deneyleri yapılmıştır.

İnce agreganın kuru hacim özgül ağırlığı ve kuru yüzey doygun tane yoğunluğu sırasıyla 2,60 ve 2,64 g/cm³ olarak bulunmuştur. Malzemenin kuru yüzeye doygun halde su emme kapasitesi %1,70 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 'te sunulmuştur.

Tablo 3.3. Kumun tane boyutu dağılımı

Elek Çapı (mm)	Elekten Geçen (%)
4.0	100,0
2.0	82,4
1.0	66,6
0.5	47,0
0.25	16,1
Tava	0,0

Tablo 3.4. Kumun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Değerler (%)
İncelik Modülü	1,88
ρ_a : Görünür tane yoğunluğu	2,71
ρ_{rd} : Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,60
ρ_{ssd} : Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,64
WA24: Kuru kütlenin yüzdesi olarak su emme oranı	1,70

3.1.4. Ajan

Atık EPS agregalı hafif şap üretiminde EPS granülleri ile çimento harç arasında bir bağ oluşturması amacıyla ajan denilen beton katkısı katılmıştır. Ajan olarak Koyuncu Kimya Dış Tic. İnş. Elektr. Elektronik. San. Ltd. Şti.'den temin edilen İtalyan Edilteco firmasına ait

çimento ile tam bir bütünlük sağlayan, daha sonra mukavemet eksiklikleri oluşturmeyen, çatlamaya karşı dirençli E 200P kodlu kimyasal katkısı kullanılmıştır. Ajanın teknik özellikleri aşağıdaki Tablo 3.5 'te özetlenmiştir.

Tablo 3.5. E 200P ajanın teknik özellikleri

Özellikler	Değerler (%)
Görünüş	Sıvı
Renk	Kahverengi
Özgül Ağırlık	1,15
pH	7,0
Çözünürlük	Sınırsız
Donma derecesi	-10°C
Yangın reaktifliği	Yanmaz

3.1.5. Su

Hafif şap üretiminde, şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyu kullanılmıştır. TS EN 1008 [13] standardında karışım suyu olarak içilebilen suların kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir.

3.2. Deneysel Program

Bu çalışmada atık EPS içeren hafif agregalı harç karışımları normal ve yüksek dayanımlı olarak iki farklı dozajlarda üretilmiştir. Ayrıca normal ve yüksek dozajlı atık EPS agregalı hafif şap betonları geleneksel şap betonlarında ince agrega olarak kullanılan kum ile %0, %20,%40,%60, %80 ve %100 olacak şekilde hacimce değiştirilmiştir. Normal ve yüksek dozajlı üretilecek atık EPS agregalı hafif şap betonlarından her bir dozaj için 6 adet olmak üzere toplam 12 farklı atık EPS içeren hafif agregalı şap betonları üretilmiştir. Normal dayanımlı atık EPS agregalı şap üretiminde yoğunluğu 12 kg/m³olan EPS tanecikleri ve yüksek dayanımlı atık EPS agregalı şap üretiminde ise yoğunluğu 16 kg/m³olan EPS tanecikleri kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 'de sunulmuştur.

Tablo 3.6. Atık EPS agregalı normal dayanımlı harç karışım oranları

Karışım	S/Ç	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	EPS (kg/m ³)	Ajan (kg/m ³)	Akışkan (kg/m ³)
N0	0.5	150	300	1936	0	0	4.5
N20	0.5	150	300	1549	2.38	0.20	3.0
N40	0.5	150	300	1162	4.77	0.40	1.5
N60	0.5	150	300	775	7.15	0.60	0
N80	0.5	150	300	387	9.53	0.80	0
N100	0.5	150	300	0	11.92	1.00	0

Tablo 3.7. Atık EPS agregalı yüksek dayanımlı harç karışım oranları

Karışım	S/Ç	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	EPS (kg/m ³)	Ajan (kg/m ³)	Akışkan (kg/m ³)
Y0	0.5	200	400	1723	0	0	-
Y20	0.5	210	420	1437	1.17	0.11	-
Y40	0.5	220	440	1126	2.44	0.24	-
Y60	0.5	230	460	786	3.84	0.38	-
Y80	0.5	240	480	412	5.37	0.53	-
Y100	0.5	250	500	0	7.06	0.69	-

Deneyisel çalışmalarda üretilen harç karışımları TS EN 196-1 [14]'e uygun olarak hazırlanmıştır. Kontrol karışımlarında su ve çimento önce karıştırma kabına kondu ve 30 saniye karıştırdıktan sonra ikinci 30 saniye içerisinde kum ilave edildi. Yüksek hızda 30 saniye daha karıştırmaya devam edildi. Karıştırıcı durduruldu ve ilk 30 saniyede kabın çeperlerindeki harç ortaya toplanarak toplam 90 saniye beklendi. Ardından 60 saniye daha yüksek hızda devam edilerek karıştırma işlemi tamamlandı. Şekil 3.3 'te görülen Hobart mikserinde harç karışımı hazırlanmıştır. Tüm harç grupları kalıplara sıkıştırma işlemi yapılarak yerleştirildi.



Şekil 3.3. Hobart mikserinde harç karışımı

Üretilen harçlardan farklı boyutlarda 40×40×160 mm'lik prizmatik harç numuneleri, 70×70×70 mm ile 100×100×100 mm boyutlarında küp numuneler, 25×25×285 mm'lik harç çubuk numuneler ve 50×50×5 cm boyutlarında plakalar hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Hazırlanan numunelerin görünümü

Hazırlanan numuneler, sıcaklığı $21\pm1^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda 7 ve 28 gün boyunca kür edilmiştir. Numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, su emme oranı, boşlukluluk oranı, kılcal su emme oranı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma dayanımı ve rötre deneyi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca atık EPS içeren hafif agregalı şap beton numunelerin ısı iletkenlik katsayıları ısı iletim katsayısını ölçen bir cihaz ile ölçülmüştür. Deneysel araştırmaların sonucunda, atık EPS hafif agregalı betonlar, şahit şap betonu olan geleneksel kumlu şap betonları ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. İşlenebilme

Çalışmada üretilen taze harçlara, TS EN 1015-3 [15] standardına uygun olarak kıvam deneyi olarak bilinen Şekil 4.1 'de görülen yayılma tablası yöntemi deneyi yapılmıştır. Üst iç çapı 70 mm taban iç çapı 100 mm ve yüksekliği 50 mm olan konik kap yayılma tablası merkezine yerleştirilerek her tabakaya 10 vuruş olacak şekilde 40 mm çaplı 0,250 kg ağırlığındaki tokmak ile 2 tabaka halinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra kalıp yukarı doğru çekilerek alınmış ve 1,25 cm yükseklikten her saniyede 1 düşüş olacak şekilde 15 defa yayılma tablasına düşüş yaptırılmıştır. Yayılan harç kütlesi her tarafından kumpas ile ölçülerek ortalama değer mm cinsinden kaydedilmiştir.



Şekil 4.1.Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi

Çalışmada üretilen normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı atık EPS agregalı taze harç karışımlarının yayılma değeri, yayılan harç numunenin ortalama çapının ölçülmesiyle belirlenmiştir. Atık EPS agregalı hafif şaplarının üzerinde TS EN 1015-3'e göre yapılan yayılma tablası ait kıvam değerleri Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Harçların işlenebilirlik değerleri

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı	Yüksek Dayanımlı
	Yayılma Çapı (mm)	Yayılma Çapı (mm)
0	110	110
20	115	118
40	120	172
60	114	210
80	119	222
100	111	225

Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların yayılma değerleri 115 ± 5 mm olacak şekilde uygun oranlarda akışkanlaştırıcı ilavesi ile üretilen harçların yayılma değerleri 110-120 mm arasında ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların yayılma değerleri ise 110-225 mm arasında ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı harçlarda atık EPS oranının artışı taze harç kıvamlarını arttırma eğiliminde olduğu görülmüştür. Kum miktarının azalması EPS miktarının artması ile emilen su miktarı azalmış ve harçların işlenebilirlik değerleri artmıştır.

4.2. Birim Hacim Ağırlık

Çalışmada üretilen atık EPS içeren hafif şap numunelerinin 7 ve 28 gün ıslak kür uygulandıktan sonra 24 saat 105°C 'de etüvde kurutulan numunelerin ağırlıkları etüv sonrası oda sıcaklığına kadar soğuması için beklenip havadaki ağırlıkları alınmış ve numunenin hacmine bölünerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Karışımlara ait numunelerin 7 ve 28 günlük kuru birim hacim ağırlıkları Tablo 4.2 'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Harçların birim hacim ağırlık değerleri

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı		Yüksek Dayanımlı	
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
	BHA (g/cm^3)		BHA (g/cm^3)	
0	1.88	1.93	2.03	2.04
20	1.81	1.80	1.94	1.95
40	1.65	1.68	1.79	1.83
60	1.38	1.35	1.63	1.55
80	0.94	0.94	1.21	1.24
100	0.41	0.42	0.72	0.75

Çalışmada üretilen hem normal hem de yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları atık EPS'lerin kum ile yer değiştirme oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları 0.41 - 1.93 g/cm³ arasında değişmiştir. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları ise 0.72 - 2.04 g/cm³ arasında değişmiştir. Ayrıca hem normal hem de yüksek dayanımlı hafif şapların 7 ve 28 günlük birim hacim ağırlıkları birbirine yakın olduğu görülmüştür.

4.3. Su emme ve Boşlukluluk Oranı

Sertleşmiş harçta su emme ve boşluk oranlarının tayini TS EN 480-11 [16]'e göre uygun olarak 7 ve 28 gün ıslak kür edilen 40×40×160 mm'lik prizmatik numuneler üzerinde yürütülmüştür. Numunelerin önce etüv kurusu ağırlıkları, sonra su içinde tutulduktan sonra suya doymuş ağırlıkları ve ardından su içindeki ağırlıkları tayin edilmiştir. Normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların su emme ve boşluk oranları Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Normal dayanımlı hafif harçların su emme ve boşlukluluk oranları

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı			
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
	Su Emme (%)		Boşluk Oranı (%)	
0	7.3	7.7	13.8	14.3
20	9.6	8.9	14.1	15.4
40	9.0	10.1	14.9	16.3
60	10.8	12.3	15.0	16.5
80	15.5	16.0	14.7	15.5
100	37.7	38.2	15.5	17.2

Tablo 4.4. Yüksek dayanımlı hafif harçların su emme ve boşluluk oranları

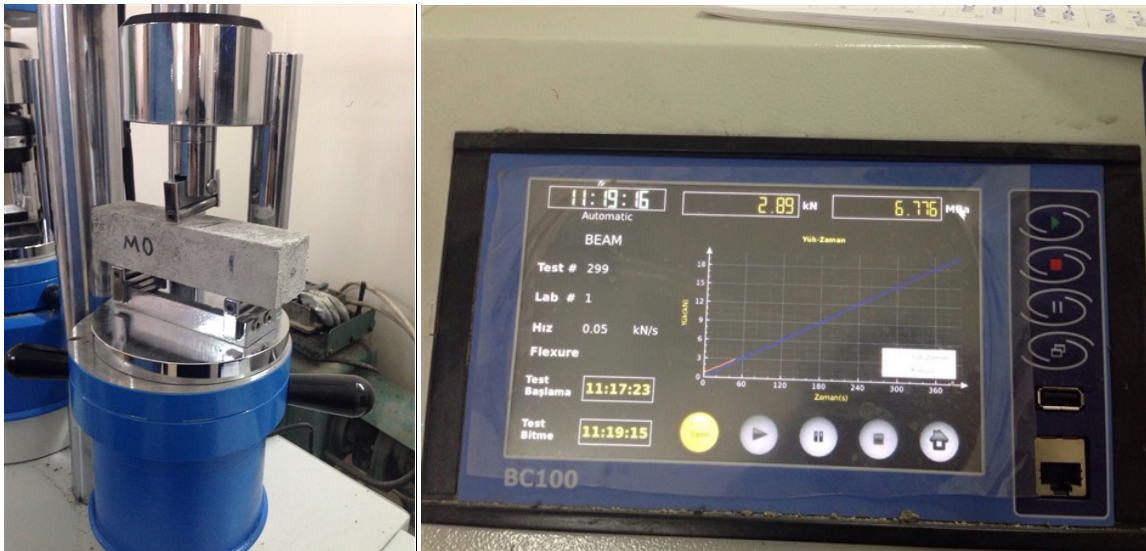
EPS Oranı %	Yüksek Dayanımlı			
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
	Su Emme (%)		Boşluk Oranı (%)	
0	8.3	8.1	17.3	17.6
20	8.3	8.2	16.5	16.4
40	10.4	9.6	18.7	17.7
60	11.5	13.0	21.4	20.0
80	18.7	17.1	22.9	22.0
100	31.6	32.3	22.1	23.5

Boşluk oranı sonuçlarının da su emme değerlerine benzer şekilde davrandığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların 7 ve 28 günlük su emme ve boşluluk oranlarının birbirine yakın olduğu 28 gün sonra herhangi bir gelişmenin olmadığı görülmüştür. Normal dayanımlı kontrol numunesinin 28 günlük su emme ve boşluluk oranları sırasıyla 7.7 ve 14.3 olarak bulunmuştur. Agrega olarak kullanılan kumun azaltılarak yerine atık EPS'nin %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında hacimce ikame edilmesiyle birlikte hafif şap betonlarının su emme ve boşluk oranlarının arttığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların 28 günlük su emme oranları %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla %8.9, %10.1, %12.3, %16.0 ve %38.2 olarak bulunmuştur. Boşluk oranları ise yine sırasıyla %15.4, %16.3, %16.5, %15.5 ve %17.2 olarak bulunmuştur.

Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların 7 ve 28 günlük su emme ve boşluluk oranlarının yine birbirine yakın olduğu 28 gün sonra herhangi bir gelişmenin olmadığı görülmüştür. Yüksek dayanımlı kontrol numunesinin 7 ve 28 günlük su emme ve boşluluk oranları sırasıyla 8.1 ve 17.6 olarak bulunmuştur. Agrega olarak kullanılan kumun azaltılarak yerine atık EPS'nin %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında hacimce ikame edilmesiyle birlikte hafif şap betonlarının su emme ve boşluk oranlarının arttığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların 28 günlük su emme oranları %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla %8.2, %9.6, %13.0, %17.1 ve %32.3 olarak bulunmuştur. Boşluk oranları ise yine sırasıyla %16.4, %17.7, %20.0, %22.0 ve %23.5 olarak bulunmuştur.

4.4. Eğilme Dayanımı

Deneysel çalışmalarda üretilen 40×40×160 mm boyutlarındaki sertleşmiş numunelere TS EN 1015-11 [17] standardına uygun olarak Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde tek noktadan yükleme yapılmıştır. Numuneler kalıptan çıkarılan yan yüzleri üzerine mesnet silindirleri üstüne dik şekilde yerleştirilip yükleme yapıldı. Yükleme sırasında ani sıçrama olmaksızın kırılma gerçekleşecek şekilde 50±10 N/s yükleme hızı seçilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı değeri N/mm² cinsinden elde edilmiştir. Bir kalıptan çıkan 3 numuneye eğilme deneyi sonucu ortaya çıkan değerlerin aritmetik ortalaması eğilme dayanımı değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. Eğilme dayanımı deneyi

Normal ve yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı üzerine olan etkisi Tablo 4.5 'te verilmiştir. Normal dayanımlı harçların kontrol numunesi eğilme dayanımları 7 ve 28. günler için sırasıyla 6.0 MPa ve 6.7 MPa iken EPS oranının artması ile eğilme dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Normal dayanımlı harçların eğilme dayanımları EPS oranının %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında artması ile sırasıyla 6.2, 5.6, 3.6, 1.9 ve 0.7 MPa olmuştur. 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımları arasında pek bir fark olmadığı sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5. Harçların eğilme dayanım sonuçları

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı		Yüksek Dayanımlı	
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
	Eğilme Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	
0	6.0	6.7	6.7	6.0
20	5.3	6.2	7.7	7.6
40	4.8	5.6	5.7	5.9
60	3.8	3.6	5.2	4.6
80	1.8	1.9	3.3	3.5
100	0.8	0.7	1.4	1.5

Yüksek dayanımlı hafif şap kontrol numunesi eğilme dayanımları 7 ve 28. günler için sırasıyla 6.7 MPa ve 6.0 MPa iken EPS oranının artması ile eğilme dayanımlarının %20 EPS oranından sonra azaldığı görülmektedir. Yüksek dayanımlı harçların eğilme dayanımları EPS oranının %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında artması ile sırasıyla 7.6, 5.9, 4.6, 3.5 ve 1.5 MPa olmuştur. 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımları arasında pek bir fark olmadığı sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Esasen, yedi günlük kür süresinden sonra uygulanan 28 günlük kür süresindeki dayanım artışı düşük olduğu ve reaksiyonların hemen hemen tamamlandığı yorumuna ulaşılabilir.

4.5. Basınç Dayanımı

Eğilme deneyi uygulanıp ortadan ikiye bölünmüş numunelerin düzgün kalıp yüzeylerine basınç dayanımı deneyi TS EN 1015-11 [17] standardında belirtilen şekilde Şekil 4.3 'te ki gibi uygulanmıştır. Elde edilen yarım numuneler 40 mm × 40 mm cihaz başlığı arasına yerleştirilerek 2400±200 N/s hızında yük uygulanarak kırılmıştır. Kırılma anındaki yük değeri yükün uygulandığı alanına bölünerek basınç dayanım değeri elde edilmiştir. Bir kalıptan çıkan 3 numuneye eğilme deneyi sonucu oluşan 6 yarım numuneye uygulanan basınç dayanımı deneyi sonucu ortaya çıkan değerlerin aritmetik ortalaması basınç dayanım değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.3. Basınç dayanımı deneyi

Çalışmada üretilen normal ve yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif harçların basınç dayanımları ıslak külden sonra yapılarak Tablo 4.6 'da sunulmuştur.

Tablo 4.6. Harçların basınç dayanım sonuçları

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı		Yüksek Dayanımlı	
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
	Basınç Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
0	33.9	40.6	37.0	38.8
20	26.4	28.0	41.6	43.4
40	15.8	22.3	31.4	32.7
60	12.0	16.3	20.5	23.5
80	4.9	5.4	13.9	14.8
100	1.1	1.0	5.7	6.1

Tablo 4.6'da normal dayanımlı atık EPS içeren harçların 7 günlük basınç dayanımları %0, %20,%40, %60, %80 ve %100 EPS oranlarında sırasıyla 33.9, 26.4, 15.8, 12.0, 4.9 ve 1.1 MPa iken 28 günlük basınç dayanımları ise 40.6, 28.0, 22.3, 16.3, 5.4 ve 1.0 MPa olarak ölçülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarından genel olarak biraz daha yüksek çıkmıştır. EPS oranının artması ile basınç dayanımlarında düşümler görülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren harçların 7 günlük basınç dayanımları %0, %20,%40, %60, %80 ve %100 EPS oranlarında sırasıyla 37.0, 41.6, 31.4, 20.5, 13.9 ve 5.7

MPa iken 28 günlük basınç dayanımları ise 38.8, 43.4, 32.7, 23.5, 14.8 ve 6.1 MPa olarak ölçülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarından genel olarak biraz yüksek ya da yakın çıkmıştır. EPS oranının artması özellikle %40 EPS oranı ile birlikte basınç dayanımlarında düşüler başlamıştır. Esasen, yedi günlük kür süresinden sonra uygulanan 28 günlük kür süresindeki dayanım artışı düşük olduğu ve reaksiyonların hemen hemen tamamlandığı yorumuna ulaşılabilir.

4.6. Aşınma Direnci

Harç numunelerin aşınmaya karşı dayanımları, böhme aşındırma cihazı ile 71×71×71 mm'lik küp numuneler üzerinde TS 699 [18] ve TS 2824 EN 1338 [19]'e uygun olarak belirlenmiştir. 71×71×71 mm boyutlarında hazırlanmış olan küp numunelerin aşınma dayanımlarının belirlenmesi için kullanılan böhme aşındırma aleti, aşınmanın gerçekleştiği disk ve kontrol paneli olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Şekil 4.4 'te aşındırma cihazı ve deneyi gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Aşınma deneyi

Numunenin kütlesindeki veya hacmindeki azalma olarak tayin edilen aşınma kaybının tespiti için küp numunelerin, deneye başlamadan önce numune en, boy ve yükseklik ölçümü alınmıştır. Bu numuneler tartıldıktan sonra, numunenin aşındırılacak yüzeyi döner disk üzerine yapışacak ve temas yüzü yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Baskı pistonu yükleme koluna asılan ağırlık vasıtası ile bastırılmış ve sürtünme yolu üzerine standart aşındırıcı olarak 20 g suni korundum tozu yayıldıktan sonra cihaz çalıştırılmıştır. Numuneye

disk tarafından 294 N'luk aşındırma yükü uygulanmıştır. 22 devirden sonra (1 periyod sonunda) disk otomatik olarak durmuştur. Numune saat yönünde 90° döndürülüp ize yeni aşındırıcı konulmuştur. Her defasında disk ve temas yüzeyi temizlenerek bu şekilde 2., 3. ve 4. yüzeyleri de aşındırılmış olup toplam 88 devir yani 4 periyod sonunda 1. Aşama tamamlanmıştır. Her periyod sonunda fırça ile temizlenen numuneler dikkatlice ölçülüp tartılmıştır. Araştırmada her numune üzerine toplam 16 periyod 352 devir uygulanmıştır. Aşınma direnci, kütle kaybı ve hacim kaybı cinsinden hesaplanmış ve Tablo 4.7 'de sunulmuştur.

Tablo 4.7. Harçların aşınma sonuçları

EPS Oranı %	Normal Dayanımlı		Yüksek Dayanımlı	
	Kütle Kaybı (g)	Hacim Kaybı (mm ³ /5000mm ²)	Kütle Kaybı (g)	Hacim Kaybı (mm ³ /5000mm ²)
0	26.9	17933	26.0	13765
20	31.3	20816	25.8	12732
40	36.8	26619	29.5	16215
60	42.9	34129	34.4	21459
80	45.9	43811	41.0	31400
100	55.1	108996	54.7	60196

Tablo 4.7 'den da görüleceği üzere normal ve yüksek dayanımlı hafif harç numunelerinde atık EPS oranının artması ile dayanım değerlerinde olduğu gibi aşınma değerlerinin hem kütle kaybı hem de hacim kaybı değerlerinin artmakta olduğu görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı harçların kütle kayıpları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 26.9, 31.3, 36.8, 42.9, 45.9 ve 55.1 gram olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı harçların kütle kayıpları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 26.0, 25.8, 29.5, 34.4, 41.0 ve 54.7 gram olarak ölçülmüştür. Hacim kayıpları ise kütle kayıplarına benzer bir şekilde artmıştır. Özellikle hacim kayıplarının kütle kayıplarından daha net bir şekilde daha büyük farkta arttığı görülmüştür. EPS agregalı harçların aşınma direncinde EPS oranının artışı ile oldukça önemli ve ciddi anlamda düşüş gözlenmiştir. Elde edilen aşınmadaki düşüş anlamlı miktarda dayanımlar ile doğrudan ilişkilidir. Dayanımı yüksek olan malzemenin aşınmasının da düşük olması normal olarak beklenen bir durumdur. Yüksek dayanımlı hafif harçlarda %20 oranında atık EPS kullanımının aşınma direnci açısından kontrol numunesine benzer aşınma değerleri göstermiştir.

4.7. Kılcal Su Emme

Çalışmada elde edilen atık EPS agregalı hafif şap betonlara Şekil 4.5 'te görüldüğü gibi kılcal su emme deneyi uygulanmıştır. Numuneler önce etüvde kurutulmuş daha sonra sadece alt yüzeyi suya değecek şekilde alüminyum folyo bandı ile kaplanmıştır. Kılcal su emme katsayısı ise ASTM C 1585 [20]'e göre 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 300 ve 360. dakikalarda ve 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. günlerde su emme miktarları ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Kılcal su emme deney düzeneği

Kılcal su emme değerleri Tablo 4.8 ve Tablo 4.9 'da sunulmuştur. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 6 saatlik %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 13.9, 20.6, 21.9, 29.7, 32.6 ve 52.3 gram olarak ölçülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 8 günlük %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 34.4, 42.4, 45.2, 55.7, 61.2 ve 65.1 gram olarak ölçülmüştür. Atık EPS oranı arttıkça hafif şap numunelerinin kılcal su emme değerleri artmıştır. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 6 saatlik %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 5.0, 7.6, 9.8, 8.1, 12.5 ve 10.8 gram olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 8 günlük %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 35.6, 32.3, 35.6, 31.4, 30.8 ve 33.5 gram olarak ölçülmüştür. Atık EPS oranı arttıkça hafif şap numunelerinin ise kılcal su emme değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 4.8. Normal dayanımlı hafif harçların kılcal su emme sonuçları

Zaman	Normal Dayanımlı Kılcal Su Emme Miktarları (g)					
	N-0	N-20	N-40	N-60	N-80	N-100
1 dak	1,3	1,6	1,9	2,1	2,8	1,3
5 dak	2,0	2,9	2,9	3,9	4,7	2,6
10 dak	2,5	3,9	3,4	5,1	5,8	3,5
20 dak	3,3	5,2	4,7	7,1	7,7	5,5
30 dak	3,9	6,3	5,5	8,7	9,1	7,2
1 saat	5,4	8,5	7,6	11,9	12,1	12,3
2 saat	7,7	12,0	11,4	16,9	17,0	25,3
3 saat	9,4	14,8	14,6	20,9	21,5	36,6
4 saat	11,1	17,0	17,3	24,2	25,4	43,5
5 saat	12,5	18,9	19,6	27,2	29,1	48,4
6 saat	13,9	20,6	21,9	29,7	32,6	52,3
1 gün	25,8	36,4	39,3	48,1	54,2	60,0
2 gün	30,2	39,5	41,9	51,1	57,4	60,9
3 gün	31,8	40,3	43,1	52,5	58,4	62,0
4 gün	32,6	40,9	43,7	53,2	58,7	62,4
5 gün	33,2	41,2	44,1	53,6	59,5	63,1
6 gün	33,6	41,5	44,4	54,2	60,0	63,7
7 gün	34,1	42,0	44,7	54,7	60,2	64,2
8 gün	34,4	42,4	45,2	55,7	61,2	65,1

Tablo 4.9. Yüksek Dayanımlı hafif harçların kılcal su emme sonuçları

Zaman	Normal Dayanımlı Kılcal Su Emme Miktarları (g)					
	Y-0	Y-20	Y-40	Y-60	Y-80	Y-100
1 dak	0,5	0,5	0,7	0,8	1,5	2,3
5 dak	0,8	0,9	1,2	1,4	1,9	3,0
10 dak	1,2	1,3	1,5	1,7	2,3	3,6
20 dak	1,2	1,4	1,8	2,0	3,2	4,7
30 dak	1,5	1,7	2,1	2,3	3,4	4,8
1 saat	1,9	2,3	2,7	2,9	5,0	5,5
2 saat	2,5	3,4	4,2	4,4	6,8	7,4
3 saat	3,3	4,6	5,7	5,3	8,7	8,5
4 saat	3,9	5,6	7,1	6,5	10,0	10,2
5 saat	4,5	6,6	8,3	7,1	11,2	10,3
6 saat	5,0	7,6	9,8	8,1	12,5	10,8
1 gün	13,7	21,7	28,9	18,5	24,1	20,1
2 gün	21,2	28,8	33,4	24,1	26,7	25,1
3 gün	26,0	30,3	34,0	26,8	27,8	26,7
4 gün	29,4	30,8	34,3	28,5	28,4	27,8
5 gün	32,0	31,1	34,5	29,2	29,1	28,7

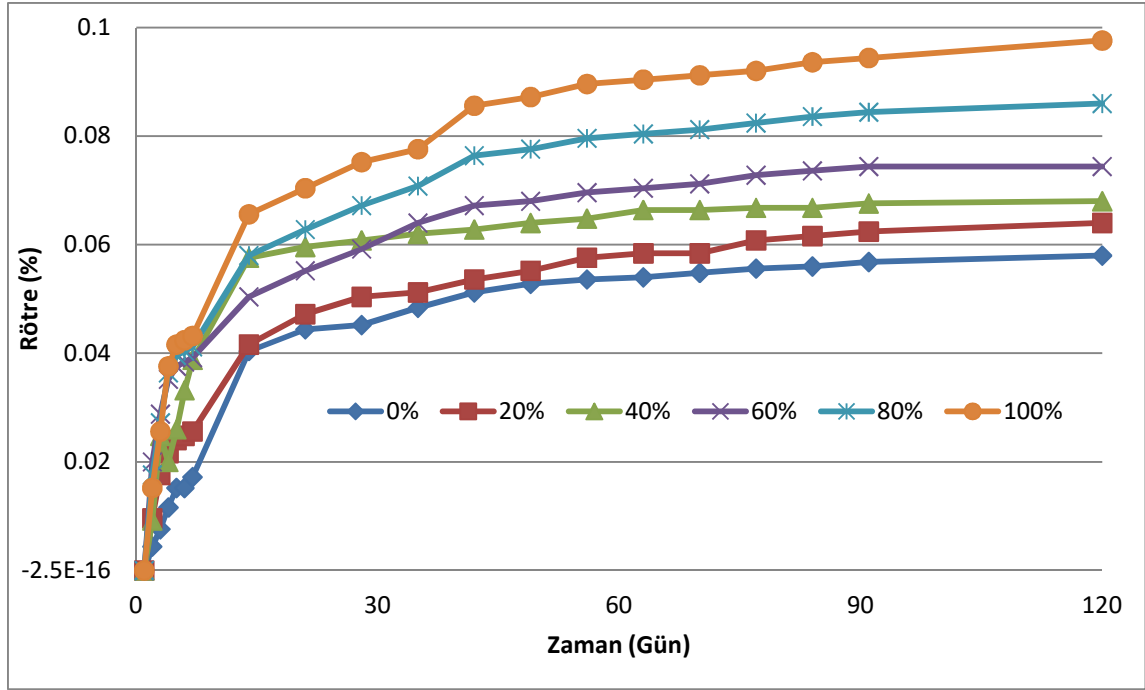
6 gün	33,6	31,4	34,8	29,9	29,4	29,2
7 gün	34,7	31,7	35,2	30,9	30,2	32,1
8 gün	35,6	32,3	35,6	31,4	30,8	33,5

4.8. Rötire

Atık EPS agregalı normal dayanımlı hafif şapların kuruma rötiresine etkisini gözlemek amacıyla araştırma kapsamında hazırlanan karışımlardan, 25x25x285 mm boyutlarında rötire numuneleri üretilmiştir. Kalıplarından çıkartılan numuneler, $23\pm2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve $\%50\pm5$ bağıl nem altında iklimlendirme kabini içerisinde kür edilmişlerdir. Rötire deneylerinde başlangıç boyları ölçülen numunelerin, belirli dönemlere ait boy değişimleri yaklaşık 120 güne kadar takip edilmiştir. Her bir karışım için 2 adet numunenin üretildiği deneylerde kullanılan rötire ölçüm test seti, Şekil 4.6 'da gösterilmiştir. EPS agregalı hafif şaplara ait kuruma rötiresi grafiği Şekil 4.7 'de sunulmuştur. Şekil 4.7 'de atık EPS oranı arttıkça kuruma rötiresinin zamanla arttığı görülmüştür.



Şekil 4.6. Kuruma rötiresi ölçüm seti



Şekil 4.7. Kuruma rötresi ile zaman ilişkisi

4.9. Isı İletkenlik

Proje kapsamında termal iletkenlik katsayılarının belirlenmesi için normal ve yüksek dayanımlı kontrol %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 atık EPS içeren 50×50×5 cm boyutlarındaki hafif şap numuneler üretilmiştir. Hazırlanan numuneler 28 gün boyunca 21±1°C sıcaklıktaki kür havuzunda kür edilmiştir. Kür süresini takiben numuneler Isı Yalıtım laboratuvarına nakledilmiştir. Şekil 4.8’de görülen atık EPS agregalı hafif şap numuneleri 24 saat boyunca 105±5°C sıcaklıktaki etüvde fırın kurusu haline getirilmiş ve Şekil 4.9’ da görülen mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilmiştir. Sisteme verilen enerjiye ait göstergede, verilen enerjinin düzenli hale geldiği görüldükten ve sistemdeki sıcaklık farkı istediğimiz değerlere ulaştıktan sonra ölçme işlemine geçilmiştir. Mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilen numunelerin yapısına bağlı olarak, ölçme yapılmadan önce cihazda malzemenin türü beton olarak seçilmiş ve beton numunesinin kalınlığı yaklaşık olarak 0,050 m girildikten sonra ısı iletim katsayısının ölçümüne geçilmiştir. Isı iletim katsayısı değerleri bilgisayar programından grafiksel olarak takip edilmiştir.

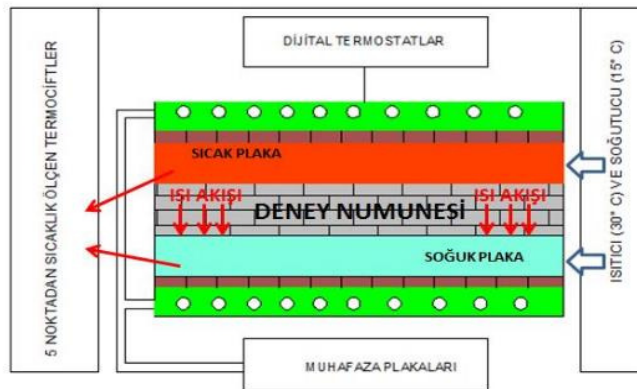


Şekil 4.8. Şap numunelerin görünümü



Şekil 4.9. Isı iletkenlik cihazı

Plaka yönteminde, bir malzemenin ısı iletkenlik değeri, TS ISO 8302 “Plaka metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini” standardında ön görülen prensiplere göre Şekil 4.10’ da ki konfigürasyon ile ölçümü yapılmaktadır. Isı iletim katsayısı cihaz tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. Mahfazalı sıcak plaka cihazı grafik konfigürasyonu

Kontrol %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 atık EPS içeren 50×50×5 cm boyutlarındaki hafif şap numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları Tablo 4.10 'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Hafif şap ısı iletkenlik katsayısı sonuçları

EPS Oranı %	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) W/m.K	
	Normal Dayanımlı	Yüksek Dayanımlı
0	0,6299	0,6617
20	0,5595	0,6099
40	0,5064	0,5244
60	0,4562	0,4957
80	0,2928	0,3953
100	0,1777	0,2553

Hafif EPS agregalı şap beton numuneleri için ikişer adet ölçüm alınmış ve ortalamaları da tabloda verilmiştir. Ortalama sonuçlar incelendiğinde kontrol EPS içermeyen normal dayanımlı hafif şap betonlarının ısı iletkenlik katsayısının değeri 0.6299 W/m.K civarında olduğu görülmüştür. EPS agregalı hafif şap betonlarının içerisindeki kum oranı azalıp EPS oranı arttıkça %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 0.5595, 0.5064, 0.4562, 0.2928 ve 0.1777 W/m.K olarak ölçülmüştür.

Yüksek dayanımlı hafif şap betonlarının EPS içermeyen kontrol grubunun ısı iletkenlik katsayısının değeri 0.6617 W/m.K civarında olduğu görülmüştür. EPS agregalı hafif şap betonlarının içerisindeki kum oranı azalıp EPS oranı arttıkça %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 0.6099, 0.5244, 0.4957, 0.3953 ve 0.2553 W/m.K olarak ölçülmüştür. Genel olarak normal dayanımlı EPS agregalı hafif şapların ısı iletkenlik değerlerinin yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şap betonlarından daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca atık EPS oranı hafif şap içerisinde arttıkça betonun ısı iletkenlik katsayısını azalttığı görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

- i. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların yayılma değerleri 115 ± 5 mm olacak şekilde uygun oranlarda akışkanlaştırıcı ilavesi ile üretilen harçların yayılma değerleri 110-120 mm arasında ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların yayılma değerleri ise 110-225 mm arasında ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı harçlarda atık EPS oranının artışın taze harç kıvamlarını arttırma eğiliminde olduğu görülmüştür. Kum miktarının azalması EPS miktarının artması ile emilen su miktarı azalmış ve harçların işlenebilme değerleri artmıştır.
- ii. Çalışmada üretilen hem normal hem de yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları atık EPS'lerin kum ile yer değiştirme oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları $0.41 - 1.93 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmiştir. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların birim hacim ağırlıkları ise $0.72 - 2.04 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmiştir. Ayrıca hem normal hem de yüksek dayanımlı hafif şapların 7 ve 28 günlük birim hacim ağırlıkları birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- iii. Boşluk oranı sonuçlarının da su emme değerlerine benzer şekilde davrandığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların 7 ve 28 günlük su emme ve boşluktuluk oranlarının birbirine yakın olduğu 28 gün sonra herhangi bir gelişmenin olmadığı görülmüştür. Normal dayanımlı kontrol numunesinin 28 günlük su emme ve boşluktuluk oranları sırasıyla 7.3 ve 14.3 olarak bulunmuştur. Agregat olarak kullanılan kumun azaltılarak yerine atık EPS'nin %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında hacimce ikame edilmesiyle birlikte hafif şap betonlarının su emme ve boşluk oranlarının arttığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların 28 günlük su emme oranları %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla %8.9, %10.1, %12.3, %16.0 ve %38.2 olarak bulunmuştur. Boşluk oranları ise yine sırasıyla %15.4, %16.3, %16.5, %15.5 ve %17.2 olarak bulunmuştur. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların 7 ve 28 günlük su emme ve boşluktuluk oranlarının yine birbirine yakın olduğu 28 gün sonra herhangi bir gelişmenin olmadığı görülmüştür. Yüksek dayanımlı kontrol numunesinin 7 ve 28 günlük su emme ve boşluktuluk oranları sırasıyla 8.1 ve 17.6 olarak bulunmuştur. Agregat olarak kullanılan kumun azaltılarak yerine atık EPS'nin %20, %40, %60, %80 ve %100

oranlarında hacimce ikame edilmesiyle birlikte hafif şap betonlarının su emme ve boşluk oranlarının arttığı görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı hafif şapların 28 günlük su emme oranları %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla %8.2, %9.6, %13.0, %17.1 ve %32.3 olarak bulunmuştur. Boşluk oranları ise yine sırasıyla %16.4, %17.7, %20.0, %22.0 ve %23.5 olarak bulunmuştur.

- iv. Normal dayanımlı harçların kontrol numunesi eğilme dayanımları 7 ve 28. günler için sırasıyla 6.0 MPa ve 6.7 MPa iken EPS oranının artması ile eğilme dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Normal dayanımlı harçların eğilme dayanımları EPS oranının %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında artması ile sırasıyla 6.2, 5.6, 3.6, 1.9 ve 0.7 MPa olmuştur. 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımları arasında pek bir fark olmadığı sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Yüksek dayanımlı hafif şap kontrol numunesi eğilme dayanımları 7 ve 28. günler için sırasıyla 6.7 MPa ve 6.0 MPa iken EPS oranının artması ile eğilme dayanımlarının %20 EPS oranından sonra azaldığı görülmektedir. Yüksek dayanımlı harçların eğilme dayanımları EPS oranının %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında artması ile sırasıyla 7.6, 5.9, 4.6, 3.5 ve 1.5 MPa olmuştur. 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımları arasında pek bir fark olmadığı sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Esasen, yedi günlük kür süresinden sonra uygulanan 28 günlük kür süresindeki dayanım artışı düşük olduğu ve reaksiyonların hemen hemen tamamlandığı yorumuna ulaşılabilir.
- v. Normal dayanımlı atık EPS içeren harçların 7 günlük basınç dayanımları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranlarında sırasıyla 33.9, 26.4, 15.8, 12.0, 4.9 ve 1.1 MPa iken 28 günlük basınç dayanımları ise 40.6, 28.0, 22.3, 16.3, 5.4 ve 1.0 MPa olarak ölçülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarından genel olarak biraz daha yüksek çıkmıştır. EPS oranının artması ile basınç dayanımlarında düşümler görülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren harçların 7 günlük basınç dayanımları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranlarında sırasıyla 37.0, 41.6, 31.4, 20.5, 13.9 ve 5.7 MPa iken 28 günlük basınç dayanımları ise 38.8, 43.4, 32.7, 23.5, 14.8 ve 6.1 MPa olarak ölçülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarından genel olarak biraz yüksek ya da yakın çıkmıştır. EPS oranının artması özellikle %40 EPS oranı ile birlikte basınç dayanımlarında düşümler başlamıştır. Esasen, yedi günlük kür süresinden sonra

uygulanan 28 günlük kür süresindeki dayanım artışı düşük olduğu ve reaksiyonların hemen hemen tamamlandığı yorumuna ulaşılabilir.

- vi. Normal ve yüksek dayanımlı hafif harç numunelerinde atık EPS oranının artması ile dayanım değerlerinde olduğu gibi aşınma değerlerinin hem kütle kaybı hem de hacim kaybı değerlerinin artmakta olduğu görülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS agregalı harçların kütle kayıpları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 26.9, 31.3, 36.8, 42.9, 45.9 ve 55.1 gram olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS agregalı harçların kütle kayıpları %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 26.0, 25.8, 29.5, 34.4, 41.0 ve 54.7 gram olarak ölçülmüştür. Hacim kayıpları ise kütle kayıplarına benzer bir şekilde artmıştır. Özellikle hacim kayıplarının kütle kayıplarından daha net bir şekilde daha büyük farkta arttığı görülmüştür. EPS agregalı harçların aşınma direncinde EPS oranının artışı ile oldukça önemli ve ciddi anlamda düşüş gözlenmiştir. Elde edilen aşınmadaki düşüş anlamlı miktarda dayanımlar ile doğrudan ilişkilidir. Dayanımı yüksek olan malzemenin aşınmasının da düşük olması normal olarak beklenen bir durumdur. Yüksek dayanımlı hafif harçlarda %20 oranında atık EPS kullanımının aşınma direnci açısından kontrol numunesine benzer aşınma değerleri göstermiştir.
- vii. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 6 saatlik %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 13.9, 20.6, 21.9, 29.7, 32.6 ve 52.3 gram olarak ölçülmüştür. Normal dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 8 günlük %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 34.4, 42.4, 45.2, 55.7, 61.2 ve 65.1 gram olarak ölçülmüştür. Atık EPS oranı arttıkça hafif şap numunelerinin kılcal su emme değerleri artmıştır. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 6 saatlik %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 5.0, 7.6, 9.8, 8.1, 12.5 ve 10.8 gram olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri 8 günlük %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS oranları için sırasıyla 35.6, 32.3, 35.6, 31.4, 30.8 ve 33.5 gram olarak ölçülmüştür. Atık EPS oranı arttıkça hafif şap numunelerinin ise kılcal su emme değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- viii. EPS içermeyen normal dayanımlı hafif şap betonlarının ısı iletkenlik katsayısının değeri 0.6299 W/m.K civarında olduğu görülmüştür. EPS agregalı hafif şap

betonlarının içerisindeki kum oranı azalıp EPS oranı arttıkça %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 0.5595, 0.5064, 0.4562, 0.2928 ve 0.1777 W/m.K olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanımlı hafif şap betonlarının EPS içermeyen kontrol grubunun ısı iletkenlik katsayısının değeri 0.6617 W/m.K civarında olduğu görülmüştür. EPS agregalı hafif şap betonlarının içerisindeki kum oranı azalıp EPS oranı arttıkça %20, %40, %60, %80 ve %100 için sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 0.6099, 0.5244, 0.4957, 0.3953 ve 0.2553 W/m.K olarak ölçülmüştür. Genel olarak normal dayanımlı EPS agregalı hafif şapların ısı iletkenlik değerlerinin yüksek dayanımlı atık EPS içeren hafif şap betonlarından daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca atık EPS oranı hafif şap içerisinde arttıkça betonun ısı iletkenlik katsayısını azalttığı görülmüştür.

- ix. Atık EPS'lerin yoğunluğu ince agregalardan düşük olduğundan, atık EPS şap betonları birim hacim ağırlıkları $400\text{--}2000\text{ kg/m}^3$ olarak hafif ağırlıklı beton haline gelmiştir. Elde edilen sonuçlar hafif atık EPS agregasının miktarına bağlı olarak beton birim ağırlıklarının düşürülebildiğini, farklı fiziksel ve mekanik özelliklerde hafif şap betonların elde edilebildiğini göstermektedir. Betonlardaki birim ağırlığın azalmasıyla dayanımlarında azalmalar meydana gelmektedir. Bununla birlikte, ısı iletkenliklerin düşmesi sonucunda yalıtım özeliğine sahip betonlar elde edilmektedir.
- x. Üretilen atık EPS hafif agregalı beton karışımı ile yalıtım betonları geliştirilerek ısı performans iyileştirilmiştir. Böylece yapılarda ısı iletkenliği azaltılmış ısı yalıtım özeliğine sahip olacak dolgu ve tesviye şapı olarak kullanılması uygun olan bir ürün elde edilmiştir. Üretilen hafif şap betonları taşıyıcı amaçlı olarak değil, dolgu ve tesviye şapı olarak kullanılması uygun olacaktır. Atık EPS agregalı hafif şapların gerek toplam yapı ağırlığının azaltılması yönünde gerekse ısı yalıtımı yönüyle faydalı olacağı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- [1] http://www.aso.org.tr/kurumsal/index.php?sayfa_no=55
- [2] EPS Sanayi Derneği (EPSDER) <http://www.epsder.org.tr/epsneder>
- [3] Kan A., “Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [4] Sönmez R., Demir M., Ekim H., “Stiropor Hafif Agregalı Beton”, <http://www.dogateknik.com.tr/Teknik-Belgeler/Stiropor-hafif-agregali-beton.pdf>
- [5] Taşdemir C., “Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri”, TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427 - 2003/5.
- [6] Ateş E., “Stiropor Hafif Betonun ve Betonarme Çatı Plak Elemanları Üzerine Araştırma”, Bitirme Ödevi, İTÜ, İnşaat Fakültesi, 2000.
- [7] TS EN 206-1, Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [8] Taşdemir C., Şengül Ö., “Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 21-23 Şubat 2013.
- [9] Orcay, E. A., “Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı İletkenlik Katsayıları”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [10] TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2012.
- [11] TS 3530 EN 933-1, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 1999.
- TS EN 933-1, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, 2015.
- [12] TS 3527, Beton agregalarında ince madde oranı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 1980.
- TS EN 933-10, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 10: İnce malzeme tayini - İnce dolgu malzemelerinin tane büyüklüğüne göre sınıflandırılması (hava jetiyle eleme), Türk Standartları Enstitüsü, 2010.
- TS 706 EN 12620+A1, Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, 2009.

- [13] TS EN 1008, Beton-Karma suyu - Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 2003.
- [14] TS EN 196-1, Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2016.
- [15] TS EN 1015-3, Kagit harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
- [16] TS EN 480-11, Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Deney metotları - bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2008.
- [17] TS EN 1015-11, Kagit harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
- [18] TS 699, Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2009.
- [19] TS 2824 EN 1338, Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, 2005.
- [20] ASTM C1585, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, standard by ASTM International, 2013.