

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

# Zeolitik Tüf ve Granül EPS Kullanarak Hafif Duvar Bloklarının Üretilirliği

## *Producibility of Lightweight Wall Blocks Using Zeolitic Tuff and Granular EPS*

İlker Tekin\*, İbrahim Torlak, Mahfuz Pekgöz

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye.

Geliş / Received: 21.10.2024

Kabul / Accepted: 04.11.2024

\*Sorumlu Yazar: İlker Tekin [ilkertekin@karabuk.edu.tr](mailto:ilkertekin@karabuk.edu.tr)

**ÖZ:** Bu çalışmada zeolitik tüf ile granül EPS agregalı hafif beton duvar bloklarının üretilebilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, çalışmanın deneysel aşamasında gerçekleştirilen hafif beton üretimlerinde agrega olarak Dmax: 8 mm olan zeolitik tüf kullanılmıştır. Betonların birim hacim ağırlığını (BHA) ve ısı iletkenliğini azaltmak amacıyla zeolitik tüf yerine karışımlarda hacimce %20, %40 ve %60 oranlarında EPS kullanılmıştır. İlâveten, üretilen hafif betonlarda 250, 300, 350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup> olmak üzere 5 farklı çimento dozajı ile 75 °C buhar kürü ve ortam kürü olmak üzere 2 farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen hafif betonlar üzerinde taze halde çökme deneyi ile sertleşmiş numunelerde su emme, BHA ve 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre %20 EPS içeren hafif betonun BHA'sı 1,46 kg/dm<sup>3</sup>, erken basınç dayanımı 3,70 MPa ve nihai basınç dayanımı 5,73 MPa elde edilmiştir. Ancak elde edilen en düşük BHA ile en yüksek basınç dayanımı %40 EPS, 400 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ile üretilen hafif beton karışımlarında elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zeolitik tüf, EPS, hafif beton, duvar bloğu, agrega.

**ABSTRACT:** In this study, the feasibility of producing lightweight concrete wall blocks with zeolitic tuff and granular EPS aggregate was investigated. In this context, zeolitic tuff with Dmax: 8 mm was used as aggregate in the lightweight concrete productions carried out in the experimental phase of the study. In order to reduce the unit volume weight (UVW) and thermal conductivity of the concretes, EPS was used in the mixtures at 20%, 40% and 60% by volume instead of zeolitic tuff. In addition, 5 different cement dosages (250, 300, 350, 400 and 450 kg/m<sup>3</sup>) and 2 different curing methods (75 °C steam curing and ambient curing) were used. The lightweight concretes produced within the scope of the study were subjected to slump tests in fresh state and water absorption, BHA and compressive strength tests at 3, 7 and 28 days of age. According to the test results, the BHA of lightweight concrete containing 20% EPS was 1.46 kg/dm<sup>3</sup>, the early compressive strength was 3.70 MPa and the ultimate compressive strength was 5.73 MPa. However, the lowest BHA and the highest compressive strength were obtained in lightweight concrete mixtures produced with 40% EPS and 400 kg/m<sup>3</sup> cement dosage.

**Keywords:** Zeolitic tuff, EPS, lightweight concrete, wall blocks, aggregate.

## 1. GİRİŞ

Yapılarda duvar elemanı olarak kullanılan malzemeler yaşam alanının konforunu doğrudan etkilemektedir. Günümüzde en fazla tercih edilen duvar elemanlarının başında tuğla, gazbeton ve

bims gelmektedir. Farklı üstün özelliklere sahip olan bu malzemelerin tasarım ilkeleri enerji verimliliği, hafiflik, maliyet ve dayanım gibi parametrelere göre şekillenmektedir. Bu kapsamda hali hazırda diğer duvar elemanlarına kıyasla geniş çapta kullanılan ve en eski yapı malzemelerinden olan tuğlanın üretimi için gerekli olan

hammadelerin dünyanın pek çok yerinde kolay temin edilmesi sürdürülebilir ve ekonomik olmasını sağlamaktadır [1]. Silisli kum (kuvarsit), çimento, kireç, alüminyum tozu ve su karışımından oluşan harcın basınçlı buhar altında sertleşmesi ile elde edilen gaz betonun, fazla miktarda (%84) gözenekli bir yapıya sahip olması, üstün ısı yalıtım performansı göstermesini ve en hafif yapı malzemeleri arasına girmesini sağlamaktadır [2]. Volkanik kökenli ve gözenekli doğal bir taş olan pomzadan imal edilen bims çevre dostu olmasıyla, yüksek ısı yalıtım özelliğiyle birlikte işçilik ve malzeme maliyetinin düşük olmasıyla ön plana çıkmaktadır [3]. Bu ürünlerin yanında EPS (Expanded Polystyrene-Genleştirilmiş Polistiren) esaslı malzemenin hammadde olarak kullanıldığı yeni nesil duvar elemanı olan EPS blok, diğer duvar elemanları gibi düşük ısı iletkenliğe ve işçilik maliyetine sahip olup alternatif duvar elemanları arasında yerini almıştır [4]. Farklı teknik özelliklerine sahip olan bu malzemeler fayda ve maliyet açısından değerlendirildiğinde uygulama noktasında tercih edilme olasılıklarını değiştirmektedir. Duvar elemanlarına ait bazı teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

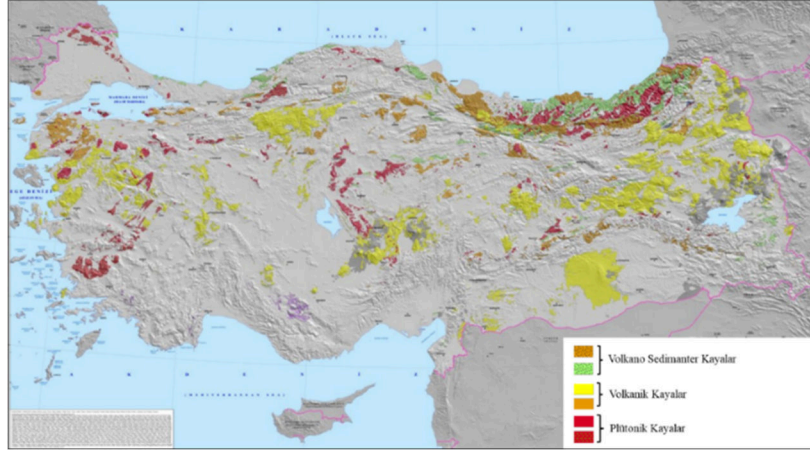
**Tablo 1:** Duvar elemanlarının teknik özellikleri [5]

Özellikler	Gaz Beton	Tuğla	Bims	EPSblok
BHA (kg/m <sup>3</sup> )	400 – 600	600	650	350 – 400
Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	2,5 – 5,0	2,5	1,5	1,5
Isı İletkenlik (W/mK)	0,11 – 0,19	0,32	0,127	0,08

Genleştirilmiş polistiren (EPS), 10-30 kg/m<sup>3</sup> aralığında yoğunluğa sahip olan bir tür ısı yalıtım malzemesidir, ancak aynı zamanda yapay hafif agrega olarak kullanılabilir [6]. EPS ile üretilen hafif betonlar genel olarak düşük mukavemet gösterdiği için yapısal betonda kullanılmamaktadır. Ancak pek çok araştırmacı EPS’nin hafif betonda kullanım alanını geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Xu ve ark. [7] EPS hafif agregalı betonun karışım oran parametrelerini Taguchi yaklaşımını kullanarak analiz etmiştir. EPS betonun yoğunluk değeri, EPS hacmi ve S/Ç oranı arttıkça neredeyse doğrusal bir azalma göstermiş, ancak bununla birlikte basınç dayanımında da

azalmaya neden olmuştur. Babu ve Babu [8], çimento hamuru ile EPS boncukları arasındaki bağı geliştirmek amacıyla hafif betona ultra ince silika dumanı eklemiştir. Üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarının %3, %5 ve %9’luk silika dumanı değiştirme seviyelerinde sırasıyla yaklaşık %75, %85 ve %95 artış gözlemlenerek 10 ila 21 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Roy ve ark. [9], süper akışkanlaştırıcı kullanarak EPS kürelerinin ayrılmasını önlemeye çalışmıştır. Farklı EPS betonlar üzerinde elde edilen deneysel verilere dayanarak katkı boyutu ne kadar küçük olursa, sertleşmiş betonun basınç dayanımının da o kadar yüksek olduğu gösterilmiştir. Chen ve Liu [10] EPS katkılı betonun mukavemetini arttırmak için stiren-bütadien kauçuğu (SBR lateksini) beton karışımına dahil etmişlerdir. EPS betonlarının mukavemeti, özellikle de eğilme mukavemeti, SBR lateksi ile polimer modifikasyonu ve ıslak-kuru kürelerin yeterli kombinasyonunun uygulanmasıyla büyük ölçüde geliştirilmiştir. Kan ve Demirboğa [11] tarafından atık EPS köpüklerin ısı işlem kullanılarak yeni bir geri dönüşüm prosesi geliştirilmiştir. En iyi modifikasyon sonucu 130oC’de ve 15 dk’da belirlenmiştir. Modifikasyon sonrasında atık EPS’nin yoğunluğu, ısı iletkenliği ve basınç dayanımı sırasıyla 217 kg/m<sup>3</sup>, 0,056 W/mK ve 8,29 MPa’ya yükselmiştir. Isıl işlem sonrası elde edilen bu yeni malzemeye modifiye atık EPS (MEPS) adı verilmiştir. MEPS ile üretilen hafif betonların yoğunluğu yaklaşık 900–1700 kg/m<sup>3</sup> aralığında ve 28 günlük basınç dayanımlarının 12,58 MPa ile 23,34 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Hafif betonlar doğal agreganın tamamen veya belli oranlarda hafif agrega ile yer değiştirilmesiyle elde edilen, normal betona kıyasla gözenekli yapısından dolayı daha düşük yoğunluğa, daha iyi ısı yalıtımına, daha fazla enerji verimliliğine sahip yapı malzemeleridir [12]. Hafif agregalar doğal (pomza, diyatomit, volkanik cüruf vb.) ve yapay (perlit, kil, sinterlenmiş uçucu kül, genişletilmiş şeyl vb.) olmak üzere iki sınıfa ayrılır [7]. Ülkemiz doğal hafif kayalardan olan volkanik tüf bakımından oldukça zengin bir jeolojik oluşuma sahiptir. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü’nün (MAPEG) güncel verilerine göre ülkemizde yaklaşık 3 milyar ton volkanik tüf rezervi bulunmaktadır [14]. Türkiye’de volkanik kayalara ilişkin rezerv haritası Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Türkiye volkanik maden yatakları [15].

Bayburt ili doğal taşlar bakımından zengin bir bölge olup, kolay işlenebilen ve özellikle kaplama taşı olarak kullanılan coğrafi işaretli beyaz, sarı ve yeşil renklerde volkano-sedimanterlerden oluşan ince taneli ve düşük sertlikteki kayalara sahiptir. Bayburt taşı yüksek oranda su emme özelliği (%20<) gösterdiği için ani ısı değişimlerin olduğu ortamlar yerine daha stabil hava koşullarına sahip iç mekanlarda kullanılmaya daha müsait bir malzemedir [16].

Bayburt taşının üretimi sırasında yaklaşık %70 atık meydana gelmektedir. Atıkların geri kazanılması için gerçekleştirilen çalışmalarda çimento sanayinde kullanılacak puzolanik malzeme olarak değerlendirilebileceği, tuğla ve kompozit üretimleri de yapılabileceği belirlenmiştir [16]. Bayburt taşı ile üretilen hafif beton yığma blokların basınç dayanımı ve donma çözülme direnci diğer duvar elemanlarına göre daha yüksek olup daha az çimento kullanımı sağlamaktadır. [17]. Pekköz ve Tekin tarafından, Bayburt taşının agrega olarak kullanıldığı yapısal hafif betonlarda S/Ç oranı ve çimento dozajının, basınç dayanımını ve arayüz kalınlığını önemli ölçüde etkilediği ortaya konulmuştur. Bayburt taşı ile üretilen yapısal hafif betonların SEM analizlerinde yüksek S/Ç oranlarında erken yaşta CH ve etrenjit oluşumu gözlemlenmiştir. 28. günde düşük S/Ç oranlarında ise yoğun miktarda CSH yapılarının oluşmuştur [18].

Literatürdeki çalışmalarda temel problem agrega olarak kullanılan EPS'nin ultra hafif yoğunluğundan dolayı beton üretiminde ayrışma eğilimi göstermesidir. Diğer taraftan çalışmalarda

hafif beton blok elemanlar genellikle çimento hamuru, kum ve EPS bileşiminden üretildiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada hafif beton üretiminde daha önce kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmış olan Bayburt Zeolitik Tüfü agregalı hafif betonlarda agrega belli oranlarda granül EPS ile yer değiştirilmiştir. Böylece üretimi daha hafif, üretimi daha kolay, ekonomik ve çevreci hafif beton bloklar üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hafif duvar elemanları üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

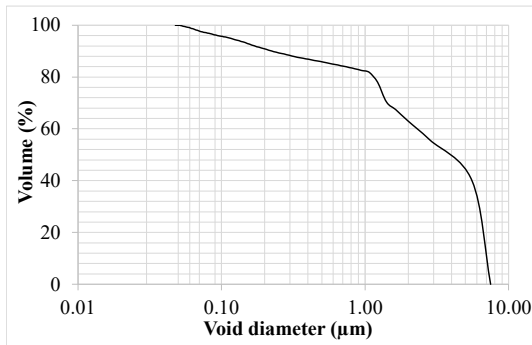
Bu çalışmada bağlayıcı olarak Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen kimyasal analize göre kullanılan çimentonun C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF oranları Bouge formüllerine göre sırasıyla %74,53, %9,24, %6,89 ve %9,34'tür. Çimentonun C<sub>3</sub>S içeriğinin yüksek olması yüksek erken dayanım kazanma özelliğine sebep olur. Agregası olarak Bayburt ilinde bulunan Bayburt Beyaz taşı olarak bilinen zeolitik yapıya sahip volkanik tüf (BVT) kullanılmıştır. Şekil 2'de cıva iç püskürtmeli porozimetre deneyinden elde edilen gözenek dağılımı grafiğinde gösterildiği gibi BVT mezo poroz yapıya (D<sub>0.5</sub>: %86) bir kayattır. Maden Tetkik ve Arama laboratuvarlarında gerçekleştirilen mineraloji ve petrografi analizlerine göre BVT'nin matrisi içinde kuvars, plajiyoklaz ve biyotitin yanı sıra Fe<sub>2</sub>O ve alterasyon ürünü mineral oluşumları da gözlemlenmiştir [19]. BZT ince öğütüldüğünde puzolanik özellik göstermektedir [20]. Ancak

yüksek su ihtiyacı ve kohezif yapısı sebebiyle betonun üretimini zorlaştırıcı bir malzemedir [21]. BVT'ye ait termal gravimetrik analizi Bayburt Üniversitesi MERLAB'ta yapılmış olup DTA-TG grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

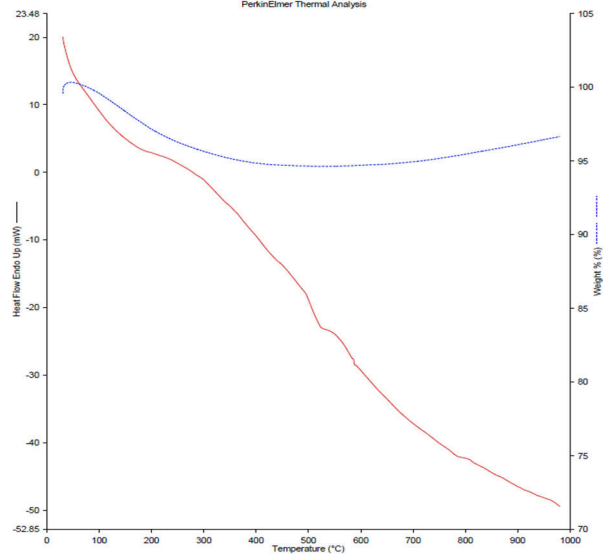
**Tablo 2:** CEM I 42,5R çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler	CEM I	BVT	Fiziksel Özellikler	CEM I
SiO <sub>2</sub>	18,73	68,92	45µm elek üstü %	8,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,56	11,96	Özgül Ağ. (g/cm <sup>3</sup> )	3,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,07	0,34	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3807
CaO	63,91	3,85	Priz Başı (dk)	141
MgO	2,08	1,29	Priz Sonu (dk)	175
SO <sub>3</sub>	2,90	0,21	Hacim Genleşmesi (mm)	1
K <sub>2</sub> O	0,62	2,38	Basınç Dayanımı 2 Gün (MPa)	27,7
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,23	Basınç Dayanımı 28 Gün (MPa)	57,2
Kızdırma Kaybı	3,36	10,13	Su İhtiyacı (%)	28,6

Bayburt Üniversitesi MERLAB'ta bulunan Perkin&Elmer Thermal Analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilen DTA-TG termal analiz sonucuna göre 500 °C'a kadar %5'lik bir kütle kaybı meydana gelmiş olup, daha yüksek sıcaklıklarda malzemede kütleli önemli bir değişim gözlenmemiştir. Malzeme ısı depolama özelliğine sahip bir malzeme olup, 1000 °C'lık sıcaklık değişiminde toplam 70mW'lık enerji depolamıştır. Bu analiz BVT'nin yüksek oranda yüksek ısı tutuculuk (ısı yalıtım özelliği) sahip olduğunu göstermiştir. BVT'nin özgül ağırlık değerleri Tablo 3'te, teknik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.



**Şekil 2:** BVT'ye ait cıva püskürtmeli porozimetre (MIP) deney sonucu.



**Şekil 3:** BVT'nin DTA-TG grafiği.

**Tablo 3:** BVT'nin özgül ağırlık ve su emme değerleri

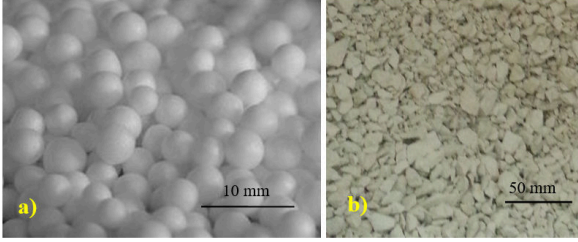
Dane Boyutu	Özgül Ağırlık			Su Emme (%)
	Doygun	Kuru	Görünür	
0,25 – 1 mm	2,05	1,76	2,48	16,26
1 – 4 mm	2,01	1,72	2,41	16,70

**Tablo 4:** BVT'nin teknik özellikleri [16]

Sertlik (Mohs)	4-5
Birim hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	1,7
Atmosfer basınçta su emme (ağırlıkça %)	12,2
Görünür porozite (%)	20,6
Basınç dayanımı (MPa)	45
Eğilme dayanımı (MPa)	12,5
Donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (MPa) (5 döngü)	44
Donma-çözülme sonrası kütle kaybı (%) (5 döngü)	0,34

Deneysel çalışmada Alman BASF'den temin edilen hava sürükleyici Micro Air-200 ve GRACE firmasından süperakışkanlaştırıcı olarak polikarboksilat esaslı Adva Flow-375N kullanılmıştır. Hava sürükleyici hem işlenebilirliği iyileştirmek hem de malzeme içinde boşlukların dağılımını homojenize ederek ısı iletkenlik gibi özelliklerin duvar bloğunun her noktasında benzer özellik göstermesini sağlamak için kullanılmıştır. Adva Flow üretilecek hafif betonun su ihtiyacını yüksek oranda azaltarak mekanik mukavemetleri iyileştirmek için kullanılmıştır. Tane boyutları 4 – 7 mm arasında olan granül EPS Atermit Sanayi Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Granül EPS'nin

yoğunluğu  $10 \text{ kg/m}^3$ , basınç dayanımı  $0,12 \text{ MPa}$ , ısı iletkenliği  $0,0369 \text{ W/mK}$  ve camsı geçiş sıcaklığı  $95 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. EPS ve BVT'ye ait görseller Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: a) Granül EPS ve b) Öğütülmüş Bayburt Taşı.

## 2.2 Yöntem

Beton karışımları  $56 \text{ dm}^3$  kapasiteli pan tipi karıştırıcıda Tablo 5'te verilen tasarımlara göre yapılmıştır. Tablo 7'de gösterilen A, B, C, D ve E notasyonu sırasıyla  $250, 300, 350, 400$  ve  $450 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajlarını; 1, 2 ve 3 kodları %20, %40 ve %60 EPS ikamesini ifade etmektedir. Üretimlerde S/Ç oranı işlenebilirliği artırmak amacıyla sabit  $0,55$  seçilmiştir. Duvar malzemeleri endüstride BHA ve ısı iletkenlik esasları dikkate alınarak üretilir ve kullanılır. Bunun yanı sıra en düşük basınç dayanımı  $1,5 \text{ MPa}$  olması önerilir. Karışım tasarımlarında maliyet ile fiziksel ve mekanik özellikler dikkate alınarak  $250, 300$  ve  $350 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajı kullanılmıştır. Ancak çok yüksek işlenebilirliğe sahip karışımlarda S/Ç oranı  $0,45$  ve  $0,35$  oranları ile çimento miktarı artırılarak denenmiştir. Bu serilerde maliyeti dengelemek amacıyla sadece standart kür uygulaması yapılmıştır. Duvar bloklarının endüstriyel üretilebilirliğini iyileştirmek amacıyla süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici de karışım tasarımlarında denenmiştir. Yazarların önceki çalışmasında [17], BVT agregası ile  $150 - 250 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajlarında hafif betonlar üretilmiş ve basınç dayanımı, BHA, ısı iletkenlik gibi özellikler incelenmiştir. Önceki çalışmada nihai basınç dayanımı yaklaşık  $10,9 \text{ MPa}$ , BHA değeri  $1300 \text{ kg/m}^3$  değerlerinde sonuç elde edilmiştir. Bu çalışmada ise bir önceki çalışmayı destekleme ve iyileştirme yönünde bir tasarım yapılmıştır. Bu kapsamda ısı iletkenlik ve BHA değerlerini düşürmek amacıyla BVT yerine hacimce %20, %40 ve %60 oranlarında EPS ikame edilerek beton tasarımları oluşturulmuştur. Karışımda kullanılan BVT çeneli kırıcı ile  $D_{\text{max}}: 8 \text{ mm}$  ( $0 - 8 \text{ mm}$ ) olacak

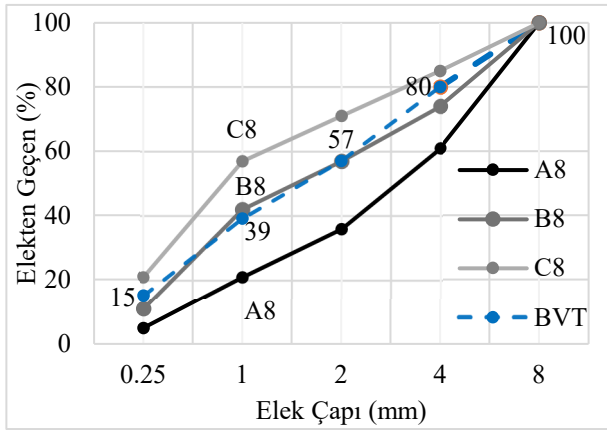
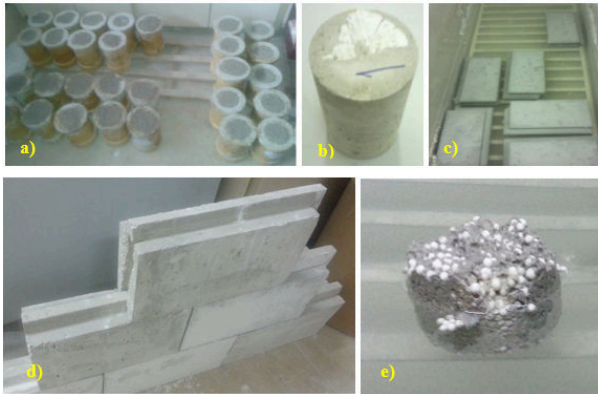
şekilde kırılmıştır. Elde edilen BVT  $0,25 \text{ mm}, 0,5 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 4 \text{ mm}$  ve  $8 \text{ mm}$  elek boyutlarında ayrı ayrı elenerek kaplarda depolanmıştır. Deneysel çalışmalarda BVT ve EPS agregaları Şekil 5'te verilen granülometri eğrisi dikkate alınarak karışımlarda kullanılmıştır.

Hafif betonların üretiminde, önce BVT iriden inceye doğru mikserle konularak  $1 \text{ dk}$  karışım süresi içinde agregaları kuru yüzey doymun (KYD) hale getirmek için hesaplanan gerekli su miktarı karışıma ilave edilmiştir.  $15 \text{ dk}$  bekleme süresi ardından KYD hale gelmiş BVT agregaları üzerine çimento eklenerek  $1 \text{ dk}$  daha karıştırılmıştır. Daha sonra mikserdeki karışıma gerekli karışım suyu ve kimyasal katkıları ilave edilerek karıştırma  $3 \text{ dk}$  daha sürdürülmüştür. Son olarak EPS'ler karışıma ilave edilmiş ve  $1 \text{ dk}$  süreyle karışıma devam edilmiştir. Üretilen taze harçların kıvamları çökme deneyiyle belirlenmiştir. Taze beton harçları Şekil 6a'da gösterildiği gibi her bir grupta en az  $10$  adet numune olacak şekilde  $100/200 \text{ mm}$  silindir kalıplara iki aşamada yerleştirilmiş ve her aşamada  $30 \text{ s}$  sarsma tablası ile vibrasyona maruz bırakılmıştır. Üretilen harç numunelerin üstüne ıslatılmış çuval serilmiş ve  $24 \text{ sa.}$  laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Hafif beton numuneler  $24 \text{ sa.}$  sonunda kalıplardan çıkarılmış ve ardından A1, B1, C1, A2, B2, C2, A3, B3 ve C3 grubu numuneler yüksek erken dayanım amacıyla  $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $3 \text{ gün}$  süreli atmosferik buhar kürüne tabi tutulmuştur.  $3 \text{ günlük}$  buhar kürü tamamlandıktan sonra numuneler  $7 \text{ gün}$  yaşına kadar kirece doymun suya bırakılmış ve ardından  $28 \text{ gün}$  yaşına kadar laboratuvar ortam koşullarına bırakılmıştır.  $400$  ve  $450 \text{ kg/m}^3$  yüksek çimento dozajlı D2, D2a ve E2 grubu deney numuneleri ise  $7 \text{ günlük}$  standart kür sonrasında ortam kürü etkilerinin belirlenebilmesi için  $28 \text{ gün}$  yaşına kadar laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde en az  $3$  numune ile  $3, 7$  ve  $28 \text{ gün}$  yaşlarında basınç dayanımı deneyleri ile TS 3624'e göre su emme deneyi yapılmıştır. Su emme deneylerinden elde edilen su emme oranı ve kuru birim hacim ağırlık verileri hesaplanarak tartışılmıştır. İlave olarak "Hot Plate Yöntemi" ile MTA Teknolojik araştırmalar ve seramik laboratuvarlarında bulunan ısı iletkenlik cihazıyla ısı iletkenlik katsayıları  $\text{W/mK}$  cinsinden belirlenmiştir.

**Tablo 5:** Hafif betonların karışım tasarımları (1 m<sup>3</sup> hacim üretmek için).

Kod	Çimento (kg)	S/Ç	Su (kg)	BVT (kg)	EPS (kg)	Kür	SA (%)	HS (%)	EPS (%)	Bulk BHA (kg/m <sup>3</sup> )
A1	250	0,55	137,5	1203,64	3,07	B+O	0,03	0,02	20	1,59
B1	300	0,55	165,0	1135,47	2,90	B+O	0,03	0,02	20	1,60
C1	350	0,55	192,5	1067,30	2,72	B+O	0,03	0,02	20	1,61
A2	250	0,55	137,5	902,73	6,14	B+O	0,03	0,02	40	1,30
B2	300	0,55	165,0	851,60	5,79	B+O	0,03	0,02	40	1,32
C2	350	0,55	192,5	800,48	5,45	B+O	0,03	0,02	40	1,35
D2	400	0,45	180,0	766,99	5,22	S+O	0,04	0,02	40	1,35
D2a	400	0,35	140,0	813,55	4,43	S+O	0,04	-	40	1,36
E2	450	0,45	202,5	721,75	4,91	S+O	0,04	-	40	1,38
A3	250	0,55	137,5	601,82	9,21	B+O	0,03	0,02	60	1,00
B3	300	0,55	165,0	567,74	8,69	B+O	0,03	0,02	60	1,04
C3	350	0,55	192,5	533,65	8,17	B+O	0,03	0,02	60	1,08

\* B+O: Buhar+Ortam Kürü, B+S: Buhar+Su kürü, SA: Süper Akışkanlaştırıcı, HS: Hava Sürükleyici

**Şekil 5:** BVT elek analizi.

**Şekil 6:** Hafif betonlar a) Kalıplanmış, b) Kalıptan çıkarılmış, c) Su küründe, d) Blok duvar elemanı, e) Suda yüzdürülen duvar numunesi.

Çalışmada tüm veriler elde edildikten sonra mevcutta sektörde kullanılmakta olan duvar

elemanı malzemeleri ile maliyet karşılaştırmalarını gerçekleştirebilmek amacıyla üretilen tüm duvar elemanlarının üretim maliyetleri günümüz fiyatlamaları çerçevesinde hesaplanmıştır. Bu kapsamda günlük 80 m<sup>3</sup> (5000 adet) üretim yapılması planlanarak üretilen duvar elemanlarında kullanılan bileşenlerin temini ve nakliyesi, 2 mühendis, 1 tekniker ve 7 işçi istihdamı, öğütme, taşınma ve karıştırma işlemleri için kullanılacak cihazların elektrik tüketimleri kW cinsinden hesaplanarak ve bunlara tahmini nakliye bedelleri eklenerek fiyatlamaya yapılmıştır. İlgili değerlendirmeler ve karşılaştırmalar bulgular ve değerlendirme bölümünde detaylandırılmıştır.

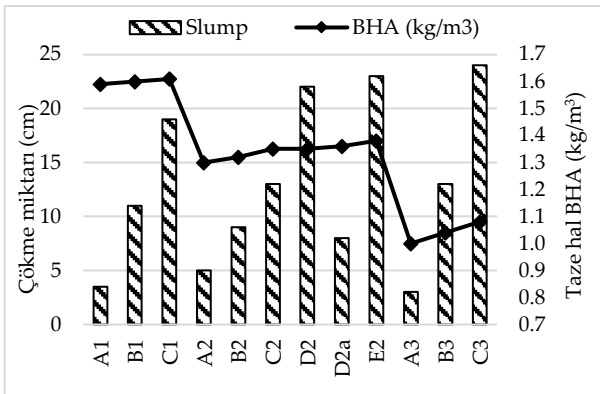
### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, hafif blok duvar elemanları üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla hafif betonların taze halde birim hacim ağırlığı (BHA) ve kıvam değerleri, sertleşmiş durumda ise basınç dayanımı, BHA su emme, kuru BHA ve ısı iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, her seride üretilen hafif beton bloklar için maliyet analizi gerçekleştirilmiş ve diğer hafif yapı malzemeleriyle karşılaştırılmıştır.

#### 3.1 Taze Beton Özellikleri

Hafif betonların üretimleri sırasında, taze beton harçları üzerinde çökme deneyi ile kıvam tayini ve kalıplara yerleştirilen betonların ağırlıkları

tartılarak taze halde birim hacim ağırlıkları  $\text{kg/m}^3$  biriminden belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'ye göre hafif betonların kıvamları (çökme değerleri) aynı EPS ikame oranına sahip serilerde çimento dozajı arttıkça artmıştır. Bunun sebebi karışımlardaki kohezif BVT agregasının azalması ve çimento dozajının artmasından dolayı katkının daha iyi çalışması sebebiyledir [17]. Karışımlarda kullanılan EPS ikame oranı arttıkça çökme değerleri de artmıştır. Ancak S/Ç oranı düşük olmasından dolayı D2a serisinin çökme değeri D2'ye göre azalmıştır.  $250 \text{ kg/m}^3$  doz çimentolu hafif betonların çökme değerleri S1 ve S2 sınıf elde edilmiştir. Bilindiği gibi hafif betonlarda kullanılan agregaların özellikle volkanik esaslı olması durumunda puzolanik özelliklerinden ve yüksek yüzey alanlarından dolayı düşük s/ç içerikli karışımlarda çimento dozajı da düşük olması durumunda süperakışkanlaştırıcı kimyasallar yeterince çalışmamaktadır. Bu sebeple çökme deney sonuçları düşük seviyede kalmaktadır. Bu yaklaşım çimento dozajları düşük olan A ve B serilerinde çok net gözlenmiştir. Ancak %60 EPS ikameli serilerde bu etkinin sadece  $250 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajlı hafif betonda gözlenmiştir. Şekil 8'de gösterilen hafif betonların taze hal BHA'larına göre en yüksek BHA %20 EPS içeren betonlarda  $1500 - 1600 \text{ kg/m}^3$ , en düşük BHA %60 EPS içeren betonlarda  $1000 - 1100 \text{ kg/m}^3$  olarak elde edilmiştir.



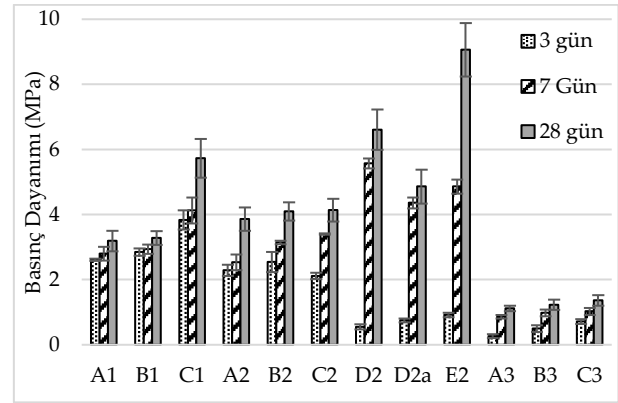
Şekil 7: Hafif betonların taze hal verileri.

### 3.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri

Çalışmada sertleşmiş hafif betonlar üzerinde 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı, 28 gün yaşında su emme deneyi ve 28 gün yaşında ısı iletkenliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de hafif betonların basınç dayanımı deney sonuçları gösterilmiştir. Ancak %60 EPS içeren hafif

betonların 28 gün yaşına kadar basınç dayanımları  $1,5 \text{ MPa}$ 'nın altında elde edilmiştir. Deney sırasında sertleşmiş hafif beton numuneler  $1,5 \text{ MPa}$  gerilme altında yüksek oranda  $0,10'$ 'dan fazla düşey şekil değiştirme göstermiş (ezilmiş) ve bu sebeple yük taşıma kabiliyeti  $1,5 \text{ MPa}$ 'nın üstüne çıkmamıştır. Ancak %60 EPS içerikli hafif betonlarda su emme deneyleri gerçekleştirilebilmiştir. Bunun nedeni düşük yoğunluktaki EPS'nin yüksek oranda kullanımı sebebiyle beton yerleşiminde ayrışmaya sebep olmuş ve böylece betonun homojenliğinin bozulmuş olmasından kaynaklanmaktadır.

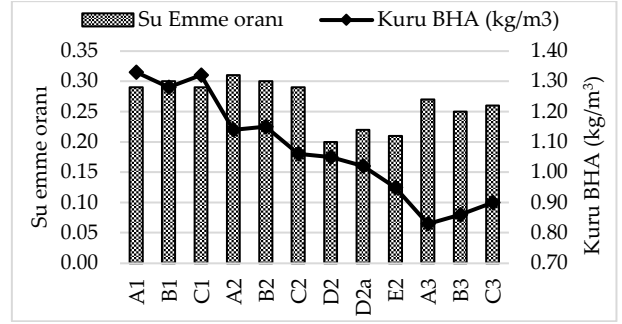
Şekil 8'de verilen basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, %20 EPS'li hafif betonlarda en düşük basınç dayanımları 3 ve 28 gün için sırasıyla ortalama  $2,62 \text{ MPa}$  ve  $3,19 \text{ MPa}$  ile  $250 \text{ kg/m}^3$  çimento dozlu seride, en yüksek basınç dayanımları 3 ve 28 gün için sırasıyla ortalama  $3,70 \text{ MPa}$  ve  $5,73 \text{ MPa}$  ile  $350 \text{ kg/m}^3$  çimento dozlu seride elde edilmiştir. %20 EPS ikameli hafif betonların çimento dozajı arttıkça erken basınç dayanımları da artmıştır. Buna göre  $250 \text{ kg/m}^3$  dozaj ile üretilen seriye göre  $300$  ve  $350 \text{ kg/m}^3$  dozaja sahip beton numunelerde 3 günlük basınç dayanımları sırasıyla %6 ile %41 oranında, 7 günlük basınç dayanımları %2 ile %45 oranında, 28 günlük basınç dayanımları %3 ile %80 oranında artmıştır.



Şekil 8: Basınç dayanımı deney sonuçları.

%40 EPS ikame oranına sahip hafif betonlarda en düşük basınç dayanımları 3 ve 28 gün için sırasıyla ortalama  $0,55 \text{ MPa}$  ve  $3,14 \text{ MPa}$  ile  $400 \text{ kg/m}^3$  ve  $350 \text{ kg/m}^3$  çimento dozlu serilerde, en yüksek basınç dayanımları 3 ve 28 gün için sırasıyla ortalama  $2,45 \text{ MPa}$  ve  $9,06 \text{ MPa}$  ile  $300 \text{ kg/m}^3$  ve  $400 \text{ kg/m}^3$  çimento dozlu serilerde elde edilmiştir. Yüksek çimento dozlu serilerde gerçekleşen erken düşük dayanımın sebebi standart kirece doymuş su kürünün tercih edilmesidir. Ancak hem çimento miktarının yüksek

olması hem de kirece doygun su kürünün etkisiyle puzolanik reaksiyonların yüksek oranda gerçekleşmesi sebebiyle 28 günlük dayanımlarda ortalama 9 MPa gibi yüksek bir dayanıma ulaşılmıştır. A2, B2 ve C2'nin 3 – 28 günlük dayanım gelişimleri sırasıyla %75, %67 ve %45 oranlarında artmıştır. Burada buhar kürünün erken dayanımlara olan etkileri net bir şekilde görülmektedir. Geleneksel betonlarda geleneksel standart kürlenmenin sonucunda basınç dayanımı gelişimi %60-65 arasında olmaktadır. Geleneksel betonlarda erken dayanım, nihai dayanımın yaklaşık %35-45'i mertebesinde olmaktadır [25]. Ancak bu çalışmanın sonucunda A2, B2 ve C2 serilerinde buhar kürünün etkisinde erken basınç dayanımları nihai dayanımın %56-68'i mertebesinde olmuştur. Böylece hafif betonda buhar kürünün etkinliğinin standart küre göre yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hafif betonların 28 günlük basınç dayanımları, çimento dozajı arttıkça önemli oranda artmıştır. D2, D2a ve E2 beton serilerinde düşük S/Ç oranı ve yüksek çimento dozajı sebebiyle en yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Standart kür uygulanan D2, D2a ve E2 hafif betonlarda erken basınç dayanımları 1,0 MPa'nın altında iken, 450 kg/m<sup>3</sup> dozaja ve 0,45 S/Ç oranına sahip E2 serisi 28 gün sonunda 9,92 MPa değerine ulaşarak en yüksek basınç dayanımına sahip olmuştur. Özellikle kirece doygun suda kür yapılan ve ardından ortamda bekletilen numunelerin yüksek orandaki puzolanik reaksiyonlardan dolayı dayanım gelişimlerinin çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Burada BVT'nin yüksek oranda su emme oranının etkin olduğu da düşünülmektedir. D2a serisinde S/Ç oranı D2 serisine göre düşük olmasına rağmen düşük işlenebilirlikten dolayı erken ve nihai dayanımlar önemli oranda azalmıştır. Burada işlenebilirliğin etkisi önemli derece görülmektedir. Aynı S/Ç oranındaki D2 ve E2 serilerinde çimento dozajı arttıkça basınç dayanımları artmıştır. Literatürde de belirtildiği gibi, çimento içeriği belirli bir seviyeye kadar artırıldığında, hidrasyon ürünleri olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) miktarı artarak betonun dayanımını iyileştirir.



Şekil 9: Su emme deney sonuçları.

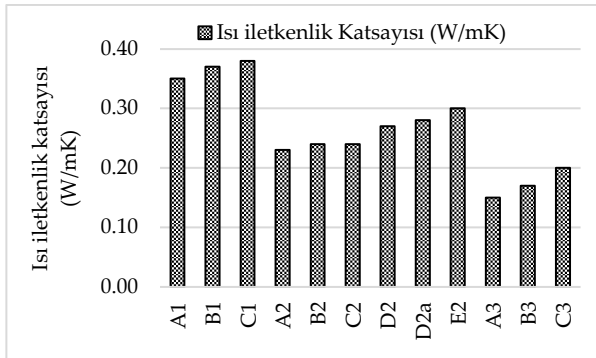
Hafif betonların su emme deney sonuçlarından elde edilen su emme oranları ile kuru BHA verileri Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9'a göre, sertleşmiş hafif betonların BHA'ları 0,83 – 1,33 kg/dm<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. En yüksek ve en düşük BHA'ları sırasıyla C1 ve A3 serilerinde elde edilmiştir. Çimento dozajındaki artış BHA değerlerini önemli oranda değiştirmemiştir. Ancak EPS oranı arttıkça BHA değerleri önemli oranda azalmıştır. Aynı çimento dozajına sahip seriler incelendiğinde, 250 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajlı serilerde birim hacim ağırlıkları, %20 EPS ikame oranına kıyasla %40 EPS ikamesiyle %21, %60 EPS ikamesiyle %83 oranında azalmıştır. Benzer şekilde, 300 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajlı serilerde birim hacim ağırlıkları, %40 EPS ikamesiyle %21, %60 EPS ikamesiyle %71 oranında bir azalma göstermiştir. 350 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajlı serilerde ise bu azalmalar, %40 EPS ikamesiyle %17, %60 EPS ikamesiyle %70 oranında olmuştur. 0,98 kg/dm<sup>3</sup> ile sudan daha düşük birim hacim ağırlığa sahip olan D2a serisiyle üretilen duvar bloğuna ait numune sudan hafif olduğu Şekil 7'de gösterilmiştir. D2a numunesinin (%40 EPS içeren hafif betonların) BHA değeri, 1000 kg/m<sup>3</sup>'ün altında kalarak ultra hafif beton sınıfına girmiştir.

Su emme oranları incelendiğinde, yüksek s/ç oranına sahip hafif betonların yüksek su emme oranlarına sebep olduğu, çimento dozajı ve EPS ikame oranı artmasına rağmen su emme oranlarında önemli değişimler olmadığı gözlenmiştir. Su emme oranları çimento dozajı 250 – 450 kg/m<sup>3</sup> olmasına rağmen %20-30 arasında olmuştur. Yüksek oranda su emmenin sebebi BVT'nin poroz yapısından kaynaklanmaktadır. BVT'nin yaklaşık %16 oranında su emdiği düşünüldüğünde hafif betonlardaki su emme oranı %4 – 14 arasında değişmektedir. %60 EPS'ye sahip hafif betonların su emme oranları BVT'nin hacimce



azalmasından dolayı daha düşük oranlarda elde edilmiştir.

Hafif betonlar genellikle basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık bakımından sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Yalıtım betonları  $300 \text{ kg/m}^3$ -  $800 \text{ kg/m}^3$ , orta dayanımlı hafif betonlar  $800 \text{ kg/m}^3$ -  $1400 \text{ kg/m}^3$ , taşıyıcı hafif betonlar  $1400 \text{ kg/m}^3$ 'den büyük birim hacim ağırlığına sahiptirler. Dayanım değerleri yalıtım betonlarında  $0,5$ - $3,5 \text{ MPa}$  ve orta dayanımlı hafif betonlarda  $3,5$ - $15 \text{ MPa}$  aralığında kalırken, taşıyıcı hafif betonlarda ise  $15 \text{ MPa}$ 'dan büyük değerlere çıkmaktadır [24]. Bu sınıflandırmalar göz önüne alındığında, çalışma kapsamında EPS ve Bayburt taşı agregası ile üretilen 12 farklı beton serisi,  $0,9$ - $1,4 \text{ kg/m}^3$  aralığında birim hacim ağırlıklarına ve  $3,1$ - $9,0 \text{ MPa}$  aralığında basınç dayanımlarına sahip oldukları için hem yalıtım hem de orta dayanımlı hafif beton sınıfında yerini almaktadır.



Şekil 10: Isı iletkenlik deney sonuçları.

Şekil 10'da üretilen hafif betonların 28 gün yaşında gerçekleştirilen ısı iletkenlik katsayılarına ilişkin veriler gösterilmiştir. Bu verilere göre  $0,15$  -  $0,20 \text{ W/mK}$  arasında en düşük ısı iletkenliğe sahip hafif betonlar %60 EPS içerikli olanlardır. Sırasıyla %20 ve %40 EPS içerikli hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları ise sırasıyla ortalama  $0,37 \text{ W/mK}$  ve  $0,25 \text{ W/mK}$  olarak elde edilmiştir. Burada elde edilen ısı iletkenlik katsayıları çimentonun artışına bağlı olarak artarken, EPS'nin artışıyla önemli derecede azalmıştır.

### 3.3 Maliyet Analizi

Çalışma kapsamında BVT ve EPS agregası ile üretilen hafif duvar elemanının maliyet analizi Tablo 6'da verilmiştir. Hesaplamalar  $40 \times 20 \times 10 \text{ cm}$  ebatlarında günlük 10000 adet ( $80 \text{ m}^3$ ) duvar

bloğunun üretim planlaması üzerine yapılmıştır. Çimento, EPS ve kimyasal katkıların fiyatı 2024 yılı rayiç değerlerine göre hesaplanmıştır. Enerji ve işçilik giderleri günlük maliyet üzerinden hesaplanmıştır. Enerji maliyeti içerisinde mikser, buhar kürü gibi üretim için gerekli makinelerin ortalama elektrik sarfiyatı ve diğer temel elektrik giderleri yer almaktadır. İşçilik gideri üretim bandında 4 kişinin asgari şartlarda istihdam edileceği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 6'da verilen maliyet analizi dolu gövde blok duvar elemanı için hesaplanmıştır. Buna göre dolu BVT Blok'ların adet fiyatları yaklaşık olarak  $10,0$  -  $19,30 \text{ TL}$  arasında hesaplanmaktadır. Bu maliyetin temel sebeplerinden biri EPS diğeri çimento bedelidir. Granül EPS fiyatlarının yüksek olması doğrudan üretim maliyetlerini etkilemiştir. Buna göre en yüksek fiyatlandırma  $400$  ve  $450 \text{ kg/m}^3$  doz çimentolu A3, B3, C3 beton serilerinde görülürken en düşük fiyatlandırma %20 EPS ikame oranıyla üretilen A1, B1, C1 beton serilerinde görülmüştür. Maliyet analizleri, BHA ve dayanım değerleriyle birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonuç %40 EPS kullanılan hafif betonlarda elde edildiği görülmektedir. Üretilen hafif beton duvar bloklarının diğer duvar elemanlarıyla maliyet karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir. 12 farklı şekilde tasarlanan hafif betonların gövdesinde Bims Blok üretiminde olduğu gibi  $105 \times 60 \times 200 \text{ mm}$  ölçülerinde 3 bölmeli boşluk oluşturulduğunda, her noktadaki hafif beton taşıyıcı kalınlığı  $20 \text{ mm}$  olmaktadır. Duvar bloğunun gövdesindeki boşluklar dikkate alındığında yaklaşık %45 oranında bir hacim kazanımı ve buna bağlı olarak BHA ve maliyet azalması meydana gelecektir.

Tablo 7'ye göre duvar elemanlarının  $1 \text{ m}^2$  için hesaplanan fiyatları düşükten yüksek olana doğru bims, BVT blok, tuğla, gazbeton ve EPS blok şeklinde sıralanmaktadır. Bu sıralamada D2a serisinin endüstriyel üretime girebileceği düşünülerek sıralamaya dahil edilmiştir. Diğer duvar elemanlarına kıyasla BVT blok, yüksek basınç dayanımı ile ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte BHA ve ısı iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

**Tablo 6:** Dolu BVT blok duvar elemanı maliyet analizi

Kod	Bileşenlerin oluşturduğu maliyet (TL/m <sup>3</sup> )					Bileşen Toplam Maliyet (TL/m <sup>3</sup> )	Üretim maliyetleri (TL/80 m <sup>3</sup> )			Toplam Maliyet (TL/m <sup>3</sup> )	Adet Maliyeti (TL/adet)
	Çimento	BVT	EPS	Su	Kimyasal		Günlük Üretim	Enerji Bedeli	İşçilik		
A1	625	98	122,7	0,28	426,6	1174	93967	700	5333	100000	5,66
B1	750	95	115,9	0,33	511,8	1378	110253	700	5333	116286	6,58
C1	875	90	108,7	0,39	597,1	1581	126506	700	5333	132539	7,50
A2	625	87	245,5	0,28	426,5	1297	103787	700	5333	109820	6,21
B2	750	86	231,5	0,33	511,8	1493	119497	700	5333	125530	7,10
C2	875	83	217,9	0,39	597,1	1690	135239	700	5333	141272	7,99
D2	1000	79	208,7	0,36	910,0	2119	169526	2	5333	174861	9,89
D2a	1000	74	177,1	0,28	910,0	2087	166993	2	5333	172328	9,74
E2	1125	71	196,3	0,41	1023,7	2345	187638	2	5333	192973	10,91
A3	625	62	368,2	0,28	426,5	1420	113608	700	5333	119641	6,76
B3	750	59	347,4	0,33	511,8	1609	128774,3	700	5333	134807	7,62
C3	875	55	326,6	0,39	597,1	1799	143940	700	5333	149973	8,48

**Tablo 7:** Duvar elemanlarının maliyet ve teknik özelliklerinin karşılaştırılması

Duvar Elemanı	Boyut	Ort. Sarfiyat	Adet Fiyatı (₺)	M <sup>2</sup> Fiyatı (₺)	BHA (kg/dm <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı iletkenlik Katsayısı (W/mK)
Gaz Beton	60x25x10	7	37,5	262,5	0,4-0,6	2,5-5,0	0,11-0,19
Tuğla	19x19x10	25	6,0	150	0,6	2,5	0,32
Bims	39x18,5x10	13	8,5	110,5	0,6	<1,5	0,127
EPS blok	58x30x10	6	48	288	0,4	<1,5	0,08
BVT blok	40x20x10	13	6,2-10,9	80,6-141,7	0,95-1,14	3,86-9,06	0,23-0,30

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Zeolitik tüf esaslı beyaz Bayburt taşı ile granül EPS agregalı hafif beton duvar bloklarının üretilebilirliği 5 farklı dozaj (250, 300, 350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup>) ve 3 farklı EPS ikame oranında (%20, %40 ve %60) araştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre hafif beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları (BHA), çimento dozajı arttıkça artarken, EPS ikame oranı arttıkça azalmaktadır. Aynı çimento dozajına sahip serilerde, EPS ikame oranı arttıkça BHA değerleri %21 ile %83 arasında azalışlar gerçekleşmiştir. Dozaj miktarının artması ve dolayısıyla BVT ve EPS agrega miktarının azalması, taze betonların akışkanlığının artmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte, EPS ikame oranı %20'den %40'a çıkarıldığında çökme değerinde azalma, %60'a çıkarıldığında ise ayrışma eğilimleri nedeniyle yeniden bir artış görülmüştür. Tüm beton karışımları arasında %40 EPS içeren serilerde en

yüksek basınç dayanımı 9,92 MPa, aynı seride en düşük BHA 1,02 kg/dm<sup>3</sup>, ısı iletkenlik katsayısı 0,23-0,30 W/mK ve %20-31 su emme oranına sahip duvar elemanı kompozisyonları elde edilmiştir. Aynı dozaja sahip beton serilerinde EPS kullanımı arttıkça basınç dayanımı önemli oranda azalmıştır. Buhar kürü erken dayanımları önemli oranda artırmış, standart kür düşürmüştür. Optimum dayanıma ulaşabilmek amacıyla öncelikle en fazla 3 gün buhar kürü, ardından 7 güne kadar standart kür ve son olarak ortam koşulları tavsiye edilebilir. Maliyet analizi, duvar elemanının hafiflik ve dayanım yeterliliği dikkate alındığında %40 EPS agregalı hafif betonlar endüstriyel üretim için daha uygun olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında üretilen BVT Blok, inşaat sektöründe duvar elemanı olarak kullanılan gazbeton, bims ve tuğlaya göre uygun maliyetle daha yüksek basınç dayanımına sahip olmakla birlikte ısı iletkenlik ve BHA verilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

**Yazar Katkısı:** Tüm yazarlar, literatür taraması, metodolojinin oluşturulması, bulguların elde edilmesi, makale yazımı ve düzenleme süreçlerine katkı sağlamıştır.

**Teşekkür:** Çalışma konusu TÜBİTAK 2209 A destek fonu ile Bideb Başkanlığı tarafından 2014 yılında desteklenmiştir.

**Çıkar Çatışması:** Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmekteyiz.

## KAYNAKLAR

- [1] E. Çiçek, "Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [2] B. Borhan, "Ytong El Kitabı," 1. Baskı, Türkiye, Türk Ytong Sanayi, 1990.
- [3] L. Gündüz, A. Sarıışık, B. Tozaçan, M. Davraz, İ. Uğur, O. Çankıran, "Pomza Teknolojisi," c. 1, Isbaş, 1998.
- [4] EPS blok, "Block Ürünler web sayfası" <https://www.epsblock.com/block-urunler/> , En son erişim: 29 Mayıs 2024.
- [5] G.Y. Kamacı, "Değişik Isı Yalıtımlı Duvar Elemanlarının Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2021.
- [6] K. Miled, R. L. Roy, K. Sab, "Compressive behavior of an idealized EPS lightweight concrete: size effects and failure mode", *Mech Mater*, vol. 36, no. 11, pp. 1031–46, 2004.
- [7] Y. Xu, L. Jiang, J. Xu, Y. Li, "Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick", *Constr. Build. Mat.*, vol. 27, no. 1, pp. 32-38, 2012.
- [8] K. G. Babu,, D. S. Babu, "Behavior of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume", *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 5, pp. 755-762, 2003.
- [9] R. L. Roy, E. Parant, C. Boulay, "Taking into account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction", *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 770-775, 2005.
- [10] B. Chen, J. Liu, "Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads", *Constr. Build. Mat.*, vol. 21, no. 1, pp. 7-11, 2007.
- [11] A. Kan, R. Demirboğa, "A novel material for lightweight concrete production", *Cement and Concrete Composites*, vol. 31, no. 7, pp. 489-495, 2009.
- [12] A. Bideci, A. H. Gültekin, H. Yıldırım, S. Oymael, Ö. S. Bideci, "Internal structure examination of lightweight concrete produced with polymer-coated pumice aggregate", *Composites Part B: Engineering*, vol. 54, pp. 439-447, 2013.
- [14] DPT, "Sekizinci Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu", 1999, <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Sekizinci-Bes-Yillik-Kalkinma-Plani-Madencilik-OIK-Raporu-EndustriyelHammaddelerAltKomisyonu-YapiMalzemeleri-III-CalismaGrubuRaporu.pdf>.
- [15] MTA, "Türkiye Magmatizma Haritası", <https://www.mta.gov.tr/v3.0/birimler/tuvak-haritalar>, En son erişim: 29 Mayıs 2024.
- [16] Türk Patent, "Bayburt Taşı", <https://ci.turkpatent.gov.tr/cografisaretler/detay/38366> , En son erişim: 29 Mayıs 2024.
- [17] İ. Tekin, T. Kotan, A.T. Osmanson, W. Brostow, O. Gencel, G. Martinez-Barrera, "Properties of lightweight concrete blocks with waste zeolitic tuff", *Materials Science (Medžiagotyra)*, vol. 26, no. 4, 2020.
- [18] M. Pekköz, İ. Tekin, "Microstructural investigation and strength properties of structural lightweight concrete produced with Zeolitic tuff aggregate", *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102863, 2021.
- [19] İ. Tekin, M. Pekköz, "The effects of ZnO powder and different fiber types used in tuff/calcite-based geopolymers on electromagnetic shielding effectiveness", *J. Build. Eng.*, vol. 89, p. 109343, 2024.
- [20] İ. Tekin, D. Tekin, "Polinaftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcıların farklı inceliklere sahip Bayburt Taşı ikame edilmiş kompoze çimentoların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, sy. 3, ss. 419-425, 2018.

- [21] İ. Tekin, T. Kotan, M. Yurdakul, E. Oner, "Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma", *Politeknik Dergisi*, c. 20, sy. 3, ss. 513-518, 2017.
- [22] A. Kan, R. Demirboga, "A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 6, pp. 2994-3000, 2009.
- [23] M. Dwarampudi, B. Venkateshwari, "Performance of light weight concrete with different aggregates a comprehensive review", *Discover Civil Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-36, 2024.
- [24] Rilem, "Functional Classification of LW Concretes. Recommendation LC," 2nd Ed., 1975.
- [25] P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, "Concrete Microstructure, Properties, and Materials," 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 2006.