

## YENİ ÜRETİM PROSESİ İLE POMZA AGREGALI HAFİF BETON VE EPS KÖPÜKLÜ İZOLASYON BLOK ÜRETİMİ, STANDARTLARA UYGUNLUĞU DİĞER DUVAR YAPI ELEMANLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Production of Pumice Aggregate Lightweight Concrete and EPS Foam Insulation Block, their Compliance with the Standards and Comparison with Other Masonry Materials

Geliş (received) 23 Şubat (February) 2010; Kabul (accepted) 03 Mayıs (May) 2010

Ali SARIİŞİK (\*)  
Gencay SARIİŞİK (\*\*)

### ÖZET

Bu çalışmada pomza agregalı hafif beton ve EPS (genleştirilmiş polistren köpük) kullanılarak üretilen izolasyon bloklarının üretimi için geliştirilen yeni bir yöntem tanıtılmakta ve bu yöntemle üretilen ürünlerin TS EN standartlarına uygunluğu araştırılmaktadır. İzolasyon bloğu üretimi için ilk defa dairesel testereli blok kesme makinesi kullanılarak 200 mm x 400 mm x 200 mm (en x boy x yükseklik) boyutlarında tek sıra boşluklu duvar hafif blok elemanı üretilmiştir. Bu kapsamda, ilk aşamada hafif beton agregasında kullanılan tüvenan pomzanın fiziksel, termal özellikleri belirlenmiş ve elek analizi yapılmıştır. İzolasyon bloğunun diğer yapı elemanları ile ısı iletkenliği, birim duvar ağırlığı ve duvar örme maliyeti karşılaştırılmıştır. Üretim sonrasında izolasyon blokların, kâgir birim olarak kullanılabilirliğini belirlemek için standartlara göre analizleri yapılmıştır. Kür süresi (28 gün) sonrası izolasyon bloğun düzlükten en büyük ortalama sapma değeri 0,150 mm, oturma yüzeylerinin düzlemsel paralellikten sapma miktarı 0,40 mm, kuru birim hacim kütlesi 562 kg/m<sup>3</sup>, basınç dayanımı 2,99 N/mm<sup>2</sup>, kapiler su emmesi 20,63 g/m<sup>2</sup>sn<sup>0.5</sup>, kâgir birim ses yutuculuğu 60 dB, ısı iletkenlik katsayısı 0,088 W/mK, başlangıç kayma bağ dayanımı 0,471 N/mm<sup>2</sup> ve sıva tutuculuk özelliği çok iyi olarak tespit edilmiştir. İzolasyon bloğunun diğer yapı elemanlarına göre ısı iletkenliği, birim duvar ağırlığı ve duvar örme maliyeti daha düşüktür.

**Anahtar sözcükler:** İzolasyon Bloğu, Yeni Üretim Yöntemi, Pomza ve EPS, Hafif Blok Elemanı

### ABSTRACT

This study introduces a new production method for insulation blocks composed of EPS (expanded polystyrene foam) and lightweight concrete containing pumice aggregate. Products produced by this method were analyzed for compliance with TS EN standards. For the production of insulation block, using circular saw block cutting machine for the first time, a single line lightweight masonry block 200 mm x 400 mm x 200 mm (width x length x height) was produced. Physical, thermal properties of the run-of-mine pumice used as the lightweight aggregate were determined and this pumice was subjected to sieve analysis. Thermal conductivity, masonry unit weight and masonry cost of the insulation blocks were compared with those of other construction elements. After the production phase was completed, insulation blocks were subjected to the following analyses to examine their compliance with standards. After the curing period (28 days), it was found that the highest value of deviation from the plane was 0,150 mm; deviation of the flanges from plain parallelism was 0,40 mm; dry density was 562 kg/m<sup>3</sup>; the compressive strength value was 2,99 N/mm<sup>2</sup>; water absorption coefficient by capillaries was 20,63 g/m<sup>2</sup>sn<sup>0.5</sup>; the sound absorption value of the masonry unit was 60 (dB); the thermal conductivity coefficient was 0,088 W/mK; the initial shear strength value was 0,471 N/mm<sup>2</sup> and plaster-holding capacity was very high. Thermal conductivity, masonry unit weight and the masonry cost of the insulation blocks were lower when compared to other construction elements.

**Keywords:** Insulation Block, New Process, Pumice and EPS, Lightweight Masonry Block

(\*) Yrd. Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Afyonkarahisar sariisik@aku.edu.tr  
(\*\*) Öğr. Gör., Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar MYO., İncehisar/Afyonkarahisar

## 1.GİRİŞ

Pomza, ağırlıklı olarak  $\text{SiO}_2$ 'den oluşan amorf yapıda gözenekli volkanik bir kayadır. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunmaktadır. Sertliği 5–6 (Mohs) ve özgül ağırlığı 1–2 g/cm<sup>3</sup> olan pomza, makro ve mikro boyutta gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözenekler arası, genellikle bağlantısız ve mesafeli olduğundan geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtım özelliği ise oldukça yüksektir. Bu üstün fiziksel özellikleri ile pomza, günümüzde birçok endüstride geniş kullanım alanına sahiptir (Yaşar ve Erdoğan, 2001).

Ülkemizdeki başlıca pomza yatakları Nevşehir, Kayseri, Bitlis ve Isparta yörelerinde olup toplam rezervi yaklaşık 3 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmaktadır. Pomza, asidik ve bazik pomza olarak iki türde bulunmakta, Ülkemizde bulunan yaygın türü asidik pomzadır (Gündüz vd, 1998). Bu çalışmada Türkiye'de yaygın olarak bulunan asidik pomza kullanılmıştır.

Pomza, homojen şekilde dağılmış, genelde birbirini kesmeyen makro ve mikro boyutta gözenek (porozite veya boşluk) sistemine sahiptir. Bu boşluğun hacimsel oranı yaklaşık %70'leri bulabilmekte ve dolayısıyla da çok hafiftir (birim hacim kütlesi 350-650 kg/m<sup>3</sup>) (Gündüz, 1998; Gündüz vd, 2007; Demirdağ ve Gündüz, 2008). Günümüzde yapı sektöründe kullanılan malzemelerde aranan temel özelliklerin başında ısı/ses yalıtımı gelmektedir. İnşaat sektöründe özellikle hafif yapı ve ısı/ses izolasyonu özelliğine sahip hafif blok elemanı ve hafif beton imalatında pomzanın kullanılabileceği, bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur (Gündüz, 1998; Gündüz, 2001; Cavaleri vd, 2003; Campione ve Mendola, 2004; Piora ve Piora, 2004; Gündüz vd, 2007; Demirdağ ve Gündüz, 2008; Gündüz, 2008a;2008b). Ayrıca hafif blok elemanı ve hafif beton imalatında kullanılan agregalar yerine yoğunluğu düşük, gözenekliliği yüksek olan pomza dışında diatomit, vermikulit, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş killer ve EPS köpüğü gibi doğal ve sentetik ürünlerin kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır (Sri ve Tuck, 1994; Kayyali ve Haque, 1996; Demirboğa vd, 2001; Demir ve Uygunoğlu, 2003; Babu, vd., 2003; Sari ve Paşamehmetoğlu, 2005; Gündüz, 2005; Babu, vd., 2006; Gündüz vd, 2007; Demirdağ ve Gündüz, 2008; Hossain, 2008; Topçu ve Işıkdag, 2008; Bouchair, 2008; Gündüz, 2008a;2008b).

Günümüzde pomza inşaat sektöründe en yaygın olarak, izolasyon tuğlası (bimsblok veya tuğla) üretiminde kullanılmaktadır (Gündüz, 2005). İzolasyon tuğlası üretim aşamaları ise sırasıyla pomzanın uygun boyutlarda sınıflandırılması, uygun oranda çimento ve su ile karıştırılıp kalıplara dökülmesi, vibrasyonlu presleme işlemiyle şekillendirilmesi, kürlenme, paketleme ve mamül ürün üretilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu proses ile üretilen ürünler standartlara uygun olarak 200x400x200 mm boyutlarında üretilmiştir (TS EN 771-3). Bu çalışmada klasik üretim prosesinde iki değişiklik yapılmış olup bunlar; (i) küçük boyutlu kalıplar yerine çok daha büyük boyutlu (1250x1280x650 mm) kalıpların kullanılması ve (ii) bimsblok robotik üretim prosesi (vibrasyon ve presleme) yerine büyük blok halinde üretilmiş ürünler, doğal taş bloklarını kesmede kullanılan dairesel testereli blok kesme makinesi kullanılarak ebatlı izolasyon blokları elde edilmiştir. Dairesel testereli blok kesme makinesi kullanılarak izolasyonlu blok üretimi ilk kez uygulanmıştır. Ayrıca kalıp içerisinde belirli aralıklarla EPS (genleştirilmiş polistren köpük) yerleştirilmiş olup bu sayede bloğun izolasyon ve hafiflik özelliklerinin daha da artırılması düşünülmüştür.

Çalışmada yeni yöntem ile daha düzgün yüzeyli, işçilik ve zamandan tasarruf elde ederek daha düşük maliyetli bir yapı elemanı üretmek amaçlanmıştır. Pomza agrega katkılı, izolasyon bloğunun, TS EN standartlarına uygun tek sıra boşluklu duvar blok elemanının üretimine getireceği avantajlar ve nihai ürün olarak kullanımı için gerekli testler yapılmıştır. Ayrıca izolasyon bloğu diğer yapı elemanlarıyla karşılaştırılarak maliyet analizi yapılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan pomza, Nevşehir yöresine ait asidik pomza özelliğinde, Hilal Bims Ltd. Şti ocaklarından temin edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Tüvenan pomzanın doğal görünümü.

Pomza agregasının fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, doluluk oranı, porozite, su emme gibi özellikleri TS EN standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan pomza agregasının, çimento ve EPS köpüğünün özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

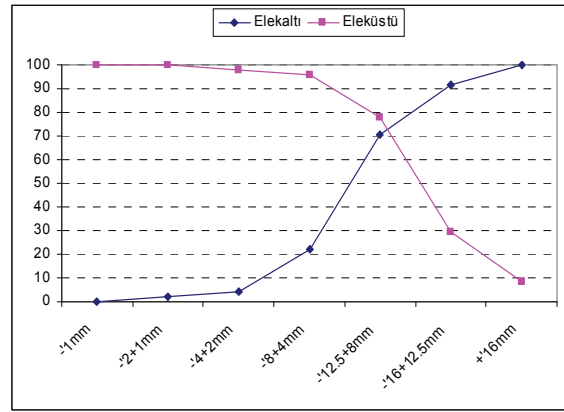
Çizelge 1. Pomza, Çimento ve EPS Köpüğünün Özellikleri

Pomza Özelliği	Birim	Değer
Renk	-	Beyaz
Mohs Sertliği	-	6
pH	-	5,5–6,0
Özgül Ağırlık	g/cm <sup>3</sup>	2,26
Birim Hacim Ağırlık	kg/m <sup>3</sup>	423,0
Su Emme	%	34,0
Doluluk Oranı	%	18,5
Gerçek Porozite	%	69,0
Görünür Porozite	%	81,5
<b>Pomza Yalıtım Özelliği</b>		
Isı İletkenliği	W/mK	0,132
Sıva Tutma	-	Çok iyi
Özgül Isı Kapasitesi	kcal/kg°C	0,255
Ses Geçiş Katsayısı		0,20
<b>Çimento Özelliği</b>		
Özgül Ağırlık	g/cm <sup>3</sup>	3,10
28 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	43,00
<b>EPS Köpüğü</b>		
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	26,91
Isı iletkenlik değeri	W/mK	0,040
Basınç Dayanımı	MPa	0,2

Çalışmada, TS EN 197–1 standardına uygun % 95 klinker içerikli Portland Çimento CEM I 42,5 R kullanılmıştır. Termoplastik hidrokarbon olan EPS yalıtım malzemesi, % 98’i havadan oluşmuş, DIN 4102 standardına uygundur. EPS’nin yoğunluğu

26,91 kg/m<sup>3</sup> iken basınç dayanımı 0,2 MPa’dır. Polistren köpüğün ısı iletkenlik değeri oldukça düşük olup, 0,040 W/mK’dir (Püd, 1995; Basf, 1996).

Çalışmada elek analizi için 2500 g pomza numunesi agregada ocağından farklı noktalardan alınmıştır. Elek analizi için 16 mm, 12,5 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm ve 1 mm elek açıklıkları olan kare gözlü elekler kullanılmıştır. Deney numunesi etüvde 105 °C (±5 C) sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Deney elekleri aşağıdan yukarıya doğru göz açıklıkları giderek büyüyecek şekilde üst üste yerleştirilerek, eleklerin altında ve üstünde numuneler teker teker tartılarak miktarları bulunmuştur (TS 3530 EN 933-1). Tüvenan pomza malzemesinin elek analizi sonuçlarına göre 12,5–16 mm % 70, 4–8 mm % 22, 1–4 mm % 8 elek altı olarak tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Tüvenan pomzanın elek analiz sonuçları.

Büyük blokların kesiminde ve ebatlamada kullanılan dairesel testerelerin teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Dairesel Testerelerin Bazı Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler			
Çap (mm)	625	700	1200	1800
Gövde Kalınlığı (mm)	3,00	3,00	5,50	7,00
Soket Adedi	42	40	80	120
Minimum Flaş Çapı (mm)	180	200	300	400
Su İhtiyacı (l/min)	30–45	30–45	75–100	70–120
Min. Motor Gücü (kW)	15	22,5	45	60
Devir (d/dk)	1050	950	550	360



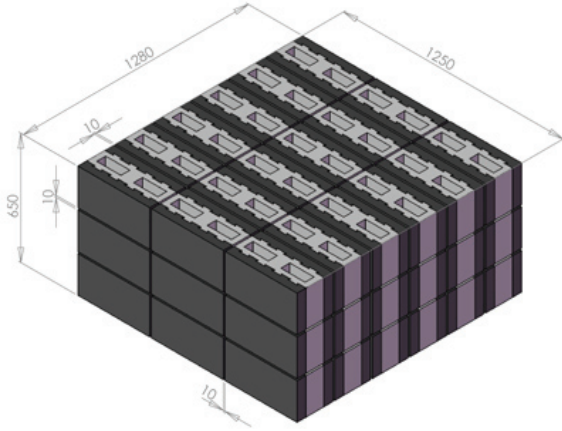
## 2.2. İzolasyon Bloğun Üretim Yöntemi

Çalışmada kullanılan tüvenan pomza ocak sahasında 1–16 mm elek aralığında elenerek, kamyonlar ile üretim prosesi için ürünün üretildiği fabrikaya sevk edilmiştir. Fabrika da pomza agregası malzeme silosuna aktarılmıştır. (Şekil 3a, 3b). Bilgisayar kontrollü mekanize bir sistemle, % 70–75 oranında pomza agregası ve bağlayıcı olarak % 8–15 oranında çimento, % 15–20 oranında su ile homojen olarak karıştırılması için mikserle gönderilmiştir (Şekil 3c). 1250x650x110 mm boyutlarında EPS köpüklerinden 6 adet kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan hafif beton karışımı kalıplara doldurularak, vibrasyon uygulanmıştır. (Şekil 3d). Kalıplar içerisinde bulunan izolasyon blokları forklift ile fabrikanın küreme bölümüne taşınarak, 3 günlük kür süresinde 20 °C'de oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 3e). Daha sonra dünya'da ilk defa denenilen ve bu özgün

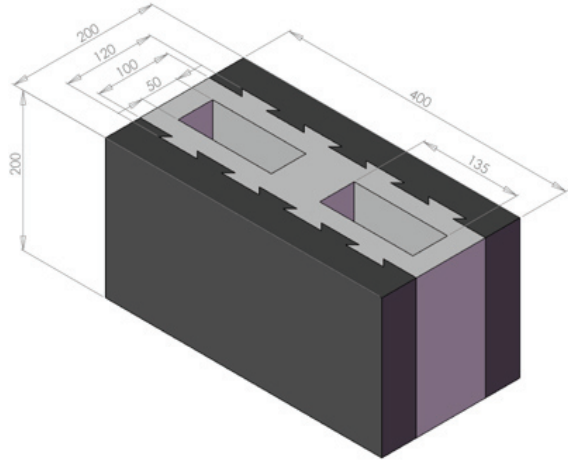
çalışma sonucu belirlenmiş üretim yöntemi için tasarlanan, Doğaltaş sektöründen uyarlanmış, modern hassas otomatik blok kesme makinesinde ölçülere uygun olarak kesilmiştir (Şekil 3f). Dairesel testere kesim makinesinde doğaltaş sektöründen farklı olarak, dikey ve yatay testere yerine 2 adet dikey testere kullanılarak kademeli kesim yapılmaktadır. Küçük çaplı dikey testere 650 mm yüksekliğindeki bloğun önce yarı kademesini kesmekte daha sonra büyük çaplı testere ise diğer yarısını kesmektedir (Şekil 3g). Dairesel testere blok kesme makinesi ile kesilerek elde edilen 1250x650x200 mm boyutlarında büyük blok dilimleri vakumlu robot makinesi ile üretim bandı üzerine alınmıştır (Şekil 3h). Önce büyük blok dilimleri boy ebatlama makinesi ile 1250x200x200 mm boyutuna, daha sonra enine ebatlama makinesi ile 200x400x200 mm boyutuna kesilerek, büyük bloktan toplamda 54 adet izolasyon bloğu üretilmiştir (Şekil 3i, Şekil 4).



Şekil 3. İzolasyon bloğu üretim tesisinde proses süreci.



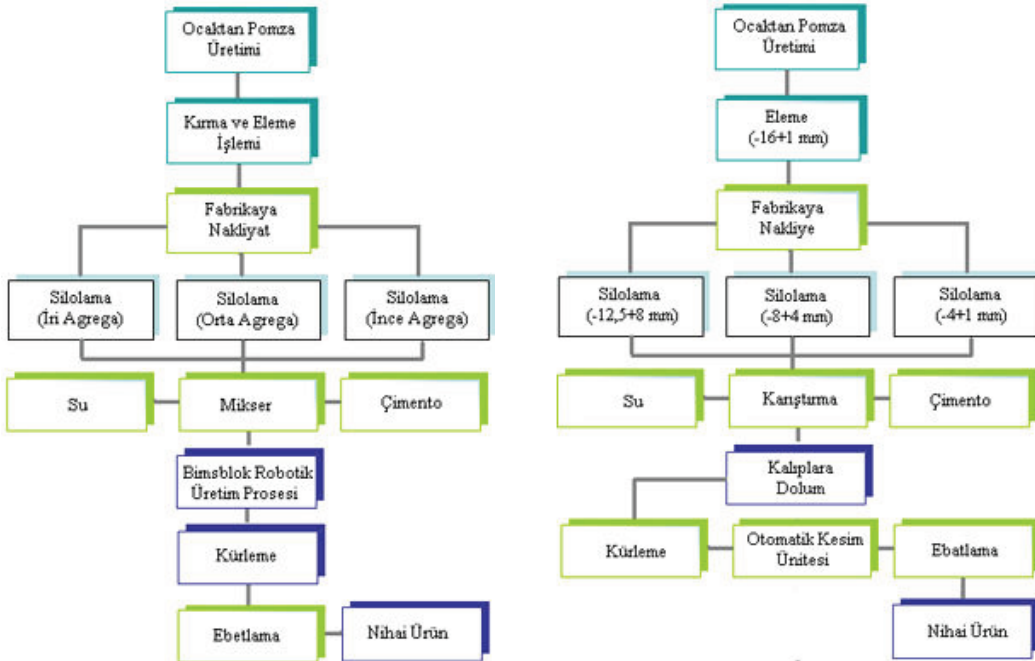
Şekil 4. İzolasyon bloğunun otomatik kesim ünitesinde kesim modellemesi.



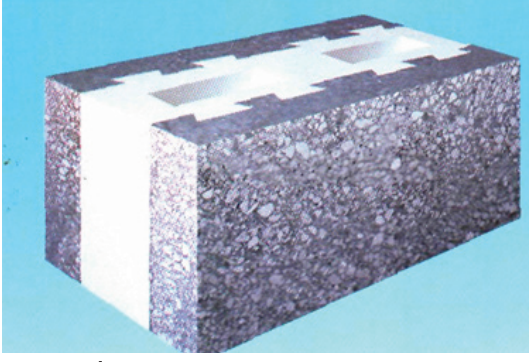
Şekil 5. İzolasyon Bloğu için kullanılan boyutlandırma sembolleri ve gösterimi.

İzolasyon blok iç kısımları ortalama 110 mm polistren köpük malzemesinden, dış yüzeylerinin her biri ortalama 45 mm kalınlığında, pomza kullanılarak yapılan hafif beton plakalarından oluşmaktadır (Şekil 5).Klasik bimsbloğun ve yeni izolasyon bloğunun üretim proseslerinin akım şemaları verilmiştir (Şekil 6). İzolasyon bloğu pomza, çimento ve EPS (polistren köpük) malzemeleri kullanılarak ısı/ses yalıtımı yüksek yeni bir ürün olarak üretilmiştir (Şekil 7).

Deneylerde kullanılan izolasyon bloğu hafif beton bloklar halinde 1250x1280x650 mm boyutlarında kalıplara dökülmüştür. 3 günlük kür sonrası otomatik kesme ünitesinde 200x400x200 mm tesis boyutlarında ebatlanmıştır. 28 gün kür süresi dolduktan sonra Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma Laboratuarında analizi yapılmıştır.



Şekil 6. Klasik bimsbloğun ve İzolasyon bloğun üretim yöntemi akım şeması.



Şekil 7. İzolasyon bloğun nihai ürün görünümü.

## 2.3 Uygulanan Deneyler

### 2.3.1 İzolasyon Bloğunun Kâgir Birim Olarak Kullanılabilirliğinin Analizi

Deneyler stok alanındaki farklı bloklardan temsili olarak alınan 54 adet numune (9 deney x 6 numune = 54 adet numune) ile yapılmıştır. Her bir deneyin analiz değerleri aritmetik ortalamaları alınarak belirlenmiştir.

#### Yüzey Düzgünlüğü Analizi

Bu analiz TS EN 772–20 standardına göre izolasyon bloğunun düzgün yüzey olarak beyan edilen her yüzde iki köşegen uzunluğu, cetvel ile 0,05 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Cetvel, sırasıyla her köşegen üzerine yerleştirilip, kâgir birim yüzeyi ile cetvel arasındaki açıklık (mesafe), aralık ölçerle belirlenmiştir. Kâgir birim yüzünün dışbükey (konveks) olması halinde ise cetvel, yüzeye temas noktasının her iki tarafında, cetvel ile yüzey arasındaki en büyük açıklık yaklaşık olarak eşit olacak şekilde yerleştirilmiştir.

#### Oturma Yüzeylerinin Düzlemsel Paralellikten Sapma Analizi

Bu analiz TS EN 772–16 standardına göre kâgir birim ölçme işleminden önce, boyut açısından kararlı, düz bir yüzey üzerinde oynamaz şekilde yerleştirilmiştir. Kâgir birimin üst oturma yüzeyi ile düz alt yüzey arasındaki mesafe, dört köşeden ölçülmüştür. Her bir ölçme değeri, en yakın 0,2 mm'ye yuvarlatılarak gösterilmelidir.

#### Birim Hacim Kütle Analiz Deneyi

İzolasyon bloğunun, kâgir birim olarak değerlendirilebilmesi amacıyla, birim hacim

kütle deneyi yapılmıştır. Bu analizde, izolasyon bloğunun birim hacim kütlelerinin ölçülmesi, etüvde kurutulup şartlandırılmış bir durumda TS EN 772–13 standardının öngördüğü prensipler çerçevesinde, boyutları ve ağırlıkları alınmıştır. Bu prensibe göre kâgir birim elemanlarının birim hacim kütle değeri ( $\rho_{g,u}$ ), bir bloğun yüklemeye, ısı yalıtımı ve ses yalıtımı, yangına karşı direnç değerlerinin analizinin irdelenmesinde kullanılır. TS EN 772–13 standardına göre aşağıda verilen eşitlik yardımıyla birim hacim kütle değeri hesaplanmıştır.

Üretilen izolasyon bloklarının birim hacim kütle değeri ( $\rho_{g,u}$ ) TS EN 772–13 standardına göre aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$(\rho_{g,u}) = M_{dry,u} / V_{g,u} \quad (1)$$

Burada; ( $\rho_{g,u}$ ): Birim Hacim Kütle ( $kg/m^3$ ),  $M_{dry,u}$ : Kuru ağırlık ( $kg$ ),  $V_{g,u}$ : Hacim ( $m^3$ )'dir.

#### Basınç Dayanım Analizi

İzolasyon blok örneklerinin mekanik (basınç) dayanım analizi TS EN 772–1 standardına uygun olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_c = F_c / A \quad (2)$$

Burada;  $\sigma_c$ : Basınç dayanımı değeri ( $kgf/cm^2$ ),  $F_c$ : Yenilme yük değeri ( $kg$ ),  $A$ : Deneye tabi yüzey alanı ( $cm^2$ )'dir.

#### Kılcal Yolla Su Emme Analizi

İzolasyon bloğu için kapiler su emme değerinin belirlenmesi, TS EN 772–11 standardına göre yapılmıştır. Bu standart kapsamında 6 adet 200x200x400 mm boyutlarındaki izolasyon blok örneğinin kılcal su emme deneyi yapılmış ve blokların kapiler su emme katsayısı ( $g/m^2sn^{0.5}$ ) biriminde aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{w,s} = [(M_{so,s} - M_{dry,s}) / (As\sqrt{t_{so}})] \times 106 \quad (3)$$

Bu eşitlikte;  $C_{w,s}$ : Numunenin kapiler su emme katsayısı ( $g/m^2sn^{0.5}$ ),  $M_{so,s}$ : Numunenin (t) sureyle suya teması sonrasında kütle (g),  $M_{dry,s}$ : Numunenin kurutma sonrasında kütle (g),  $t_{so}$ : Numunenin suya temas ettirilme süresi (s),  $As$ : Numunenin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı ( $mm^2$ ) dir.



## Isı İletkenlik Analizi

Isı iletkenliği katsayısı, homojen bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklık farkı 1°C olduğunda yüzeyin 1 m<sup>2</sup> alanında ve bu alana dik yönde 1 m kalınlıktan 1 saatte geçen ısı miktarıdır (Gündüz, 2005). Numuneler, 105°C ± 5°C etüvde kurutulduktan sonra ısı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz, üç odadan oluşmaktadır. Ortadaki odaya blok yerleştirilerek, diğer iki odada bulunan sensörler blok yüzeyine temas ettirilerek iki yüzey arasındaki ısı değerleri her 15 dakikada ısı akımı (amper) artırılarak göstergeden okunmuştur.

Isı iletim katsayısı;

$$\lambda = Q \cdot d / \Delta t \cdot A \quad (4)$$

formülü ile bulunmuştur. Bu formülde,  $\lambda$ : Isı iletkenlik katsayısını (W/mK),  $Q$ : Verilen ısı miktarı (Watt),  $d$ : Numunenin kesit kalınlığı (m),  $\Delta t$ : Numune yüzeyi sıcaklık farkı (°C),  $A$ : Isının geçtiği yüzey alanı (m<sup>2</sup>)'dir.

## Ses Yalıtımı Analizi

Bu analiz TS EN ISO 140-4 standardına göre izolasyon blok tarafından soğurulan ses şiddetinin belirlenmesi sağlanabilmektedir. Her bir frekans değerine karşılık gelen ilk fon ölçümleri ( $E_1$ ) ile ikinci fon ölçümleri ( $E_2$ ) arasındaki değer farklılıkları, ölçülen izolasyon bloğun gürültü azalması veya ses yalıtım değeri ( $D$ ) olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme gerçekte, izolasyon bloğun iki tarafında ortaya çıkan ses basınç düzeyleri arasındaki fark olarak belirlenmiş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla ifade edilir.

$$D = E_1 - E_2 \quad (5)$$

Bu eşitlikte;  $D$ : Kagir birimin ses yalıtım değeri (dB),  $E_1$ : Malzeme üzerine gelen gürültünün ses basınç düzeyi (dB),  $E_2$ : Malzemeyi geçen gürültünün ses basınç düzeyi (dB) dir.

## Başlangıç Kayma Bağ Dayanım Analizi

İzolasyon bloğun yatay yataklama derzlerindeki düzlem içi başlangıç kayma dayanımı deneyi TS EN 1052-3 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her numunenin, her basınç gerilmesi seviyesindeki kayma dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{voi} = f_{i, büyük} / 2A_i \quad (6)$$

Bu eşitlikte,  $f_{voi}$ : Her kâgir numunenin kayma dayanımı (N/mm<sup>2</sup>),  $F_{i, büyük}$ : Her kâgir numunenin taşıyabildiği en yüksek kesme yükü (N),  $A_i$ : Kâgir numunenin, yataklama derzlerine paralel en kesit alanı (mm<sup>2</sup>) dir.

Her bir ön basınç yüklemesindeki ön gerilme değeri de aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$f_{pi} = f_{pi} / A_i \quad (7)$$

Bu eşitlikte,  $f_{pi}$ : Her numuneye uygulanan ön basınç gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>),  $f_{pi}$ : Ön basınç yükü (N) 'dür.

Başlangıç kayma dayanımının karakteristik değeri,  $f_{vok}$ ;  $f_{vok} = 0,8 f_{vo}$  eşitliği kullanılarak ve içsel sürtünme açısı karakteristik değeri  $\alpha_k$ ;  $\tan \alpha_k = 0,8$  tan  $\alpha$  eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte,  $f_{vok}$ : Başlangıç kayma dayanımının karakteristik değeri (N/mm<sup>2</sup>),  $f_{vo}$ : Ortalama başlangıç kayma dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)'dir.

## 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 3.1. İzolasyon bloğun Kâgir Birim Olarak Kullanılabilirliğinin Analizi Sonuçları

Türkiyede hafif agregalı beton kâgir birimlerin üretimi, boyutlandırması ve inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak kullanım kriterleri, TS EN 771-3/Nisan 2005 standardında verilmiştir. İzolasyon blok ürününün TS EN 772-20'de belirtilen standartlara göre yüzey düzgünlüğü analizi sonucunda, kagir birimin dikdörtgen prizma şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonucu ürünün düzlükten en büyük sapma değeri 0,150 mm olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Yüzey Düzgünlüğü Analiz Sonuçları

No	YK-1 (mm)	YK-2 (mm)	YOK (mm)	YKA1 (mm)	YKA2 (mm)	DS (mm)
1	451,33	451,20	451,26	0,025	0,025	0,025
2	452,27	452,34	452,30	0,225	0,225	0,225
3	451,38	451,26	451,32	0,175	0,175	0,175
4	451,85	451,85	451,85	0,175	0,175	0,175
5	452,00	451,94	451,97	0,162	0,163	0,162
6	451,11	451,09	451,10	0,137	0,138	0,138
Ort	451,66	451,61	451,63	0,150	0,150	0,150

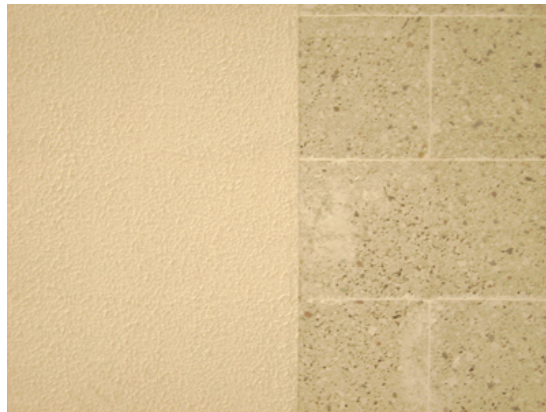
YK-1: Yüzeyin 1. Köşegen Uzunluğu, YK-2: Yüzeyin 2. Köşegen Uzunluğu, YOK: Yüzeyin Ortalama Köşegen Uzunluğu, YKA1: 1.Köşegende Yüzey ile Cetvel Arasındaki En Fazla Açıklık, YKA2: 2.Köşegende Yüzey ile Cetvel Arasındaki En Fazla Açıklık, DS: Düzlükten En Büyük Sapma Değeri.

İzolasyon bloğun oturma yüzeylerinin düzlemsel paralellikten sapma analizi TS EN 772-16'da belirtilen standartlara göre yapılmış olup, elde edilen deneysel bulgular aşağıdaki Çizelge 4'de verilmiştir. Buna göre oturma yüzeylerinin düzlemsel paralellikten sapma analizi ortalama değeri 0,396 mm olarak tespit edilmiştir izolasyon blok duvar elemanlarının kesim işleminden sonra boyutlarında en fazla 0,40 mm sapmalar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Oturma Yüzeylerinin Düzlemsel Paralellikten Sapma Analizi Sonuçları

Yüzeylerin Paralellik Ölçümü (mm)	Oturma Yüzeylerinin Düzlemsel Paralellikten Sapması (mm)		
Numune No	1	2	3
12 Ölçüm Ortalaması	0,074	0,613	0,427
Numune No	4	5	6
12 Ölçüm Ortalaması	0,591	0,319	0,353
Sapma Miktarı (mm)	0,40		

Bimsblok üretim prosesinde (vibrasyon ve presleme) üretilen bimsblokların yüzey düzgünlüğü düşük olduğu için ekstra sıva ihtiyacı duyulmaktadır. Bunun sonucu olarak duvar birim maliyeti yüksektir. Bu yeni üretim prosesinde izolasyon bloğu dairesel testereli blok kesme makinelerinde dairesel testerelerle kesilerek üretildiği için izolasyon bloğunun yüzeyi daha düzgün ve pürüzsüzdür (Şekil 8).



Şekil 8. İzolasyon bloğu ile sıva harcı kullanılmadan yapılmış düzgün duvar görünümü.

İzolasyon blok, 28 gün kür sonrası birim ağırlık değeri 9,068 kg, birim hacim kütle (BHK) değeri ise 562 kg/m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir (Çizelge 4). Kagir birimindeki polistren köpüğün (EPS) yoğunluk değeri 26,91 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. İzolasyon bloğu ile örülmüş 1 m<sup>2</sup> duvarın birim ağırlığı 113,35 kg/m<sup>2</sup> (12,5 adet/m<sup>2</sup> x 9,068 kg/adet) olarak hesaplanmıştır

İzolasyon bloğunun birim hacim kütlesi (BHK) 562 kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmış, bu ürünün ısı iletkenlik değerinin önemli ölçüde düşük olduğu ve dolayısıyla ısı yalıtımı değerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Birim Hacim Kütle Analizi Sonuçları

No	U (mm)	G (mm)	Y (mm)	KA (kg)	BHK (kg/m <sup>3</sup> )
1	404,40	200,00	199,20	8,691	539
2	404,72	201,01	199,00	8,770	542
3	404,06	200,14	198,83	8,664	539
4	404,98	200,13	199,08	9,695	601
5	404,74	201,07	198,66	9,866	610
6	404,48	200,15	198,40	8,723	542
Ort	404,56	200,42	198,92	9,068	562

U:Uzunluk, G: Genişlik, Y: Yükseklik, KA: Kuru Ağırlık, BHK: Birim Hacim Kütle

TS EN 771–3 standardına göre, duvar blok elemanları için dayanımla ilgili herhangi bir limit değer belirtilmemiş olmasına rağmen, pratik incelemeler göstermektedir ki, minimum blok basınç dayanım değeri 1,96 N/mm<sup>2</sup> ve ortalama basınç dayanım değeri ise 2,45 N/mm<sup>2</sup> olması arzu edilir (Gündüz vd, 2006). Bu bağlamda, çalışmada elde edilen izolasyon bloklarının analizlerinde basınç dayanım değerlerine bakıldığında, 28 gün kür sonrası tüm karışım kombinasyonlarında hazırlanan hafif beton harcıyla dökülen blokların dayanımının, bu değerleri sağladığı görülmüştür. Hafif beton harcı ve EPS ile elde edilen blok elemanları 28 gün sonrası ortalama 2,99 N/mm<sup>2</sup>lik basınç dayanımı değerine ulaşmıştır (Çizelge 6).

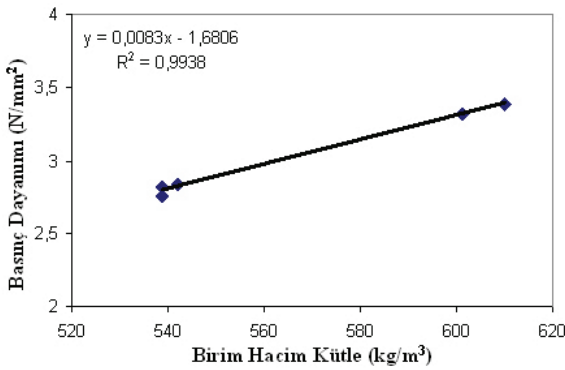
Çizelge 6. Basınç Dayanımı Analizi Sonuçları

No	U (mm)	G (mm)	DYA (cm <sup>2</sup> )	YY (kgf)	BD (N/mm <sup>2</sup> )
1	404,40	200,00	808,80	23261	2,82
2	404,72	201,01	813,52	23560	2,84
3	404,06	200,14	808,69	22773	2,76
4	404,98	200,13	810,49	27427	3,32
5	404,74	201,07	813,81	28125	3,39
6	404,48	200,15	809,57	23445	2,84
Ort	404,56	200,42	810,81	24762	2,99

U:Uzunluk, G: Genişlik, DYA: Deneye Tabi Yüzey Alanı, YY: Yenilme Yüğü, BD: Basınç Dayanımı



Şekil 9'da İzolasyon bloklarda birim hacim kütle ile basınç dayanımı arasında basit doğrusal regresyon yapılmıştır.  $R^2 > 0,99$  değeri ile bu model regresyon modeli değişimini açıklamakta önemli bir belirleyicilik katsayısına sahiptir. İzolasyon bloklarda birim hacim kütle ile basınç dayanımı arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir. "Gündüz, 2005'de yaptığı çalışmada blok elemanın birim ağırlıklarının düşmesi, doğal olarak basınç dayanımı değerinde düştüğünü tespit etmiştir." Pomza agregalarında tane boyutu küçüldükçe, gözeneklilik oranının da azalmasına bağlı olarak, pomzanın birim hacim ağırlığı artmaktadır.



Şekil 9. 28 Günlük numunelerin birim hacim kütle ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

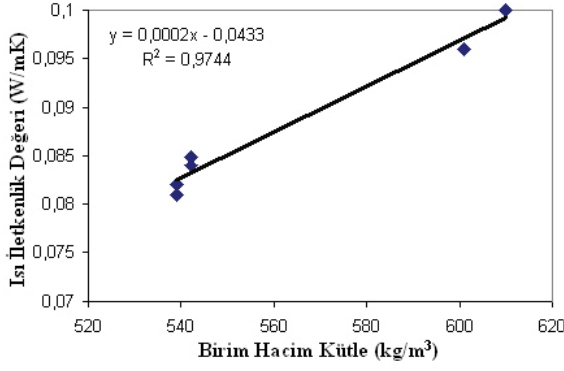
Blok elemanları üzerine yapılan bir diğer incelemede ise, pomza agrega katkı miktarının bloğun ısı iletkenlik değeri ve ses yutuculuk değerlerine olan etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada pomza agrega katkı oranı artırılarak, çimento kullanım miktarı düşürülmüştür. Buna bağlı olarak izolasyon bloğunun birim ağırlığı düşmüş ve ısı iletkenlik değeri de iyileşmiştir/azalmıştır. TS EN 1745 standardında verilen analiz yöntemine göre belirlenen blok ısı iletkenlik değerleri ( $\lambda$ ) Çizelge 7'de verilmiştir. İzolasyon blokta 28 gün kür sonrası ortalama ısı iletkenlik değeri, 0,088 W/mK olarak belirlenmiştir.

Şekil 10'da izolasyon bloklarda birim hacim kütle ile ısı iletkenlik değeri arasında basit doğrusal regresyon yapılmıştır.  $R^2 > 0,97$  değeri ile bu model regresyon modeli değişimini açıklamakta önemli bir belirleyicilik katsayısına sahiptir. EPS'li üretilen izolasyon blokların birim hacim kütle ile ısı iletkenlik değeri arasındaki ilişki görülmektedir. BHK artması ile ısı iletkenlik değeri artmıştır. BHK ile ısı iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki vardır.

Çizelge 7. Isı Davranış Analizi Sonuçları

Kagir Birimin Fiziksel Özellikleri	Birim	Değer
Yükseklik	mm	199,20
Uzunluk	mm	404,40
Genişlik	mm	200,00
Kuru Birim Kütle Değeri	kg	8,708
Toplam Hacmi	m <sup>3</sup>	0,0161
Kuru Birim Hacim Kütle	kg/m <sup>3</sup>	540,0
Polistren Köpük Yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>	26,91
Hesaplama Parametreleri (TS EN 1745, ISO 6946):		
Isı Yayımlama Ortalama Sıcaklığı (T) (İS6946)	°C	10,0
Isı Yayımlama Katsayısı ( $h_{ro}$ ) (ISO 6946)	-	5,1
Emisyon Derecesi ( $\epsilon_1$ ) (ISO 6946)	-	0,9
Emisyon Derecesi ( $\epsilon_2$ ) (ISO 6946)	-	0,9
İç Ortam Sıcaklığı, $T_{iç}$	°C	22,0
Dış Ortam Sıcaklığı, $T_{dış}$	°C	-9,0
İç Yüzey Isı İletim Direnci, $\alpha_{iç}$ (ISO 6946)	m <sup>2</sup> K/W	0,13
Dış Yüzey Isı İletim Direnci, $\alpha_{dış}$ (ISO 6946)	m <sup>2</sup> K/W	0,04
Malzemenin Isı İletkenlik Değeri TS EN 1745	W/mK	0,285
Örgü Harcı Birim Hacim Kütle	kg/m <sup>3</sup>	1650
Örgü Harcı Isı İletkenlik Değeri (TS EN 1745)	W/mK	0,766
Birim Yüzeyinden Toplam Isı Akışı, $Q_{toplam}$	W/m <sup>2</sup> K	12,66
Eşdeğer Isı Geçişi, $U_{es}$	W/m <sup>2</sup> K	0,409
Kagir Birim Eşdeğer Isı İletkenlik Değeri ( $\lambda_{es}$ )	kcal/mh°C	0,076
	W/mK	0,088

İzolasyon blok ürününün kılcal yolla su emme analizi yapılmıştır. Çizelge 8'de görüldüğü gibi TS EN 772-11 standardına göre yapılan kılcal yolla su emme analizi sonucunda kapiler su emme değeri 20,63 g/m<sup>2</sup>sn<sup>0.5</sup> olarak tespit edilmiştir.



Şekil 10. 28 Günlük numunelerin birim hacim kütle ile ısı iletkenlik değeri arasındaki ilişki.

Çizelge 8. Kılcal Yolla Su Emme Analizi Sonuçları

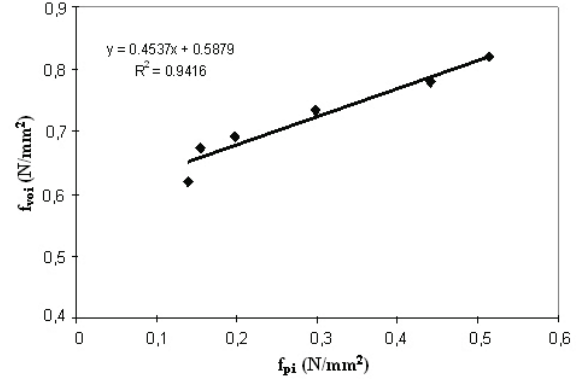
No	$M_{dry,s}$ (g)	$M_{so,s}$ (g)	As (mm <sup>2</sup> )	$t_{so}$ (dk)	$C_{w,s}$ (g/m <sup>2</sup> sn <sup>0,5</sup> )
1	8645	8690	80880	10,00	22,71
2	9686	9733	81352	10,02	23,56
3	9848	9889	80869	10,06	20,64
4	9723	9748	81049	10,03	12,57
5	9811	9853	81381	10,02	21,05
6	8830	8873	80957	10,07	21,61
Ort.	9424	9464	81081	10,03	20,63

İzolasyon blok ürününün başlangıç kayma bağ dayanım analizi yapılmıştır. Çizelge 9'da görüldüğü gibi TS EN 1052-3 standardına göre yapılan bağ dayanımı analizi sonucunda 0,471 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 9. Başlangıç Kayma Bağ Dayanım Analizi Sonuçları

No	$t_{bi}$ (mm)	$F_{pi}$ (N)	$A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$f_{pi}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{i,büyük}$ (N)	$f_{voi}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	11	5527	39760	0.139	49327	0.620
2	12	6160	39740	0.155	53505	0.673
3	12	7841	39601	0.198	54845	0.692
4	13	11819	39660	0.298	58182	0.734
5	11	17516	39720	0.441	61974	0.780
6	10	20457	39799	0.514	65273	0.820
	$f_{vo}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\alpha$ (°)		$f_{vok}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\alpha_k$ (°)
	0.588	24.37		0.471		19.92

Şekil 11'de gösterildiği gibi, her bir düşey gerilme değerine ( $f_{pi}$ ), tekabül eden kayma dayanımı değerinin ( $f_{voi}$ ) işaretlenmesiyle grafik üzerinde doğrusal regresyonu görülmektedir. Buna göre her bir düşey gerilme değeri ( $f_{pi}$ ) ve tekabül eden kayma dayanımı değeri ( $f_{voi}$ ) arasında doğrusal bir ilişki vardır.



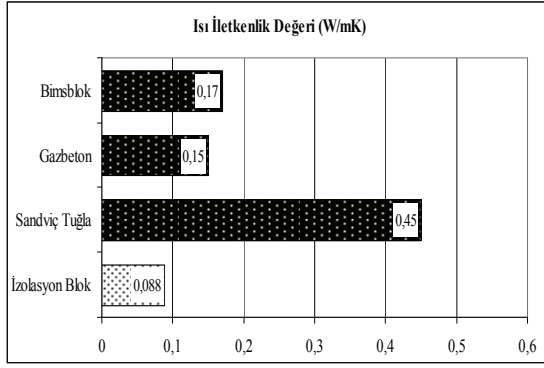
Şekil 11. Ön sıkışma bağ dayanımı ile tekil kayma bağ dayanımı arasındaki ilişki.

İzolasyon bloğunda ses yalıtım değerlerinin 60 dB'in (800 Hz frekansında) üzerinde olduğu tespit edilmiştir. TS EN ISO 140-4 standardına göre, binalarda ses yalıtımı için gerekli limit değerleri sağlamaktadır (Çizelge 10).

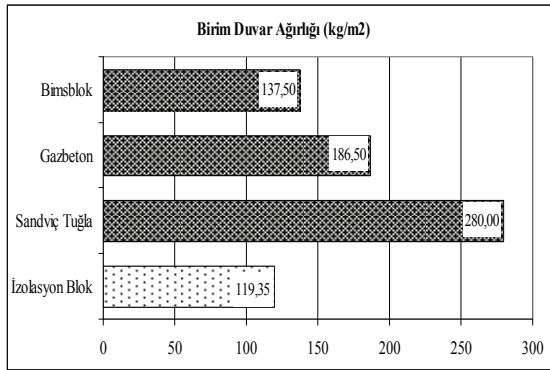
Çizelge 10. Deney Numunelerinde Yapılan Diğer Analizler

Ses Yalıtım Analizi (EN 140-4)		
Kağır Birim Yüzey Yoğunluğu	(kg/m <sup>2</sup> )	108
Birim Hacim Kütle	(kg/m <sup>3</sup> )	564
Kağır Birim Ses Yutuculuk Değeri	(dB)	60

TS EN 998-1 standartlarına uygun olarak CS II sınıfı dayanım değerine sahip ve priz sonrası kuru birim hacim ağırlığı ortalama 1650 kg/m<sup>3</sup> olan bir sıva harcı, 200x200x400 mm anma boyutlu izolasyon blok kağır elemanı ürünlerinin anma yanak yüzeylerine sıva tutuculuk özelliğinin belirlenmesi amacıyla ortalama 2 cm kalınlığında uygulanmıştır. İzolasyon blok kağır elemanlarının sıva tutuculuk özelliği çok iyi olarak tanımlanmıştır. İzolasyon blok yapı malzemesi diğer eşdeğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında izolasyon blok ısı iletkenlik değeri 0,088 W/mK ile daha iyi yalıtım özelliği göstermektedir (Şekil 12). 1 m<sup>2</sup> duvar örgüsünde duvar birim ağırlığı ise izolasyon bloğunda 119,35 kg/m<sup>2</sup>'dir (Şekil 13). Buna göre izolasyon bloğu diğer duvar yapı elemanlarından duvar birim ağırlığı daha düşük olduğu için bina yükü hafiflemiş olacaktır.



Şekil.12. İzolasyon bloğu ile diğer duvar yapı elemanlarının ısı iletkenlik değerinin karşılaştırılması.



Şekil.13. İzolasyon bloğu ile diğer duvar yapı elemanlarının duvar birim ağırlığının karşılaştırılması.

İzolasyon blok elemanlarının 1 m<sup>2</sup> duvar örgüsünde gerekli blok adedine göre ekonomik olarak değerlendirmesi Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Duvar Yapı Elemanlarının Maliyet Analizi (Powerblok, 2009)

Maliyet Analizi	Birim	Bimsblok	Gazbeton	Sandviç Tuğla	İzolasyon Blok
Blok boyutu	mm	190×390×185	200×400×200	135×50×85	200×400×200
Blok ağırlığı	kg/adet	11,00	8,00	5,00	9,00
Blok adeti	Adet	12,50	12,50	56,00	12,50
Fire Oranı	%	2,00	2,00	15,00	2,00
Malzeme maliyeti	TL/m <sup>2</sup>	11,55	20,90	15,56	28,00
Nakliye maliyeti	TL/m <sup>2</sup>	4,00	4,00	4,50	4,00
Fire maliyeti	TL/m <sup>2</sup>	1,50	0,50	2,50	0,25
Örgü harcı maliyeti	TL/m <sup>2</sup>	2,63	1,50	2,63	0,35
Duvar örüm işçiliği	TL/m <sup>2</sup>	6,75	4,75	6,75	4,00
Dış siva maliyeti	TL/m <sup>2</sup>	2,25	1,75	2,25	-
Dış siva işçiliği	TL/m <sup>2</sup>	6,00	6,00	6,00	-
İç siva alçı	TL/m <sup>2</sup>	3,50	3,50	3,50	0,80
İç siva işçiliği	TL/m <sup>2</sup>	4,00	4,00	4,00	3,00
<b>Toplam maliyet</b>	<b>TL/m<sup>2</sup></b>	<b>42,18</b>	<b>46,90</b>	<b>47,69</b>	<b>41,15</b>

Burada yapılan değerlendirme de görüldüğü gibi, izolasyon bloğunda duvara sıva ihtiyacı olmadığı için duvar örme maliyeti, işçilik ve malzeme giderleri de dikkate alındığında bimsblok, gazbeton ve sandviç tuğlaya göre ekonomiktir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yeni üretim yöntemiyle pomza agrega katkılı ve EPS'li izolasyon bloğunun TSEN standartlarına uygunluğu belirlenmiştir. İzolasyon bloğun özgün üretim ve kesim yönteminden dolayı düzgün yüzeyli, düzgün kenarlı olması nedeniyle üzerine sıva gerektirmemesi ve ince bir kaplama tabakasının yeterli olması önemli bir farklılık oluşturmuştur. İzolasyon bloğun ısı iletkenlik değeri 0,088 W/mK, ses yutuculuk değerleri ise 60 dB olarak tespit edilmiştir. Ayrıca izolasyon bloğu, karşılaştırıldığı diğer yapı elemanlarının duvar birim ağırlıklarından daha düşük olduğu görülmektedir. Buna göre izolasyon bloğu kullanıldığında bina yükü önemli oranda azalacaktır.

İzolasyon blokların kullanılması ile yapılan binalarda ısı ve ses izolasyonu olarak diğer duvar elemanlarına (bimsblok, gazbeton, sandviç tuğla) nazaran daha iyi bir yalıtım sağladığından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Ayrıca izolasyon bloğun düzgün yüzeyinden dolayı sıvanın ortadan kalkması durumunda zaman ve işçilik avantajları ile birlikte ısı yalıtımı açısından izolasyon blok duvar elemanının diğer duvar elemanlarına göre işçilikte, zamanda ve yakıtta daha ekonomik olacaktır.

## TEŞEKKÜR

İzolasyon Bloğunun yeni ürün olarak geliştirilmesi TÜBİTAK-1507 / 7080080 numaralı Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı projesi ile mali destek alınarak geliştirilmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Babu, K.G., Babu, D.S., 2003; "Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume", *Cement and Concrete Research*, **33**, 755–762.

Babu, D.S. Babu, K.G., Tiong-Huan, W., 2006; "Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete", *Cement and Concrete Composites*, **28**, 520–527.

Bouchair, A., 2008; "Steady state theoretical model of fired clay hollow bricks for enhanced external wall thermal insulation", *Building and Environment*, **43**, 1603–1618.

Basf, Styropor, 1996; "Technical Information", *Aktiengesellschaft, Germany*, 180-184.

Cavaleri, L., Miraglia, N., Papia, M., 2003; "Pumice concrete for structural wall panels", *Engineering Structures*, **25**, 115–125.

Campione, G., La Mendola, L., 2004; "Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement", *Cement and Concrete Composites*, **26**, 645–656.

Demirboğa, R., Örüng, İ., Gül, R., 2001; "Effect of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes", *Cement and Concrete Research*, **31**, 1627–32.

Demir, İ., Uygunoğlu, T., 2003; "Pomza ve Diatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması", 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 107-115.

Demirdağ, S., Gündüz, L., 2008; "Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units",

*Construction and Building Materials*, **22**, 135–142.

DIN 4102. Part 1-B2., 1998; "Reaction to fire tests – Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame", *Deutsche Norm*, Berlin.

Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998; "Pomza Teknolojisi. Cilt- I", Süleyman Demirel University, 275-285.

Gündüz, L., 2001; "Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı", 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. TMMOB Mad. Müh. Odası İzmir Şubesi, 59-68.

Gündüz, L., 2005; "İnşaat Sektöründe Bimsblok", Süleyman Demirel Üniversitesi. Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, 928.

Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M., 2006; "Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar ile Teknik Özelliklerinin iyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz", IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu., İstanbul.

Gündüz, L., Bekar, M., Şapcı, N., 2007; "Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites", *Cement and Concrete Composites*, **29**, 594-602.

Gündüz, L., 2008a; "The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties", *Construction and Building Materials*, **22**, 721–728.

Gündüz, L., 2008b; "Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlitic pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls", *Construction and Building Materials*, **22**, 747–754.

Hossain, K.M.A., 2008; "Bond characteristics of plain and deformed bars in lightweight pumice concrete", *Construction and Building Materials*, **22**, 1491–1499.

Kayyali, O., Haque, M., 1996; "A new generation of structural lightweight concrete", *University of New South Wales, Australia. Concrete Technology SP*, **171**, 569–588.



Piora, L.S., Piora, I.L., 2004, "Production of expanded-clay aggregate for lightweight concrete from non-selfbloating clays", Cement and Concrete Composites, **26**, 639-643.

Püd (Polistren Üreticileri Derneği), 1995; "Isı Yalıtımında EPS, EPS Üreticileri Birliği yayınları", İstanbul, 23-32.

Powerblok, 2009; "Yalıtımlı Süper Tuğla", Eskişehir (www.powerblok.com.tr).

Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., 2005; "The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete", Cement and Concrete Research, **35**, 936-942.

Sri Ravindrarajah, R., Tuck, A., 1994; "Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads", Cement and Concrete Composites, **16**, 273-277.

Topçu, I.B., Işıkdag, B., 2008; "Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete," Journal of Materials Processing Technology", **204**, 34-38.

TS 3530 EN 933-1, 1999; "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu", TSE, Ankara.

TS EN 772-1, 2002; "Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini", TSE, Ankara.

TS EN 771-3, 2005; "Kagir Birimler Özellikler- Bölüm 3: Beton Kagir Birimler (Yogun ve Hafif Agregalı)", TSE, Ankara.

TS EN 772-11, 2002; "Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 11: Betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini", TSE, Ankara.

TS EN 772-13, 2002; "Kağir birimler - Deney metotları - Bölüm 13: Kagir birimlerin net ve brüt kuru birim hacim kütlelerin tayini (Doğal taş hariç)", TSE, Ankara

TS EN 772-16, 2006; "Kağir birimler- Deney metotları- Bölüm 16 Boyutların tayini", TSE, Ankara.

TS EN 772-20, 2002; "Kagir birimler - Deney metotları - Bölüm 20: Kagir birimlerde yüzey düzgünlüğünün tayini", TSE, Ankara.

TS 825, 1999; "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Mecburi Standart Tebliği", Ankara.

TS EN 998-1, 2006; "Kâgir harçı için özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı", TSE, Ankara.

TS EN 1052-3, 2002; "Kâgir - Deney metotları - Bölüm 3 : Başlangıç kayma dayanımının tayini", TSE, Ankara.

TS EN 197-1, 2002; "Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri", TSE, Ankara.

TS EN 1745, 2004; "Kagir ve Kagir Mamulleri- Tasarım Isıl Degerleri Tayini Metotları", TSE, Ankara.

TS EN ISO 140-4, 2006; "Akustik – Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi – Bölüm 4: Odalar arasında hava ile yayılan sesin yalıtımına ait alan ölçmeleri", TSE, Ankara.

Yaşar, E.J. and Erdoğan, Y. "Toprakkale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri", 4. Endüstriyel Hammaddeler Semp. İzmir 2001.