

# SÜRDÜREBİLİR YAPILARDA GEOTEKSTİL KEÇE KATMANLI HAFİF BETONDAN MAMUL KÂĞİR BLOK ELEMANLARIN TERMAL YALITIM VERİMLİLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM

Lütfullah GÜNDÜZ<sup>1</sup>, Şevket Onur KALKAN<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35620, Türkiye  
Geliş Tarihi/Received Date: 08.04.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.10.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1279518

## ÖZET

Dünyadaki optimum enerji kullanımı ile gerçek enerji kullanımı arasında bir enerji verimliliği farkı olduğu sıklıkla belirtilmektedir. İnşaat sektöründe, binalarda enerji verimliliğini optimize etmek için çeşitli yapı malzemeleri üretilmekte ve kullanılmaktadır. Bu yapı malzemeleri arasında hafif beton blokların hem ülkemizde hem de dünyada kullanımı oldukça yaygındır. Bu tür yapı malzemelerinin binalarda kullanımının en önemli getirisi ısı yalıtımıdır. Bu bağlamda, hafif betonların yalıtım özelliklerinin daha da iyileştirilmesi bilimsel ve endüstriyel çalışmaların güncel konularından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, ısı yalıtımı amacı ile üretilen ve kullanılan hafif betondan mamul kâğır blokların ısı yalıtım ve ısı direnç özelliklerinin iyileştirilerek optimum tasarım kriterlerinin incelenmesi amacıyla, sabit bir blok tasarımına farklı miktarda geotekstil eklenerek blokların ısı performansları irdelenmiştir. Bu amaçla, dilinimli 7 sıra boşluklu ve 24 gözlü kâğır blok referans olarak kabul edilmiştir. Daha sonra, referans blok ürününün 1 sıra (10 mm), 2 sıra (22 mm), 3 sıra (32 mm) boşluklarına geotekstil keçe konulmuş son test örneğinde ise 3 sıra boşluk ve enine harç hatılı kaldırılarak tek katmanda 72 mm genişliğinde geotekstil keçe konularak test örnekleri oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, geotekstil keçe katman kalınlığı arttıkça, ürünlerin termal direnci artmakta ve ısı transferine karşı daha dirençli bir forma ulaşmaktadır. Ayrıca, termal yalıtım performansı iyileştirilecek blok tasarımlarında tek katman şeklinde ve eşdeğer kalınlığı büyük, minimum ısı köprüsü oluşturan bir formda geotekstil keçe katmanı uygulanması önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kâğır Blok, Termal Yalıtım, Termal Direnç, Geotekstil Keçe

## AN APPROACH ON IMPROVING THERMAL INSULATION EFFICIENCY OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MASONRY BLOCK ELEMENTS WITH GEOTEXTILE FELT LAYER IN SUSTAINABLE BUILDINGS

### ABSTRACT

It is frequently stated that there is an energy efficiency difference between the optimum energy use in the world and the actual energy use. In the construction industry, various building materials are produced and used to optimize energy efficiency in buildings. Among these building materials, the use of lightweight concrete blocks is quite common both in our country and in the world. The most important benefit of using such building materials in buildings is thermal insulation. In this context, further improvement of the insulation properties of lightweight concrete masonry blocks is considered as one of the current issues of scientific and industrial studies. In this study, the thermal performance of the masonry blocks was examined by adding different amounts of geotextile to a fixed block design in order to examine the optimum design criteria by improving the thermal insulation and heat resistance properties of lightweight concrete blocks produced and used for thermal insulation. For this purpose, a lightweight concrete block with 7 rows and 24 cells was accepted as a reference. Then, in the test specimens, where geotextile was placed in the gaps of 1 row (10 mm), 2 rows (22 mm), 3 rows (32 mm), and

e-posta<sup>1</sup> :lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

\* e-posta<sup>2</sup> :sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0250-8134> (Sorumlu Yazar)

a 72 mm wide geotextile felt was placed in a single layer of the reference block product, According to the results of the study, as the thickness of the geotextile layer increases, the thermal resistance of the products increases and it reaches a more resistant form against heat transfer. In addition, it is important to apply a geotextile layer in the form of a single layer and in a form with a large equivalent thickness and a minimum thermal bridge in block designs that will improve thermal insulation performance.

**Keywords:** Masonry Block, Thermal Insulation, Thermal Resistance, Geotextile Felt

## 1. Giriş

Binalarda enerji verimliliği yoluyla enerji tasarrufunun sağlanması, günümüz koşullarında tüm dünyada birincil önem kazanmıştır. Bir binada enerji verimliliğinin sağlanması için genellikle dört temel faktör önem kazanmıştır. Bunlardan ilki ve en önemlisi, inşaatın yapımı öncesi proje aşamasında iken neredeyse sıfır enerjili pasif bina tasarımının oluşturulmasıdır. İkinci aşamada ise inşaat projesinin hayata geçmesi ve inşaat yapımı sırasında düşük enerjili yapı malzemelerinin kullanımı gelmektedir. Üçüncü önemli faktör, düşük işletme enerjisi gereksinimi için enerji verimli ekipmanların kullanımı olup, çeşitli uygulamalar için yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegrasyonu ise genelde dördüncü faktörü oluşturmaktadır [1]. Sürdürülebilir bina projelerinin hayata geçirilmesinde burada sayılan dört temel faktörün proje uygulamalarında detaylı analiz edilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Dünyanın hemen hemen her bölgesinde içinde buldukları iklim ve atmosfer ortam koşullarına göre enerji verimli bina yapımları son derece önem kazanmakla birlikte, bu binaların fiili şekilde yapımlarında enerji verimliliği yüksek ve olabildiğince yatırım maliyet yükü düşük olabilecek yapı malzeme bileşenlerini uygulamak çok önem arz etmektedir [2-4]. Binalarda enerjinin büyük bir kısmı ısıtma, havalandırma ve iklimlendirmede tüketilmektedir. Bu nedenle termal konforun sağlanması amacıyla yapı sektörü büyük miktarda enerji tüketmesine karşın, bu enerji etkin yalıtım stratejileri ile azaltılabilmektedir. Başlangıç maliyeti nispeten yüksek görünse de uygun şekilde yalıtılmış binaların yalıtım maliyeti, binanın ömrü boyunca kendini birçok kez amorti edebilmektedir. Uygulanabilecek yalıtımla birlikte enerji tüketimi azalacak, bununla birlikte fosil yakıtlara bağımlılık azalacak ve enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları da azalacaktır. Bu bağlamda, birçok ülkede konu üzerine yenilikçi araştırmalar sürdürülebilmekte ve her coğrafyaya özgü, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği yüksek yeni yapı yalıtım elemanı türleri ve yenilikçi tasarımları, gelişen araştırmaların temel konuları arasında görülebilmektedir [5-9]. Ayrıca, bina projelerinde iç ve/veya dış bölme duvarları oluşturan birimlerde, farklı tasarım bileşenlerine sahip ve farklı malzeme türlerinin üretimlerinde kullanılan kâgir blok elemanlarını görmek de mümkündür. Ancak, kâgir blok elemanlarının enerji verimlilik ve sürdürülebilirlik kavramları dahilinde termal yalıtım özelliklerinin değişkenliğinin irdelenmesi ve yüksek termal yalıtım özelliğine sahip blok tasarımlarının uygulamalarda kullanımı son derece önemlidir [10-11]. Bu sebeple, kâgir blok elemanlarının termal yalıtım özelliklerinin irdelenmesinde boyut, geometri, konfigürasyon ve tasarımında özel nitelikli yalıtım katmanı içerip içermediği gibi konuların yanı sıra, kâgir birimin ısı iletkenlik değeri, ısı geçirgenlik direnci ve termal yalıtım verimliliği gibi parametrelerde ayrı bir önem kazanmaktadır.

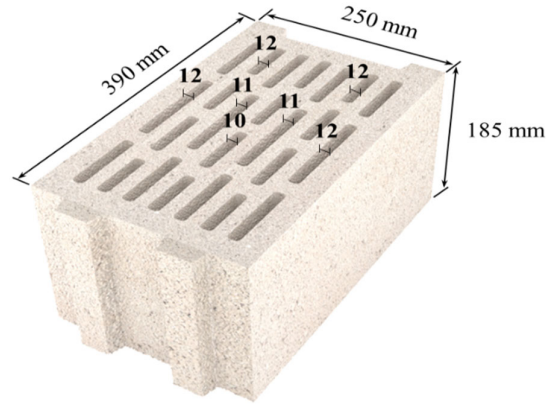
Günümüzde boşluklu geometrik tasarımlara sahip hafif betondan mamul kâgir blok elemanların gelişimi, binaların iç ve/veya dış duvarlarının yapımında kullanılan en etkili yapı malzemelerinden biridir [12-14]. Özel tasarımlara sahip termal verimliliği yüksek kâgir blok elemanlardan oluşan inşaat sistemleri, minimum yapı kalınlığı ile gerekli ısı yalıtımını sağlar. Ancak, yapının termal yalıtım verimliliğinin artırılmasında, yapı kesitinde ve/veya yapıyı oluşturan her bir birimin tasarımında ısı geçişine kolaylıkla müsaade edebilecek ısı köprülerinin yer almaması veya minimize edilmesi ayrı bir önem taşımaktadır [14, 15]. Günümüzde piyasa koşullarında konut ve ticari binalar için çok çeşitli beton ve duvar sistemlerinin uygulamalarda yer aldığı görülmektedir. Bu sistemler, malzeme konfigürasyonu ve beton türüne göre değişkenlik göstermekle birlikte, yapı kesitinde ve bina kabuğundaki ısı köprüsü oluşumlarının kapsamını da etkiler. Bina kabuğundaki ısı köprüleri, çoğunlukla yapısal ve yalıtım malzemelerinin farklı ısı iletkenliklere sahip olduğu yerlerde meydana gelir. Beton ve duvar teknolojileri, karmaşık ısı yalıtım konfigürasyonları içerebilir [16]. Yoğunluğu  $>1900 \text{ kg/m}^3$ 'ten daha yüksek olan normal ağırlıklı betondan yapılan çoğu kâgir blok elemanları için, betonun ısı iletkenliği alternatif diğer yalıtım malzemelerine kıyasla 20 kat daha yüksek olabilir. Bazı

yalıtım biçimleri ve yapısal bileşenler için, gizli termal kısa devreler, önemli ısı kayıplarına neden olabilir ve bu da bina kabuğundaki katmanların sırasını, beton yoğunluğunu, kütle ve ısı yalıtımı konfigürasyonunu optimize etmeyi kritik hale getirmektedir [15].

Bu makalede, pomza agregalı hafif betondan mamul farklı tasarımlara sahip kâgir birimlerin konfigürasyon ve beton yoğunluk değişimi bağlamında termal yalıtım özelliklerinin incelenmesi ve kâgir birimin termal yalıtım performansının iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmanın özet karşılaştırmalı bulguları tartışılmaktadır. Kâgir blok tasarımında özellikle %80 geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edilmiş geotekstil keçenin, farklı kalınlık ve alternatif uygulama şekilleriyle kâgir birimin termal yalıtım özelliklerine etkisi detaylı analiz edilmiştir. Elde edilen teknik bulgulardan kâgir blok tasarımcılarına alternatif yalıtım malzemelerinin blok üretiminde verimli bir şekilde kullanılmasına ve makul bir maliyetle en iyi termal performansı sağlamasına olanak tanıyabilecek önerilerin sunulması amaçlanmıştır.

## 2. Kâgir Blok Elemanları Tasarımı ve Geotekstil Keçe

Çalışma kapsamında sektörel uygulamalarda kullanılan sık dilimli 7 sıra boşluklu ve 24 gözlü 250mm x 390mm x 185mm (genişlik x uzunluk x yükseklik) anma boyutuna sahip hafif betondan mamul bir blok formu referans blok tasarımı olarak değerlendirilmiştir. Referans blok tasarımı MD0 olarak kodlanmış olup, geometrik formu Şekil 1'de verilmiştir. MD0 blok tasarımının geometrik verileri ve konfigürasyon değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

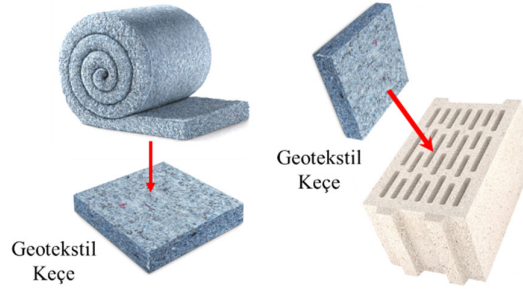


**Referans Blok Formu**

**Şekil 1.** Referans blok elemanının tasarımı ve genel görünümü

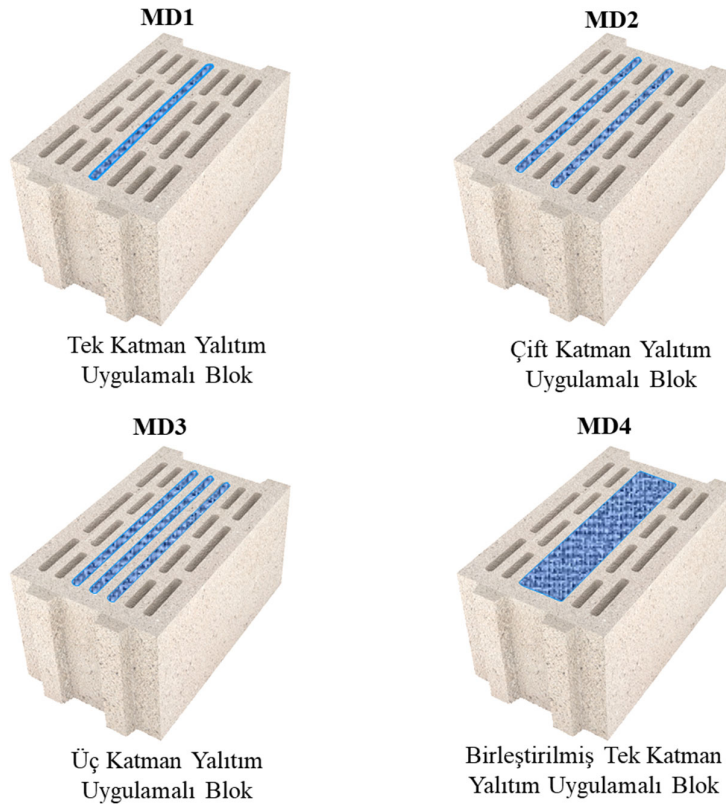
Hafif betondan mamul kâgir blok elemanların termal yalıtım verimliliğinin geliştirilmesi amacıyla blok tasarımlarına %80 geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edilmiş geotekstil keçe, farklı boyutlarda levhalar şeklinde yerleştirilerek, yalıtım katmanlı blok tasarımları oluşturulmuştur. Keçe, genel bağlamda dokuma olmayan bir malzeme olup, çözücü ve atkılardan değil, bir tekstil yüzeyi oluşturmak üzere karma yapıda liflerden oluşur. Keçe, kullanım amacına bağlı olarak lif içeriği, rengi, boyutu, kalınlığı, yoğunluğu ve daha birçok faktör açısından değişiklik gösterebilir [17-19]. Endüstriyel uygulamalarda genellikle 3 farklı keçe türü ile karşılaşılmaktadır. Bunlar: Yün Keçe, Polyester Keçe ve Akriklik Keçe'dir. Yün keçeler, en yaygın ve bilinen keçe türü olup, koyun yünü ve/veya diğer türev yünlerle kaplanmış hayvan postları kullanılarak yapılan keçe türleri olarak bilinir. Polyester keçe ise, %100 polyesterden yapılmış sentetik iğneli keçe malzemeleridir. Akriklik keçe ise, yüne kıyasla daha ucuz bir versiyon ve akrilonitril kullanılarak yapılan keçeler olarak bilinmektedir [17-21]. Çalışma kapsamında kullanılan geotekstil keçenin ortalama yoğunluğu 70 kg/m<sup>3</sup> olup, ısı iletkenlik katsayı değeri  $\lambda=0.037$  W/mK'dir. Geri dönüştürülmüş tekstil sentetik elyafların iğneleme yöntemi ile mekanik olarak bağlanması sonucu oluşturulmuş, dayanıklı, esnek, kolay uygulanabilir

nonwoven yapıda, fenolik reçineli keçe yerine de kullanılabilir özellik taşıyan bir keçe formundadır [22-23] (Şekil 2). Geotekstil keçe, normal ticari piyasa koşullarından temin edilerek kâgir blok tasarımlarında değerlendirilmiştir.



**Şekil 2.** Geotekstil keçe ve blok tasarımında katman olarak kullanımı-sembolik görünümü

MD0 blok tasarımına sahip hafif betondan mamul kâgir blok elemanının mevcut durumda sağladığı termal yalıtım performansının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla, bu tasarım üzerinde yer alan sıra boşluk hacimlerine ve boşluk gözlerinde alternatifli olarak yapılan bir dizi tasarım değişikliği ile termal yalıtım materyali olarak geotekstil keçe yerleştirilmiştir. Bu şekilde blok elemanların ilave yalıtım katmanlı yeni formlarının oluşturulması tasarlanmıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında 4 farklı tasarım değişikliği yapılarak her bir tasarıma ait termal yalıtım performans irdelemeleri için örnek tasarımlar oluşturulmuştur. Geotekstil keçe katmanlı bu tasarımlar MD1, MD2, MD3 ve MD4 olarak kodlanmış olup, geometrik formları Şekil 3'te ve konfigürasyon değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Geotekstil keçe katmanlı blok elemanların tasarımı ve genel görünümü

**Çizelge 1.** Kâgir blok elemanı tasarımlarının konfigürasyon değerleri.

	MD0	MD1	MD2	MD3	MD4
Toplam Yüzey Alanı, mm <sup>2</sup>	97500	97500	97500	97500	97500
Boş Yüzey Alanı, mm <sup>2</sup>	22132	22792	23100	23760	36960
Dolu Yüzey Alanı, mm <sup>2</sup>	75368	74708	74400	73740	60540
Alansal Boşluk Oranı, %	22,7	23,38	23,69	24,37	37,91
Alansal Doluluk Oranı, %	77,3	76,62	76,31	75,63	62,09
Toplam Hacim, cm <sup>3</sup>	18038	18038	18038	18038	18038
Boşluk Hacmi, cm <sup>3</sup>	4094	4217	4274	4396	6838
Dolu Kısımın Hacmi, cm <sup>3</sup>	13943	13821	13764	13642	11200
Hacimsel Boşluk Oranı, %	22,7	23,38	23,69	24,37	37,91
Hacimsel Doluluk Oranı, %	77,3	76,62	76,31	75,63	62,09
Sandviç Kısım Oluşan Alan, m <sup>2</sup>	0,0533	0,0570	0,0590	0,0609	0,0621
Isı Köprüsü Oluşan Alan, m <sup>2</sup>	0,0188	0,0152	0,0132	0,0112	0,0101
Yalıtım Katmanı Hacmi, cm <sup>3</sup>	-	610,50	1343,1	1953,6	4395,6
Geotekstil Katmanı Ağırlığı, gr	-	42,74	94,02	136,76	307,70

MD1 blok tasarımında kâgir blok elemanının 10 mm göz açıklığındaki orta sıra (4. sıra) boşluk dilinimleri arasında kalan harç iç hatılları kaldırılarak, tek katman şeklinde geotekstil keçenin eşdeğer kalınlıkta yerleştirilebileceği geometrik bir form oluşturulmuştur. Bu boşluk geometrisine geotekstil keçe yerleştirilerek, 10 mm tek katman yalıtım uygulamalı kâgir blok tasarımı elde edilmiştir. Benzer şekilde MD2 blok tasarımında, kâgir blok elemanının 11 mm göz açıklıklarına sahip 3. ve 5. sıra boşluk dilinimlerindeki boyuna harç iç hatılları kaldırılarak, tek katman şeklinde geotekstil keçenin eşdeğer kalınlıkta yerleştirilebileceği geometrik bir formlar oluşturulmuştur. Bu boşluklara geotekstil keçe yerleştirilerek, 22 mm çift katman yalıtım uygulamalı kâgir blok tasarımı elde edilmiştir. MD3 tasarımında ise, MD1 ve MD2 tasarımları için hazırlanmış 3, 4 ve 5. sıra boşluk dilinimlerindeki gözlere (11 mm + 10 mm + 11 mm) ayrı yarı katmanlar şeklinde geotekstil keçe yerleştirilerek toplamda 32 mm üç katman yalıtım uygulamalı kâgir blok tasarımı elde edilmiştir. Bu tasarımlara ilaveten MD4 tasarımında ise MD3 tasarımındaki 3, 4 ve 5. sıra boşlukların arasında yer alan enine harç hatılları da kaldırılarak blok tasarımında tek katman formunda 72 mm genişliğinde bir boşluk hacmi oluşturulmuştur. Bu boşluğa geotekstil keçe yerleştirilerek, 72 mm birleştirilmiş tek katman yalıtım uygulamalı kâgir blok tasarımı elde edilmiştir. Sonuç olarak 4 ayrı blok tasarımında (MD1, MD2 MD3 ve MD4) yalıtım katmanı geotekstil keçe kalınlıkları sırasıyla 10 mm, 22 mm, 32 mm ve 72 mm olarak değerlendirilmiştir.

### 3. Hafif Beton Kâgir Harcı ve Isıl İletkenlik

Hafif agregalı kâgir blok elemanı üretiminde kullanılan harcın formu, blok elemanının teknik değerlerine doğrudan etkiyen önemli faktörlerin başında gelmektedir. Blok geometrik tasarımı ve konfigürasyonuna da bağlı olmak koşuluyla, üretimde kullanılan harcın özellikle sertleşmiş birim hacim kütle değeri kâgir blok elemanının mukavemet değeri yanı sıra termal yalıtım özellikleri bağlamında önem arz eder. Örneğin sertleşmiş harç yoğunluğu düştükçe (harç hafifledikçe), bu harç ile üretilen blok elemanının basınç dayanımı düşeceği genel bir tecrübe olarak görülebilmektedir. Buna karşın blok elemanının tasarım parametreleri bağlamında termal yalıtım özelliklerinin de iyileşme gösterebileceği ayrı bir tecrübedir. Doğal olarak bu olguların tersi de geçerlidir. Diğer bir deyişle, blok üretimi için uygulanan harç yoğunluğu arttıkça, blok dayanımı iyileşmekte, ancak termal yalıtım özelliklerinde de zayıflama görülebilmektedir. Sektörel uygulamalarda da yaygınlık kazanmış pomza kayacı doğal gözenekliliği ve hafifliği sebebiyle harç bileşimlerinde sıklıkla kullanılan bir agrega malzeme türüdür. Bu bağlamda, çalışma kapsamında termal yalıtım özelliklerinin incelenmesi için tasarımları yapılan kâgir blok elemanlarının üretilmesinde sertleşmiş birim hacim kütle değerleri 600 kg/m<sup>3</sup> ile 1350 kg/m<sup>3</sup> aralığında değişim gösteren 9 ayrı seri doğal gözenekli pomza agrega katkılı

hafif betondan mamul pomza agregalı harç (PAH) kombinasyonlarının kâgir blok üretimlerinde kullanım durumu irdelenmiştir. PAH kombinasyonlarının tasarımında hafif beton harcının slump değeri 0 ve kuru harç kıvamı olarak ele alınmıştır. Bu harç formları blok üretiminde uygulanan presleme ve vibrasyon işlemlerine uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. PAH serilerin harç yoğunluk aralıkları şu şekilde sıralanmıştır: (1) 600 – 650 kg/m<sup>3</sup>. (2) 700 – 750 kg/m<sup>3</sup>. (3) 800 – 850 kg/m<sup>3</sup>. (4) 850 – 900 kg/m<sup>3</sup>. (5) 900 – 950 kg/m<sup>3</sup>. (6) 950 – 1000 kg/m<sup>3</sup>. (7) 1000 – 1050 kg/m<sup>3</sup>. (8) 1050 – 1100 kg/m<sup>3</sup> ve (9) 1300 – 1350 kg/m<sup>3</sup>.

Hafif agregalı kâgir blok elemanların ısı iletkenliği hesap değerlerinin belirlenmesi, TS EN 1745 ve TS EN ISO 6946 [24-25] standartlarında öngörülen parametreler ve kurallar bağlamında çok tabakalı yapı elemanlarının hesap algoritmasına göre yapılmıştır. Bu yöntemde, beton kâgir birimi birden fazla, farklı ısı iletkenliği hesap değerine sahip malzemeden meydana geliyorsa, birimin ısı iletkenliği hesap değerinin belirlenmesinde öncelikle her bir malzemenin kalınlıkları ve alanları dikkate alınarak ısıl geçirgenlik dirençleri hesaplanır. Böylece yüzey yüzde (%) oranlarına göre ortalama ısıl iletkenlik değerleri belirlenerek, kâgir birimin boyutlarına ve duvar örgüsünde derz durumları da dikkate alınarak beton kâgir birimin eş değer ısıl iletkenlik değeri ( $\lambda_{eş}$ ) hesaplanabilmektedir. Hesap işleminde kâgir birim ve duvar örgüsüyle ilgili boyut, geometri, konfigürasyon ve fiziksel özellikler gibi aşağıda verilen parametreler önem kazanmaktadır:

- Kâgir Birimin anma boyutları (Yükseklik, uzunluk ve genişlik),
- Kâgir Birimin Kuru Birim Hacim Kütle
- Örgü Harcı Dahil Toplam Alan,
- Kâgir Birimin Toplam Yüzey Alanı,
- Kâgir Birim Boşluk Yüzeylerin Toplam Alanı,
- Kâgir Birim Dolu Yüzeylerin Toplam Alanı,
- Kâgir Birim Toplam Hacmi,
- Kâgir Birim Toplam Boşluk Hacmi,
- Kâgir Birim Beton Kısımın Toplam Hacmi,
- Kâgir Birim Beton Kısımın Net Birim Hacim Kütleli.

Hesaplama işleminde basitleştirilmiş olarak öncelikle kâgir birim tasarımında birbirinden farklı malzemelerin sınıflandırması yapılır. Bunlar; a)- Sandviç bitişik yapı elemanları. b)- Sandviç bitişik yapı elemanlarını bağlayan federler (kâgir birimi oluşturan beton kısım). c)- Kâgir birimin 1 m<sup>2</sup>'lik ısı geçiren yüzeyindeki kâgir birimleri bağlayan örgü harç malzemesi. Bununla birlikte, kâgir birim tasarımında yer alan malzeme türlerinin TS EN 1745 standardında öngörülen ısıl iletkenlik çizelge değerlerinden yoğunluk değerlerine göre P=%10 veya P=%90 kategorideki öngörülen ısıl iletkenlik değerlerinden yararlanılarak tanımı yapılır [24]. Bu bağlamda özellikle sandviç bitişik yapı elemanlarının  $\lambda$  değerleri, sandviç bitişik yapı elemanlarını bağlayan federlerin  $\lambda$  değerleri ve 1 m<sup>2</sup> ısı geçiren yüzeydeki kâgir birimleri bağlayan örgü harcı malzemesinin  $\lambda$  değerleri tanımlanır. Ayrıca kâgir birim tasarımındaki her bir farklı malzemenin alanları geometri ve konfigürasyon değerlerinden belirlenerek, kâgir birimin 1 m<sup>2</sup>'lik yüzeyinden geçen ısı miktarları (Q), her bir farklı malzeme türü için ayrı ayrı hesaplanır: a)- Sandviç bitişik yapı elemanlarının ısı kaybının değeri ( $Q_{san}$ ), b)- Sandviç bitişik yapı elemanlarını bağlayan federlerin ısı kaybının değeri ( $Q_{isk}$ ) ve c)- Örgü harcı malzemesi alanlarının ısı kaybı değeri ( $Q_{har}$ ). Bu parametrelere göre 1 m<sup>2</sup>'lik yüzeyden geçen toplam ısı miktarı ( $Q_{top} = Q_{san} + Q_{isk} + Q_{har}$ ) yaklaşımıyla belirlenir [25]. Bu toplam ısı miktarı aşağıdaki eşitlikte verilen değerlendirmeye eşitlenerek ( $Q_{toplam}=Q$ ) kâgir birimin eşdeğer ısıl geçirgenlik değeri ( $U_{eş}$ ) belirlenmiştir.

$$Q = A \times U_{eş} \times (T_i - T_d) \quad (1)$$

Burada;

- A : Kâgir birimin ısı geçişi oluşan yüzey alanı (1 m<sup>2</sup>),  
 T<sub>i</sub> : İç ortam sıcaklık değeri, (°C),  
 T<sub>d</sub> : Dış ortam sıcaklık değeri, (°C),  
 U<sub>eş</sub> : Kâgir birimin eşdeğer ısıl geçirgenlik değeri, (W/m<sup>2</sup>K).

Buradan U<sub>eş</sub> değeri belirlenerek sonrasında aşağıdaki eşitlik yardımıyla kâgir birimin eşdeğer ısıl iletkenlik değeri (λ<sub>eş</sub>) W/mK biriminde belirlenebilir:

$$\lambda_{eş} = \frac{L}{\frac{1}{U_{eş}} \left( \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \right)} \quad (2)$$

Burada;

- L : Kâgir birimin ısı geçişi oluşan kesit kalınlığı, (m),  
 α<sub>iç</sub> : İç yüzey ısı iletim direnç değeri,  
 α<sub>dış</sub> : Dış yüzey ısı iletim direnç değeri,

Bu hesaplama yönteminde, beton kâgir birimin geometrik tasarımında yer alan hava boşluklarının ısıl iletkenlik değeri, hava boşluğunun kesit kalınlığına ve ısının akış yönüne bağımlı olarak TS EN ISO 6946 standardında öngörülen parametrelere göre belirlenir [25]. Ayrıca, iç yüzey ve dış yüzey ısı iletim direnç değerlerinin, ısının akış yönüne göre parametrik değerleri de TS EN ISO 6946 standardında öngörülmüş olan değerler olarak kullanılır. Bu çalışmadaki uygulanan hesaplamada, 1 m<sup>2</sup> ısı geçiren yüzeydeki beton kâgir birimleri birbiriyle bağlayan örgü harc malzemesinin λ değerleri ise TS EN 1745 standardında örgü harcı malzemeleri için öngörülen λ<sub>10kuru</sub> değerlerine göre alınmıştır [24]. Kâgir birimin ısıl geçirgenlik direnci (R<sub>i</sub>) değeri, blok elemanın kesit genişliğine (L<sub>b</sub>) bağlı olarak (L<sub>b</sub>/λ<sub>eş</sub>) orantısıyla belirlenmiştir.

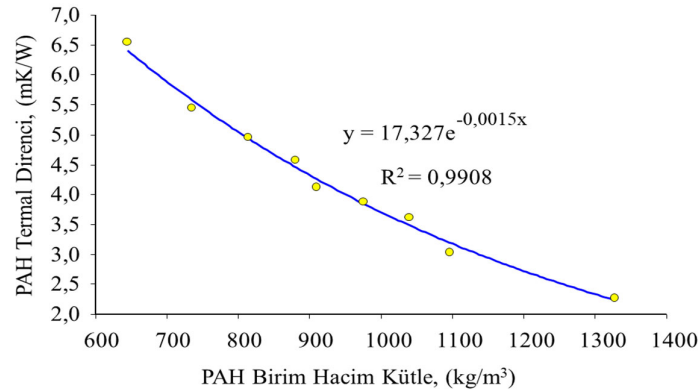
#### 4. Kâgir Blok Elemanların Termal Performansı ve Yalıtım Verimliliği

Hafif betondan mamul kâgir blok elemanlarının termal performansının analizinde kâgir blok elemanın geometrik formu, konfigürasyon durumu ve blok üretiminde kullanılacak hafif beton harcının ısıl iletkenlik katsayı değeri temel parametreler olarak ele alınarak TS EN 1745 [24] ve TS EN ISO 6946 [25] standartlarında öngörülen hesap algoritmasına göre kâgir blok elemanın ısıl iletkenlik değeri hesaplanabilmektedir. Bu bağlamda öncelikle çalışma kapsamında PAH tasarımlarının sertleşmiş birim hacim kütle değerlerine TS EN 1745 standardında “Çizelge A.4 \_ Sadece pomza taşı kullanılmış beton kâgir birimler” [24] başlığı altında öngörülen ve beton harcı yoğunluğuna karşılık λ<sub>10kuru</sub> durumu için beyan edilen ısıl iletkenlik katsayı değerleri P=%90 koşulu dikkate alınarak istatistiksel regresyonel yaklaşımla belirlenmiştir. Sonrasında belirlenen ısıl iletkenlik değerleri bağlamında her bir PAH tasarımının termal direnci “mK/W” biriminde (1/λ<sub>10kuru</sub>) yaklaşımıyla tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında 9 ayrı seri olarak değerlendirilmesi irdelenen farklı birim hacim kütle değerli PAH tasarımlarının her birinin termal direnç değerleri yukarıda tanımlanan hesaplama algoritmasına göre belirlenerek PAH birim hacim kütle değeri değişimine bağlı irdelemesi yapılmıştır. Bu irdeleme bulgularına ilişkin PAH birim hacim kütle - PAH termal direnci analizi Şekil 4’te grafiksel olarak verilmiştir.

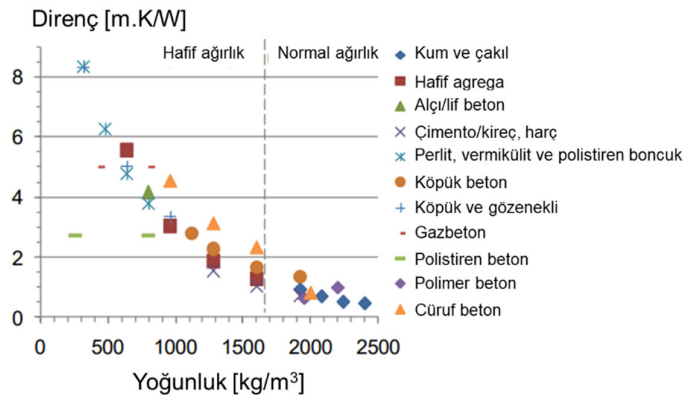
Şekil 4 irdelendiğinde, PAH birim hacim kütle değeri arttıkça, TS EN 1745 standardında *sadece pomza taşı kullanılmış beton kâgir birimler* için öngörülen ısı iletkenlik (λ<sub>10kuru</sub>) değerleri baz alınarak (1/λ<sub>10kuru</sub>) yaklaşımıyla elde edilmiş harcın termal direnci düşmektedir. Diğer bir deyişle, kâgir blok harcı yoğunluğu arttıkça, termal direnç özelliği zayıflayarak, ısı geçişine karşı daha düşük bir



performans sergileyeceği görülmektedir. Kâgir blok harcı yoğunluğunun artması, aynı zamanda blok elemanın daha ağır bir form kazanmasına sebep olacağı için benzer yorum bu durum için de geçerli olacaktır. Bu değerlendirme aynı zamanda, termal konfor özelliği iyileştirilecek bir blok elemanın birim hacim kütesinin olabildiğinde düşük, buna karşın termal direncinin de yüksek olması gerekliliğini temsil etmektedir. Bu öz değerlendirme kâgir blok tasarımcıları için önemli bir noktayı işaret etmektedir. Çalışma kapsamındaki analiz bulgularına göre PAH yoğunluğunun  $645 \text{ kg/m}^3$  -  $1327 \text{ kg/m}^3$  aralığında değişiminde harcın termal direncindeki değişim  $6,55 \text{ mK/W}$  -  $2,28 \text{ mK/W}$  aralığındadır. PAH yoğunluğunun düşmesi, termal direncinin artmasına ve ısısal konforu daha yüksek bir harç formu oluşturmaktadır. Diğer taraftan, *sadece pomza taşı kullanılmış beton kâgir birimler* için PAH yoğunluğunda 2,06 kat artış, harcın termal direncinde 2,88 kat azalmaya neden olmaktadır. Urban ve arkadaşları [15] kâgir blok üretimlerinde kullanılan farklı agrega bileşenleri ve karışım tasarımlarına sahip 11 ayrı hafif ve normal yoğunluktaki beton için beton yoğunluğuna bağlı termal direnç değerlerini analiz etmişler ve Şekil 5’de verilen grafiksel analiz bulgusunu literatürde detaylı tartışmışlardır. Bu değerlendirmeye göre, beton yoğunluğu arttıkça betonun termal direnci istatistiksel üstel bir eğilimle düştüğü görülmektedir. Bu yaklaşımda alternatif farklı agrega türleriyle imal edilmiş hafif beton kategorisinde (yoğunluk  $<1650 \text{ kg/m}^3$ ) irdelenen harcın termal direnç değerlerinin  $8,5 \text{ mK/W}$  -  $1,0 \text{ mK/W}$  aralığında azalarak değişim gösterdiği ifade edilmiştir [15]. Bu değerlendirmeye kıyasla çalışma kapsamında irdelenen PAH tasarımları için elde edilen termal direnç değerlerinin kâgir blok üretimleri için geliştirilen alternatif hafif beton harcı türleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgular genel olarak irdelendiğinde termal yalıtım özelliği yüksek olan bir kâgir blok elemanı tasarlandığında bu blok elemanın üretiminde yoğunluğu düşük, termal direnci yüksek olan bir harç kombinasyonunun kullanımı kaçınılmaz olmaktadır.



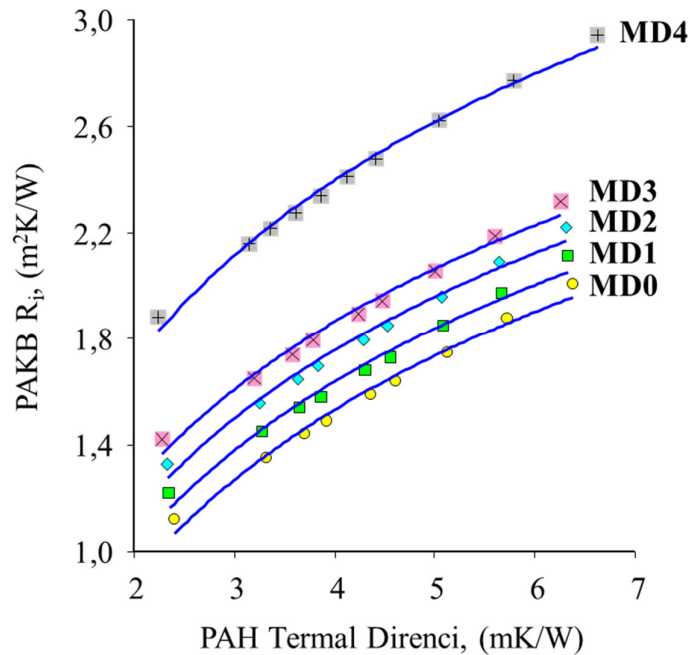
Şekil 4. PAH birim hacim kütle - PAH termal direnci ilişkisi



Şekil 5. Beton yoğunluğu - termal direnç ilişkisi analizi [15]



Çalışma kapsamında öncelikle geotekstil keçe yalıtım katmanı uygulanmamış MD0 kodlu pomza agregalı kâgir blok (PAKB) formunun TS EN 1745 [24] ve TS EN ISO 6946 [25] standartlarında öngörülen hesap algoritmasına göre  $650 \text{ kg/m}^3 - 1350 \text{ kg/m}^3$  PAH yoğunluk değişimleri için ısı geçirgenlik direnç değerleri ( $R_i$ ) " $\text{m}^2\text{K/W}$ " biriminde belirlenmiştir. Blok elemanın ısısal konfor performansının ön analizi amacıyla  $650 \text{ kg/m}^3 - 1350 \text{ kg/m}^3$  aralığında PAH yoğunluk değişimlerinin termal direnci Şekil 4'de üstel fonksiyon olarak elde edilen eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve bu değişimin  $6,53-2,29 \text{ mK/W}$  aralığında olduğu belirlenmiştir. Blok harcı için elde edilen bu direnç değerlerinde MD0 blok tasarımının EN 1745 [24] ve TS EN ISO 6946 [25] standartlarında öngörülen algoritmayla hesaplanmış PAKB  $R_i$  değerleri ise  $2,01- 1,12 \text{ m}^2\text{K/W}$  aralığında olduğu belirlenmiştir. Blok harcının termal direnci arttıkça, kâgir bloğun ısı geçirgenlik direnci de artış eğilimi göstermektedir. Diğer taraftan, blok tasarımındaki harç yoğunluğu düştükçe (hafifledikçe), ısı geçirgenlik direnci artmakta ve blok kesitinden ısı transferine karşı daha dirençli bir form kazanmaktadır. Benzer yaklaşımla bu çalışma kapsamındaki diğer blok tasarımları MD1, MD2, MD3 ve MD4 için de ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak elde edilen bulgular karşılaştırmalı bir analizi temsil etmesi bağlamında PAH termal direnci – blok tasarımının  $R_i$  ilişkisi grafiksel olarak Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. PAH termal direnci – PAKB  $R_i$  ilişkisi

Şekil 6 irdelendiğinde görüldüğü üzere, termal direnci  $27 \text{ mK/W}$  olan %80 geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edilmiş geotekstil keçenin yalıtım katmanı olarak kullanıldığı 4 farklı PAKB tasarımlarında (MD1-MD4), geotekstil keçe yalıtım katmanının etkisiyle blok elemanın ısı geçirgenlik direnç değerleri, MD0 kodlu referans bloğun değerlerine oranla önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. PAKB tasarımında geotekstil keçe katman kalınlığı arttıkça, harcın artan termal direnci bağlamında blok elemanın  $R_i$  değeri artmakta ve ısı transferine karşı daha dirençli bir forma ulaşmaktadır. Bu da blok elemanın termal yalıtım özelliğini iyileştiren ve geliştiren bir durumu temsil etmektedir. Ancak, blok elemanın tasarım formatında geotekstil keçenin ne kadar kalınlıkta ve blok elemanı kesitinde nerede yer alması gerektiği, burada tanımlanan ve Şekil 6'da verilen grafiksel ilişkiden yararlanılarak çıkarım yapılabilmektedir. Analizde görüldüğü üzere, birleştirilmiş tek katman şeklinde kalın bir uygulama formunda blok elemanına yerleştirilen geotekstil keçenin, blok elemanın ısısal yalıtım performansını en iyi artıran etki oluşturduğu görülmektedir. Bu şekilde bir uygulama, aynı zamanda gerek blok elemanın üretiminde daha kolay uygulanabilirlik, gerekse daha

düzenli kompakt görünümde bir blok elemanı elde edilmesine de olanak sağlamış olacaktır. Çalışma kapsamında sayısal veriler bağlamında bulgular detayda irdelendiğinde, MD1 blok tasarımında PAH termal direnci 2,36 – 6,32 mK/W aralığında değişim gösterirken, 10 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerleri ise 1,22 – 2,11 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişim göstermektedir. Bu da yalıtım katmanı uygulanmamış MD0 blok tasarımının değerlerine göre PAH yoğunluğuna bağlı %5 - %9 aralığında Ri direnci kazanımı olduğu belirlenmiştir. MD2 blok tasarımında PAH termal direnci ise 2,35 – 6,30 mK/W aralığında değişim gösterirken, 22 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerleri ise 1,33 – 2,22 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişim göstermektedir. Bu da yalıtım katmanı uygulanmamış MD0 blok tasarımının değerlerine göre PAH yoğunluğuna bağlı %10.4 - %18.8 aralığında Ri direnci kazanımı olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde MD3 blok tasarımında PAH termal direnci 2,30 – 6,24 mK/W aralığında, 32 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerlerinin ise 1,42 – 2,31 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişmektedir. MD0 blok tasarımına göre Ri direnci kazanımı ise %14.9 - %26.8 aralığında değişmektedir. Geotekstil keçe katman kalınlığının 72 mm uygulandığı MD4 tasarımında ise bu değişim eğilimlerinin PAH termal direnci bağlamında 2,24 – 6,58 mK/W aralığında ve Ri direnç kazanımı bağlamında ise %45.8 - %67.9 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Dört farklı tasarımdaki PAKB elemanlarının Ri değerleri genel olarak irdelendiğinde yukarıda da değinildiği üzere tek katman şeklinde kalın bir yalıtım materyali kullanımının ısı transferine direnç sağlamak açısından daha efektif bir sonuç verdiği açıkça görülmektedir. Bu yaklaşıma göre belirlenmiş değerlerin ve yaklaşımların daha rasyonel olarak etüt edilebilmesi ve blok elemanın yalıtım performansı değerlendirmesinde destekleyici bir unsur olarak blok tasarımında uygulanan yalıtımın *termal verimlilik değeri* de detaylı irdelenmesi ayrıca önem kazanmaktadır.

Blok tasarımına ilave bir yalıtım katmanı uygulamak, kâgir blok üretiminde önemli bir maliyet yükünü de gündeme getirebilmektedir. Bu nedenle, tasarımda uygulanacak yalıtım katmanını etkin bir şekilde kullanmak önemlidir. Kâgir blok elemanların termal yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla tasarımlarında gerek boşluk gözlerine dolgu şeklinde gerekse yeni boşluk hacmi oluşturularak uygulanacak ilave yalıtım katmanı/katmanları için alternatif birden fazla yalıtım malzeme türü kullanılabilir. Ancak bu malzemelerden hangilerinin daha olumlu sonuç verebileceği ve tasarımda nasıl bir etki oluşturacağını tanımlamak ve yorumlamak için yalıtım malzemesinin *bağlı termal verimliliği* “TE” değeri incelenerek, görece daha az yalıtım malzemesi kullanılarak yüksek yalıtım performanslı kâgir blok elemanlarının nasıl tasarlanacağı öngörülebilir [15]. Bu analiz şekli aynı zamanda, beton ve kâgir blok elemanlarıyla örülmüş bir duvar sisteminin maliyetinin optimizasyonunda da son derece önemli bir faktör olarak yer alacaktır. Bununla birlikte, kullanılan yalıtımın nominal R değeri, bu yalıtımın neden olduğu duvar R değerindeki artışla karşılaştırıldığında, duvar R değerindeki gerçek artış genellikle önemli ölçüde daha düşüktür. İstenmeyen termal köprüler, yalıtım malzemesinin etkisiz kullanımına yol açan önemli ısı kayıplarına neden olabilir [15, 26].

PAKB tasarımında 27 mK/W’lık termal direnç değerli %80 geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edilmiş geotekstil keçenin, yalıtım katmanı olarak uygulanması durumunda uygulamanın blok elemanın termal verimliliğine etkisinin belirlenmesi amacıyla, her bir blok tasarımı için bağlı termal verimliliği “TE” değerleri hesaplanmıştır. TE değerinin belirlenmesinde uygulanan yöntem, her biri aynı F<sub>u</sub> yüzey alanına sahip olan yalıtımlı (R<sub>i</sub>) ve yalıtımsız (R<sub>u</sub>) duvar birimlerinin R-değeri karşılaştırmasına dayanır [15]. Blok tasarımında uygulanan yalıtım katmanının eşdeğer R-değeri (R<sub>e</sub>), söz konusu kâgir blok elemanı ile aynı yüz yüzey alanına A<sub>f</sub> (m<sup>2</sup>) sahip olan ve aynı V<sub>ins</sub> (m<sup>3</sup>) hacmini içeren blok elemanını yalıtım için kullanılan yalıtım malzemesi tabakası için de hesaplanabilir [15]. TE, aşağıdaki denklemle ifade edilebilir [15]:

$$TE = \frac{R_i - R_u}{R_e} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Burada;

TE : PAKB elemanı bağlı termal verimliliği, (%),

R<sub>i</sub> : Yalıtılmış PAKB elemanının R-değeri, (m<sup>2</sup>K/W),

$R_u$  : Yalıtılmamış PAKB elemanın R-değeri, ( $m^2K/W$ ),

$R_e$  : Tek bir kesintisiz katmanda yapılandırılmış, tek başına yalıtım malzemesinin R-değeri ( $m^2K/W$ ).

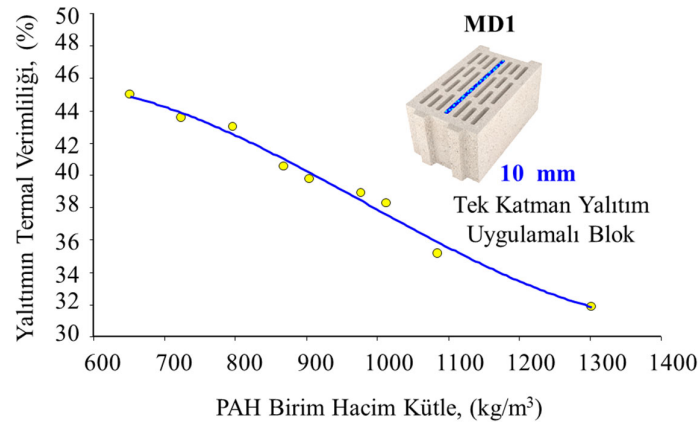
PAKB elemanında kullanılan geotekstil keçe yalıtımının eşdeğer kalınlığı “ $d_e$ ”yi hesaplamak için yalıtım malzemesinin hacmi  $V_{ins}$ , PAKB elemanın ön yüzey alanı  $A_f$ ’ye bölmesiyle elde edilebilmektedir. Yalıtım malzemesinin eşdeğer kalınlık değeri ( $d_e$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilir [15]:

$$d_e = \frac{V_{ins}}{A_f} \quad (4)$$

Kullanılan yalıtım katmanı malzemesinin  $R_e$ ’nin eşdeğer R değeri ise [15]:

$$R_e = r_i \times d_e \quad (5)$$

Burada  $r_i$ , yalıtım katmanı malzemesinin ısıl direncidir. Bu metodolojiye göre geotekstil keçenin yalıtım katmanı olarak uygulandığı MD1-MD4 PAKB tasarımlarında PAH yoğunluk değişimine bağlı PAKB elemanın TE değerleri ayrı ayrı hesaplanarak yalıtımın bağlı termal verimliliği irdelenmiştir. Yapılan analiz bulgularında genel eğilim, PAH yoğunluğu arttıkça (harç ağırlaştıkça) PAKB elemanın bağlı termal verimliliği düşmektedir. 10 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin yalıtım etkisiyle MD1 tasarımı için PAH yoğunluk - bağlı termal verimlilik değişimi Şekil 7’de verilmiştir.

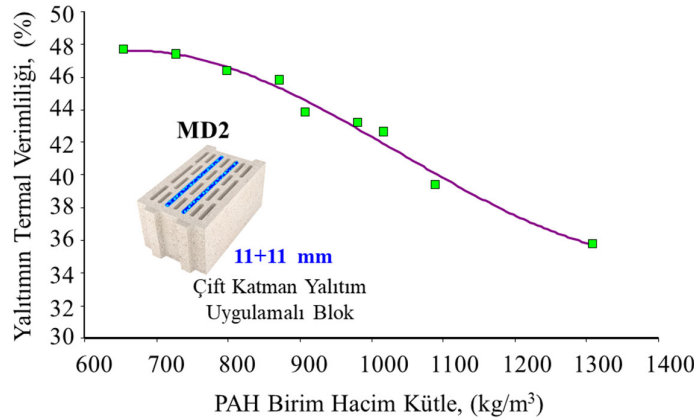


Şekil 7. PAH yoğunluğu – yalıtımın TE ilişkisi (MD1)

Yalıtım katmanlı bir blok tasarımının bağlı termal verimliliğinin yukarıda tanımlanan algoritmaya göre belirlenmesine sayısal bir örnek olarak  $1302 \text{ kg/m}^3$  PAH harcı ile yapılmış ve 10 mm tek katman yalıtımlı MD1 kodlu blok tasarımı ele alınacak olursa; ilk önce yalıtım malzemesinin eşdeğer kalınlık değeri belirlenir. Bu blok tasarımı için  $V_{ins}=610,5 \text{ cm}^3$  ve  $A_f=975 \text{ cm}^2$ ’dir. Buna göre 4 nolu eşitlik kullanılarak “ $d_e$ ” değeri  $d_e=0,626 \text{ cm}$  olarak elde edilir. Daha sonra tasarımda kullanılan yalıtım katmanı malzemesinin  $R_e$  değeri ise  $1/(\text{yalıtım katmanının ısıl iletkenlik değeri})$  olarak belirlenir. Burada  $\lambda_{yalıtım}=0,037 \text{ W/mK}$  ele alınmış olup, blok tasarımının  $R_e$  değeri “ $R_e=1/\lambda_{yalıtım}$ ”  $27 \text{ m}^2K/W$ ’dir. Bir sonraki adımda ise yalıtılmış ve yalıtılmamış formda blok elemanın  $R_i$  ve  $R_u$  değerleri belirlenir. Buna göre bu blok tasarımı için  $R_i=1,222 \text{ m}^2K/W$  ve  $R_u=1,168 \text{ m}^2K/W$  olarak elde edilmiştir. Bu değerler bağlamında eşitlik 3’de verilen bağıntıya göre bağlı termal verimlilik hesaplandığında bu blok tasarımı için  $TE=\%31,9$  olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde blok tasarımının değişken tüm değerleri için ayrı ayrı bağlı termal verimlilik değerleri hesaplanabilmektedir. Bu örneklem değerlendirmesi esas alınarak değişken parametre bağlamında 650

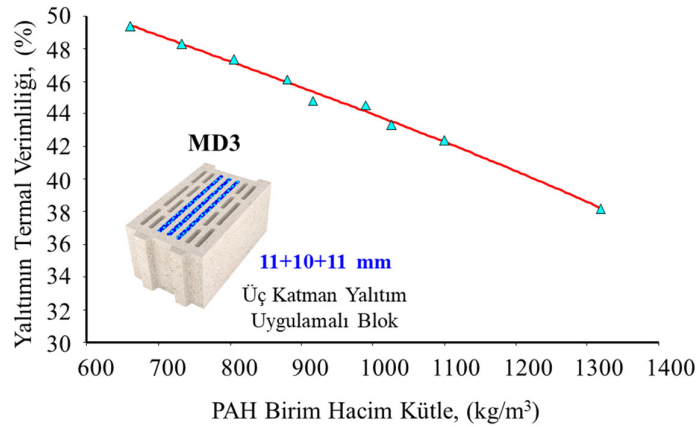
– 1302 kg/m<sup>3</sup> PAH yoğunluk değişimleri için 10 mm tek katman yalıtım şeklinde MD1 tasarımında uygulanmış geotekstil keçenin bağıl termal verimliliği %31.9 - %45 aralığında değişim göstermiş olup, değişimin trendi Şekil 7’de de açıkça görülebilmektedir. Buna göre, PAH yoğunluğu düştükçe, blok tasarımının TE değeri iyileşmektedir. Bu bağlamda, PAH yoğunluğu yaklaşık 2 kat arttığında yalıtımın bağıl termal verimliliği ortalama %29 oranında azalmaktadır. Diğer bir değişle, eşdeğer kalınlıkta bir yalıtım katmanının yer aldığı blok tasarımında blok elemanındaki yalıtımın termal verimliliğinin iyileşmesi için de blok üretiminde kullanılacak harç yoğunluğunun hafifliği bir kez daha bu şekilde önem kazanmakta olduğu görülmektedir.

Eşitlik 3 – Eşitlik 5’de belirtilen algoritmik yaklaşıma ve yukarıda örnek olarak verilen sayısal değerlendirmeye benzer şekilde, 22 mm iki ayrı katman yalıtım şeklinde MD2 tasarımında uygulanmış geotekstil keçenin bağıl termal verimliliği ise %35.8 - %47.7 aralığında değişim göstermiştir. Bu değişimde etken olan parametre blok üretiminde kullanılacak PAH yoğunluğunun 1308 kg/m<sup>3</sup>’ten 654 kg/m<sup>3</sup>’e değişimi olmuştur (Şekil 8). MD1 tasarımındaki benzer şekilde PAH yoğunluğu düştükçe, blok tasarımının TE değeri iyileşmektedir. Bu bağlamda, PAH yoğunluğu yaklaşık 2 kat arttığında yalıtımın bağıl termal verimliliği ortalama %25 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ancak, blok tasarımında yalıtım katman kalınlığının değişimine bağlı elde edilen TE değerleri açısından irdelendiğinde, yalıtımın eşdeğer kalınlığı arttıkça TE değeri de artmaktadır. Örneğin, MD1 tasarımında 10 mm geotekstil keçe katmanı için eşdeğer yalıtım kalınlığı 6,26 mm olarak belirlenmiş olup, 900 kg/m<sup>3</sup>’lük PAH yoğunluğundaki harç ile blok tasarlandığında bu blok elemanında yalıtımın bağıl termal verimliliği ortalama %40 olmaktadır. Buna karşın, MD2 tasarımında 22 mm geotekstil keçe katmanı için eşdeğer yalıtım kalınlığı 13.8 mm olarak belirlenmiş olup, 900 kg/m<sup>3</sup>’lük PAH yoğunluğundaki harç ile blok tasarlandığında bu blok elemanında yalıtımın bağıl termal verimliliği ise %44 olmaktadır. Diğer bir değişle, eşdeğer PAH yoğunluğundaki bir harçla tasarlanan blok elemanında yalıtım katmanının eşdeğer kalınlığındaki 7,54 mm’lik artış, yalıtımın verimliliğini ortalama %4 kadar artırmıştır.

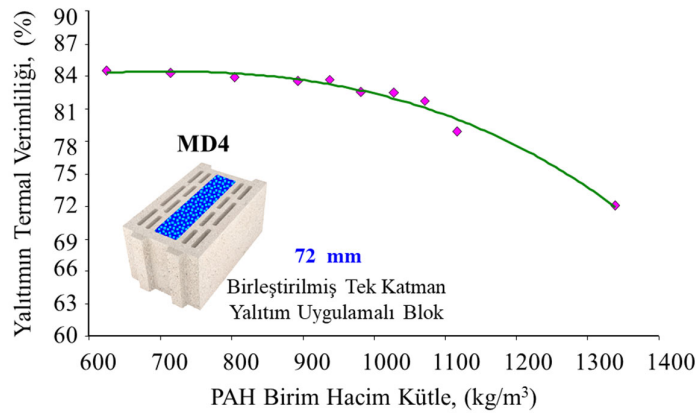


**Şekil 8.** PAH yoğunluğu – yalıtımın TE ilişkisi (MD2)

Bir diğer PAKB tasarımı MD3 için 32 mm üç ayrı katman yalıtımın uygulandığı geotekstil keçenin bu blok tasarımındaki eşdeğer yalıtım kalınlığı yaklaşık 20 mm’dir. Bu kalınlıkta bağıl termal verimliliği %38,2 - %49,4 aralığında değişim göstermekte olup, PAH yoğunluğunun ise değişimi azalan bir eğilimle 1319 kg/m<sup>3</sup> - 660 kg/m<sup>3</sup>’tür (Şekil 9). PAH yoğunluğu yaklaşık 2 kat arttığında yalıtımın bağıl termal verimliliği ortalama %23 oranında azalmaktadır. Diğer taraftan, MD 4 için de benzer olgu gözlenmiştir. MD4 için 72 mm tek katman yalıtımın uygulandığı geotekstil keçenin bu blok tasarımındaki eşdeğer yalıtım kalınlığı ise yaklaşık 45.1 mm’dir. Bu kalınlıkta bağıl termal verimliliği %72.05 - %84.5 aralığında değişim göstermekte olup, PAH yoğunluğunun ise değişimi azalan bir eğilimle 1339 kg/m<sup>3</sup> - 625 kg/m<sup>3</sup>’dür (Şekil 10). PAH yoğunluğu yaklaşık 2,14 kat arttığında yalıtımın bağıl termal verimliliği ortalama %14,7 oranında azalmaktadır.



Şekil 9. PAH yoğunluğu – yalıtımın TE ilişkisi (MD3)



Şekil 10. PAH yoğunluğu – yalıtımın TE ilişkisi (MD4)

MD1 ve MD2 tasarımlarındaki benzer şekilde MD3 ve MD4 tasarımlarında da PAH yoğunluğu düştükçe, blok tasarımının TE değeri iyileşmektedir. MD3 ve MD4 blok tasarımında yalıtım katman kalınlığının değişimine bağlı elde edilen TE değerleri açısından irdelendiğinde, yalıtımın eşdeğer kalınlığı arttıkça TE değeri de artmaktadır. Örneğin, MD3 tasarımında 32 mm geotekstil keçe katmanı için eşdeğer yalıtım kalınlığı 20 mm olarak belirlenmiş olup, 900 kg/m<sup>3</sup>'lük PAH yoğunluğundaki harç ile blok tasarlandığında bu blok elemanında yalıtımın bağlı termal verimliliği ortalama %45 olmaktadır. Bununla birlikte, MD4 tasarımında 72 mm geotekstil keçe katmanı için eşdeğer yalıtım kalınlığı 45.1 mm olarak belirlenmiş olup, 900 kg/m<sup>3</sup>'lük PAH yoğunluğundaki harç ile blok tasarlandığında bu blok elemanında yalıtımın bağlı termal verimliliği ise %84 olmaktadır. Yapılan bu analiz bulguları genel bir eğilimle, blok tasarımında tek katman şekliyle yalıtım malzemesi uygulandığında, yalıtımın eşdeğer kalınlığı arttıkça önemli bir ölçüde yalıtımın bağlı verimliliği artış göstermektedir. MD1 ile MD4 blok tasarım formları bu bağlamda mukayese edildiğinde geotekstil keçe yalıtım eşdeğer kalınlığı 38.8 mm'lik bir artışla blok elemanının bağlı yalıtım verimliliğinde ise (%40'tan %84'e gelişimiyle) %44'lük önemli bir iyileşme olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ve yapılan irdelemeler genel olarak göstermiştir ki; termal yalıtım performansı iyileştirilecek blok tasarımlarında tek katman şeklinde ve eşdeğer kalınlığı büyük, minimum ısı köprüsü oluşturan bir formda yalıtım katmanı uygulanması son derece önem arz etmektedir. Yalıtımın malzemesinin farklı boyutlarda blok tasarımında yer alan boşluk hacimlerine yerleştirilmesi ve ısı köprüsü oluşturan beton harcı birimlerin tasarımda yer alması, daha düşük yalıtım verimliliği elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yalıtım malzemesinin yüksek miktarda blok

tasarımında kullanılmasından ziyade, blok tasarım geometrisi ve konfigürasyonunun modellenerek minimum ısı köprüsü oluşturacak ve/veya ısı köprüsü oluşturmayan bir formda tasarlanarak kullanımının daha efektif sonuçlar sağladığı kaçınılmaz olmaktadır. Blok elemanın termal verimliliğine doğrudan etken diğer bir önemli değişken parametre ise blok üretiminde kullanılacak harcın yoğunluk değerinin mümkün olduğu ölçüde düşük ve hafif değerlerde olması önem kazanmaktadır. Ancak harç yoğunluk değerinin, elde edilecek blok elemanın kabul edilebilir bir mukavemet değerini sağlayıp sağlayamayacağı da detaylı irdelenmelidir.

## 5. Sonuçlar

Bu makalede, pomza agregalı hafif betondan mamul farklı tasarımlara sahip kâgir birimlerin konfigürasyon ve beton yoğunluk değişimi bağlamında termal yalıtım özelliklerinin incelenmesi ve kâgir birimin termal yalıtım performansının iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmanın özet karşılaştırmalı bulguları tartışılmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre;

1. Pomza agregalı harcın birim hacim kütle değeri arttıkça, harcın termal direnci düşmektedir. PAH yoğunluğunda 2,06 kat artışta harcın termal direncinde 2,88 kat azalma oluşmaktadır.
2. PAKB tasarımında geotekstil keçe katman kalınlığı arttıkça, harcın artan termal direnci artmakta ve ısı transferine karşı daha dirençli bir forma ulaşmaktadır.
3. MD1 blok tasarımında PAH termal direnci 2,36 – 6,32 mK/W aralığında değişim gösterirken, 10 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerleri ise 1,22 – 2,11 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişim göstermektedir. Bu da yalıtım katmanı uygulanmamış MD0 blok tasarımının değerlerine göre PAH yoğunluğuna bağlı %5 - %9 aralığında Ri direnci kazanımı oluştuğu belirlenmiştir.
4. MD2 blok tasarımında PAH termal direnci ise 2,35 – 6,30 mK/W aralığında değişim gösterirken, 22 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerleri ise 1,33 – 2,22 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişim göstermektedir. Bu da yalıtım katmanı uygulanmamış MD0 blok tasarımının değerlerine göre PAH yoğunluğuna bağlı %10.4 - %18.8 aralığında Ri direnci kazanımı oluştuğu belirlenmiştir.
5. MD3 blok tasarımında PAH termal direnci 2,30 – 6,24 mK/W aralığında, 32 mm kesit kalınlığındaki geotekstil keçenin etkisiyle PAKB Ri değerlerinin ise 1,42 – 2,31 m<sup>2</sup>K/W aralığında değişmektedir. MD0 blok tasarımına göre Ri direnci kazanımı ise %14.9 - %26.8 aralığında değişmektedir.
6. Geotekstil keçe katman kalınlığının 72 mm uygulandığı MD4 tasarımında ise bu değişim eğilimlerinin PAH termal direnci bağlamında 2,24 – 6,58 mK/W aralığında ve Ri direnci kazanımı bağlamında ise %45.8 - %67.9 aralığında değiştiği belirlenmiştir.
7. Dört farklı tasarımdaki PAKB elemanlarının Ri değerleri genel olarak irdelendiğinde tek katman şeklinde kalın bir yalıtım materyali kullanımının ısı transferine direnci sağlamak açısından daha efektif bir sonuç verdiği gözlenmiştir.
8. MD1 tasarımında (10 mm tek katman geotekstil keçeli) bağıl termal verimlilik %31.9 - %45 aralığında, MD2 tasarımında (22 mm iki ayrı katman yalıtım şeklinde uygulanmış geotekstil keçeli) bağıl termal verimliliği ise %35.8 - %47.7 aralığında, MD3 tasarımında (32 mm üç ayrı katman geotekstil keçeli) bağıl termal verimlilik %38.2 - %49.4 aralığında MD4 tasarımında (72 mm tek katman geotekstil keçeli) bağıl termal verimlilik %72.05 - %84.5 aralığında değişim göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında, büyük oranda geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edilmiş geotekstil keçenin hafif betondan mamul kâgir blokların ısı dirençlerini artırmakta ve dolaylı olarak duvar yapımında kullanılması ile birlikte binalarda ısı yalıtımı açısından önemli iyileştirme sağlayabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca, hafif betondan mamul kâgir blokların yeterli dayanım

değerlerini sağlayabilecek düzeyde düşük yoğunlukta üretilmesi ve ısı köprüsü oluşumlarını minimuma indirebilecek şekilde tek katmanlı ve uygulama kalınlığı nispeten yüksek olan geotekstil keçelerin kullanılması, bu ürünlerin ısı yalıtım özelliklerini oldukça iyileştirmiş ve sürdürülebilir yapılarda kullanılabilmesi açısından önemli sonuçlar vermiştir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

### Kaynaklar

- [1] Chel A, Geetanjali K. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. Alexandria engineering journal 2018; 57: 655-669.
- [2] Gheni, AA, ElGawady ME, Myers JJ. Energy efficient masonry units using sustainable techniques. Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation 2016; 1702-1707.
- [3] Suleymanova LA, Lesovik VS, Kara KA, Malyukova MV, Suleymanov KA. Energy-Efficient Concretes for Green Construction. Research Journal of Applied Sciences 2014; 12: 1087-1090
- [4] Korjenic A, Petráněk V, Zach J, Hroudová J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. Energy and Buildings 2011; 43: 2518-2523.
- [5] Nemanič V, Žumer M. New organic fiber-based core material for vacuum thermal insulation. Energy and Buildings 2015;90: 137-141.
- [6] Boafó FE, Kim JT, Chen Z. Configured cavity-core matrix for vacuum insulation panel: Concept, preparation and thermophysical properties. Energy and Buildings 2015; 97: 98-106.
- [7] Zhu L, Dai J, Bai G, Zhang F. Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks. Construction and Building Materials 2015; 94: 620-628.
- [8] Solomon AA, Hemalatha G. Characteristics of expanded polystyrene (EPS) and its impact on mechanical and thermal performance of insulated concrete form (ICF) system. Structures 2020; 23: 204-213.
- [9] Caruana C, Yousif C, Bacher P, Buhagiar S, Grima C. Determination of thermal characteristics of standard and improved hollow concrete blocks using different measurement techniques. Journal of building engineering 2017; 13: 336-346.
- [10] Sutcu M, del Coz Díaz JJ, Rabanal FPÁ, Gencel O, Akkurt S. Thermal performance optimization of hollow clay bricks made up of paper waste. Energy and Buildings; 2014: 75, 96-108.
- [11] Xu R, He T, Da Y, Liu Y, Li J, Chen C. Utilizing wood fiber produced with wood waste to reinforce autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials 2019; 208: 242-249.
- [12] Suleymanova LA, Pogorelova IA, Marushko MV. Theoretical basis of formation highly organized porous structure of aerated concrete. Materials Science Forum 2019; 945: 309-317.
- [13] Ahmed A. Sustainable construction using autoclaved aerated concrete (aircrete) blocks. Research and Development in Material Science 2017; 1(4). ISSN 2576-8840
- [14] Gorshkov AS, Rymkevich PP, Vatin NI. Simulation of non-stationary heat transfer processes in autoclaved aerated concrete-walls. Magazine of Civil Engineering 2014; (8): 38-48.
- [15] Urban B, Engelmann P, Kossecka E, Kosny J. Arranging insulation for better thermal resistance in concrete and masonry wall systems. In 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland; 2011.
- [16] Kosny J, Christian JE. The optimum use of insulation for concrete masonry block foundations. Building Research Journal 1993; 2.
- [17] Sakthivel S, Kumar SS, Melese B. Sound-absorbing recycled cotton/polyester thermal bonded nonwovens, The Journal of The Textile Institute 2021; 112: 1588-1595.



- [18] Bradley W, Greer DS., Nonwoven fabric composites from coir fibers. Patent US 2013/0260631 A1 13/899,417, 2013.
- [19] Moghadam A, Yousefi SH, Tafreshi HV, Pourdeyhimi B. Characterizing nonwoven materials via realistic microstructural modeling. *Separation and Purification Technology* 2019; 211: 602-609.
- [20] Rebolledo P, Cloutier A, Yemele MC. Effect of density and fiber size on porosity and thermal conductivity of fiberboard mats. *Fibers* 2018; 6: 81.
- [21] Santhanam S, Temesgen S, Atalie D, Ashagre G. Recycling of cotton and polyester fibers to produce nonwoven fabric for functional sound absorption material. *Journal of Natural Fibers* 2019; 16: 300-306.
- [22] PUNTEKS. <http://www.punteks.com/urunler-izogreenkece.aspx> (Erişim Tarihi: 06.04.2023)
- [23] PAnetti-HB. <https://www.panetti.com.tr/urunlerimiz/panetti-hb-seri/> (Erişim Tarihi: 06.04.2023)
- [24] Kâgir ve kâgir mamulleri - Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1745, 2020.
- [25] Yapı bileşenleri ve yapı elemanları - Isıl direnç ve ısı geçirgenlik-Hesaplama yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 6946, 2017.
- [26] Kosny J, Syed AM. Interactive Internet-based building envelope materials database for whole-building energy simulation programs. *Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings IX*, Clearwater, Florida, 2004.