



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.03.2023
Kabul Tarihi : 11.10.2023

Received Date : 23.03.2023
Accepted Date : 11.10.2023

ISI YALITIMLI HARÇ ÜRETİMİNDE BAZI ETKEN PARAMETRELERİN SPSS YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

EXAMINATION OF THE EFFECTIVE PARAMETERS IN THERMAL INSULATION MORTAR PRODUCTION BY SPSS METHOD

Nükhet ŞAPCI^{1*} (ORCID: 0000-0002-8390-9134)
Mustafa SİVRİ² (ORCID: 0000-0002-2756-5357)

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Isparta, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nükhet ŞAPCI, nukhetsapci@isparta.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda enerji tasarruflu binalar ekonomik ve ekolojik özellikleri nedeniyle önem kazanmıştır. Ayrıca deprem felaketlerinin yaşamamızda oluşturduğu ciddi hasarlar nedeniyle, çimentolu harçlarda hafif agregaya kullanımının önemi daha iyi anlaşılmıştır. Özellikle gözenekli hafif agregaların ısı yalıtımlı harçların geliştirilmesinde önemli bir hammadde olduğu görülmüştür. Kompozit formdaki bu harçların termal özelliğini gösteren en önemli etki ısı iletkenlik katsayılarının tespit edilmesidir. Bu makale çalışmasında 3 farklı kökünde hafif agregaya ana hammadde olarak kullanılmıştır. Toplamda polimer katkılı 15 farklı karışım tasarımı yapılmıştır. Elde edilen sıva numunelerinin ısı iletkenlik özellikleri, polimer katkı kullanılmadan üretilen kontrol numuneleri ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen örneklerin TS EN 998-1'e göre T1 ve T2 "Isı Yalıtımlı Harçlar" kategorisinde yer alabileceği tespit edilmiştir. En düşük kuru birim hacim ağırlık 554 kg/m³ ve 0,087 W/mK ısı iletkenlik katsayısı ile Diatomit agregalı serilerde belirlenmiştir. Ayrıca farklı tasarımlardaki bu harçların, bir duvar kesitinden ısıl konfor performansının incelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı analizlerinin etkinliklerinin belirlenmesi için SPSS (V26) programı ile sonucu etkileyen parametreler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif agregaya, kompozit harç, ısı iletkenlik katsayısı, enerji tasarrufu

ABSTRACT

In recent years, energy-efficient buildings have gained importance due to their economic and ecological features. In addition, due to the serious damage caused by earthquake disasters in our lives, the importance of using lightweight aggregate in cementitious mortars has been better understood. Particularly porous lightweight aggregates have been shown to be an important raw material in the development of thermal insulating mortars. The most important effect showing the thermal properties of these mortars in composite form is the determination of their thermal conductivity coefficients. In this article, lightweight aggregate of 3 different origins was used as the main raw material. In total, 15 different mixture designs with polymer additives were made. Thermal conductivity properties of the obtained plaster samples were compared with control samples produced without the use of polymer additives. It has been determined that the samples obtained in experimental studies can be included in the T1 and T2 "Thermal Insulating Mortars" categories according to TS EN 998-1. The lowest dry unit volume weight was determined in the Diatomite aggregate series with a thermal conductivity coefficient of 554 kg/m³ and 0.087 W/mK. In addition, the thermal comfort performance of these mortars with different designs was examined from a wall section. In this study, the parameters affecting the result were determined with the SPSS (V26) program to determine the effectiveness of unit volume weight and thermal conductivity coefficient analyses.

Keywords: Lightweight aggregate, composite mortar, thermal conductivity coefficient, energy saving

GİRİŞ

Son yıllarda küresel ısınma dünyanın en büyük problemleri arasındadır. Bu sorun iklim değişikliğini de beraberinde getirmiştir. İklim değişikliğinin en önemli sebebi ise sera gazı salınımlarıdır. Sera gazı salınım seviyeleri enerjiyi etkin kullanarak kontrol altına alınabilir (Wu vd., 2016). Bu nedenle binalarda enerjiyi verimli kullanmak ancak etkin bir şekilde ısı yalıtım uygulaması ile mümkündür (Şapcı, 2022).

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına almak ve enerjiyi kontrollü bir şekilde kullanmak için yeni yöntemler geliştirmektedirler. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmektedir. Bu enerjinin etkin kullanılması ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Dolayısıyla doğal malzemelerle yalıtım elemanlarının üretilmesi ve uygulanması da bir o kadar önemli konu haline gelmiştir (Şapcı & Gündüz, 2021).

Ülkemizde Şubat 2006 döneminde yürürlüğe giren ve birkaç kez revize edilen TS EN 998-1 standardında “Isı Yalıtımı Sağlayan T Grubu Harç” kategorisinde yer alan harç ürünlerde aranılan özellikler teknik olarak tanımlanmış ve üretilen ürünlerin hangi teknik değerleri sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Özellikle, inşaat sektöründe binalarda enerji tasarrufunun daha iyi sağlanması ve enerji kaynaklarımızın daha kontrollü kullanılması amacıyla binalarda bu yalıtımların çok özenle yapılması gerekmektedir (Şapcı vd., 2009).

Isı yalıtımı sağlayan kompozit harç ürünler konusunda yapılan çalışmalarda, Gündüz ve Kalkan (2016)’da, çimento esaslı hafif harçlarda diatomit agregaların etkisi konulu bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma da diatomit agregası ana malzeme olarak kullanılmış ve hafif harç örnekleri üretilmiştir. Ayrıca diatomit agrega boyut değişiminin hafif harç özellikleri üzerine etkilerini sayısal olarak irdelemişlerdir. Harç örneklerinin priz süresi sonunda birim hacim ağırlık değerleri 355 kg/m^3 - 591 kg/m^3 arasında, ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise $0,057$ - $0,152 \text{ W/mK}$ arasında ölçülmüştür. Harç gruplarının ise TS EN 998-1’e göre T1 ve T2 grubunda yer alabileceğini belirtmişlerdir.

Gündüz vd., (2018)’de ısı yalıtım amaçlı kompozit harçlarda, açılmış vermikülit agreganın termal konfor parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Açılmış (genleşmiş) vermikülit agregaları ile üretilmiş kompozit yapı harçların termal konfor yönleri ve teknik performanslarını sayısal olarak irdelemişlerdir. Test sonuçlarına göre, açılmış vermikülit agrega oranı arttığında termal konfor değerlerinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Böylece açılmış vermikülitin bir hafif agrega olarak enerji tasarruflu binalar için uygulanabilen bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yıldırım ve Baba (2018)’de hafif agregalar kullanılarak kompozit yapı harç üretimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Reçete çalışmasında hacimsel olarak %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında m^3 ’te 250 kg çimento kullanılarak pomza ve geliştirilmiş perlit agregaları ile ürettikleri harç tasarımlarını kullanmışlardır. Ürettikleri 5 çeşit numune üzerinde; su emme, kuru birim hacim ağırlık, mukavemet analizi, kılcal su emme ve ısı iletkenlik testleri yapılmıştır. Elde edilen analiz verilerine göre pomza agrega miktarı arttıkça su emme, basınç dayanımı ve kılcallık özellikleri olumlu etkilenirken, ısı iletkenlik ve kuru birim hacim ağırlık özelliklerinin olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Özellikle pomza ve geliştirilmiş perlit agregalarının %50 oranlarında karıştırılmasının en anlamlı sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir.

Gündüz & Kalkan (2022)’de çimento esaslı hafif harç numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agreganın birim hacim ağırlık ve gözeneklilik oranının, harç malzemelerinin özgül ısısı üzerinde etkili bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Pomza, tuf, volkanik cüruf ve diatomit agregaları kullanılarak üretilen harçların ısı depolamada etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Kılınçarslan vd. (2018), Gündüz ve Kalkan (2022), yapmış oldukları bilimsel çalışmalarda son yıllarda, çimentolu harçların, binaların enerji verimliliğine önemli katkılar sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca Bilgin ve Arıcı (2017); Kılınçarslan vd. (2018), günümüz binalarında optimum koşullarda termal konforun sağlanması için, standartlar ve yönetmeliklerde önemli bir kural olarak uygulamaya başlandığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, inşaat endüstrisinde yeşil bina konseptine uygun olarak binaların iç ve dış cephelerinde uygulanabilecek ısı yalıtım özelliği yüksek, polimer bileşen katkılı kompozit formda harç karışımları tasarlamaktır. Sertleşmiş harç örneklerinin priz süresi tamamlandıktan sonra TS EN 998-1 standardına göre kuru birim hacim ağırlıkları ve ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Bu analizlerden elde edilen teknik bulgular ışığında, 3 farklı hafif

agreganın kompozit yapının ısı yalıtım özelliklerine olan avantajları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca bu harç serilerden örnek bir kompozit harcın ısı yalıtım performansını daha ayrıntılı incelemek amacıyla TS 825 standardının öngördüğü bir duvar model kesiti için ısı yalıtım değerlendirmesi yapılmıştır. Deney girdi verilerinin etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla SPSS ve ANFIS yöntemi kullanılarak kontrol sağlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada 3 farklı köken olarak pomza, volkanik cüruf ve diyatomit gibi hafif agregalar ana hammadde olarak kullanılmıştır (Şekil 1). Agrega türlerinin her birinin ana hammadde olarak kullanıldığı kendi içerisinde 5 ayrı karışım kombinasyonları tasarlanmıştır. Karışımlardaki pomza Nevşehir-Göre, volkanik cüruf Manisa-Kula ve diyatomit ise Ankara-Kazan bölgesi civarından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan 3 farklı agrega ve çimentonun kimyasal bileşimi, X-Işını Floresans spektrometresi (XRF) ile yapılmış ve sonuçlar Tablo 1'de paylaşılmıştır. Maden mühendisliği bölümü laboratuvarlarında agregalar birincil kırıcıda kırılarak, bilyalı değirmenlerde öğütülmüş daha sonra eleme yapmak suretiyle 0-4 mm ve 0-2 mm tane boyut aralığında sınıflandırılmıştır. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknik Bilimler MYO İnşaat laboratuvarında agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için malzemelerin analizleri yapılmış TS EN 1097-6 ve TS 699'a göre sonuçlar irdelenmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çimento ve Agregaların XRF Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşen (%)	Çimento	Pomza	Volkanik Cüruf	Diyatomit
SiO ₂	18,12	70,99	43,80	89,80
Al ₂ O ₃	4,72	14,72	21,30	3,56
Fe ₂ O ₃	3,42	1,18	7,22	0,38
MgO	0,89	0,35	6,80	0,36
CaO	65,20	0,92	12,30	1,06
Na ₂ O+K ₂ O	1,21	8,96	6,90	0,50
TiO ₂	0,00	0,08	0,03	0,13

Tablo 2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Agregaların Fiziksel Özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Etüv kuru tane yoğunluğu (g/cm ³)	Ağırlıkça su emme (%)
Diyatomit	2,34	0,518	62,50
Pomza	2,32	1,15	21,08
Volkanik cüruf	2,76	2,01	11,89

Pomza, yoğunluğu 1 g/cm³'ten düşük, sertliği mohs skalasına göre yaklaşık 5-6 civarında olan boşluklu volkanik bir kayadır. Volkanik cüruf ise kırmızımsı-siyahımsı renklerde olup çoğunlukla yüksek demir içeriğine sahiptir. Bazı volkanik cüruf türlerinin ise yüzeyi koyu yeşil bir renge sahip olabilir. Ayrıca oksidasyon koyu kırmızı kahverengi bir renge de yol açabilir (Demirdağ & Gündüz, 2008). Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde SiO₂ oranı %43,80 olarak belirlenmiştir. SiO₂ oranı %45'in altındaki malzemelerin jeolojik olarak bazik kökenli kayalar olarak değerlendirildiği bilindiğine göre volkanik cüruf malzeme pomza ve diyatomitten farklı olarak bazik karakter sergilemektedir. Diyatomit kayacı, tek hücreli mikroskobik diatome alglerinin fosilleşmiş silisli kabuklarından oluşan sedimanter kayalardandır. Hızlı bir şekilde çoğalan ve su içerisinde belirlenemeyen miktarlarda var olan bu

canlılar, canlılıklarını kaybettiklerinde su kütlelerinin dibine batarak yığılırlar. Bu kayaçlar doğada yer yer kayaç formunda veya damar yapıları şeklinde bulunurlar (Özbey & Atamer 1987; Aruntaş 1996). Diyatomit kayacı ağırlıklı olarak silisten oluşmasına rağmen, kayacın sertliği mohs skalasına göre 1,5-2, tane mukavemeti ise 4-6,5 arasındadır (Gündüz & Kalkan, 2022).

Çalışmada bütün karışım tasarımlarında bağlayıcı bileşen olarak CEM I 52,5 R beyaz portland çimento ürünü ana bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ayrıca karışımın yapışma mukavemeti özelliğini artırmak için söndürülmüş toz kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kullanılmıştır. Karışımlarda dolgu malzemesi olarak iki tip malzeme kullanılmıştır. İşlenebilirlik özelliğinin artırılabilmesi için bütün serilerde 100 mikron altı mikronize kalsit ve harçların birim hacim ağırlığını minimum seviyeye düşürmek için 1 mm tane boyutu altında genişletilmiş perlit malzemesi ilave edilmiştir. Deneysel çalışmada kompozit matris yapıda harç numuneleri elde etmek, harcı kıvamlı hale getirmek ve ısı yalıtım amaçlı harç üretmek için kontrol karışımı hariç tüm karışımlarda toz şeklinde polimer katkıları kullanılmıştır. Bunlar, hava sürükleyici, kıvamlaştırıcı, su itici ve aderans artırıcı özellikteki katkılardır.



Şekil 1. Kompozit Harç Tasarımlarında Kullanılan Malzemelerin Görünümü

Metot

Bu çalışmada 3 farklı hafif agrega kullanılarak, her biri kendi içerisinde, polimer bileşenli kompozit yapıda 5 farklı karışım kombinasyonu tasarlanmıştır. Pomza agregalı seriler (PM1-PM5), volkanik cüruf agregalı seriler (VC1-VC5), Diyatomit agregalı seriler (DM1-DM5) olarak kodlandırılmıştır. Üç farklı hafif agrega türü kendi içinde ağırlıkça farklı çimento oranlarında (%26-%34) aralığında %2 artırmalı olarak kullanılmıştır. Toplamda her bir agrega türünün ana hammadde olarak kullanıldığı 15 farklı seride harç numuneleri hazırlanmıştır. Polimer bileşenli hafif agregalı bu serilerde %6 oranında mikronize kalsit ve %14 oranında genişletilmiş perlit dolgu malzemesi olarak kullanılmış ve bütün serilerde toplamda %20 oranında sabit tutulmuştur. Yine bütün serilerde söndürülmüş toz kireç malzemesi %8 oranında, polimer katkıları ise %5,5 oranında kullanılarak sabit tutulmuştur. Çalışmada teknik mukayesenin sağlanabilmesi amacıyla sabit %30 çimento oranında ve diğer bütün bileşenlerin aynı oranlarda kullanıldığı pomza agregalı (PM0), volkanik cüruf agregalı (VC0) ve diyatomit agregalı (DM0) kodlu kontrol harç örnekleri hazırlanmıştır. Bu harçlarda hiçbir polimer katkı kullanılmamıştır. Harç karışım tasarımları Tablo 3'te verilmiştir.

Deneysel çalışmada karışımların optimum su miktarının belirlenerek taze harç kıvamına getirilebilmesi amacıyla TS EN 1015-3 ve ASTM-C 230 standardına göre "flow table" yöntemi kullanılmıştır. Taze harç olarak elde edilen tüm karışımlar, TS EN 998-1 standardına göre 4x4x16 cm boyutundaki prizma kalıplara ve 20x40x5 cm boyutlu plaka kalıplara dökülerek uygun kütleme işlemleri yapılmıştır. 28 günlük kütleme işlemlerinden sonra numunelerin ısı iletkenlik katsayısı ve kuru birim hacim ağırlık gibi teknik özellikleri bu numuneler üzerinde analiz edilerek belirlenmiştir (Tablo 4). Bu çalışmadaki diğer bir irdeleme ise deney girdi verilerinin etkinliğini tespit etmek için SPSS yöntemi kullanılarak etkin parametreler belirlenmiştir. ANFİS ile veriler eğitilmiş ve deneysel verilerle sonuçlar kontrol edilmiştir.

Tablo 3. Harç Karışım Tasarımları, Ağırlıkça Yüzde (%) Kullanım Oranları

Bileşen	PM0 (Kontrol Harcı)	Polimer Bileşenli Pomza Agregalı Harç Karışım Tasarımları				
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
0-2 mm Pomza Agregası	42,0	40,50	38,50	36,50	34,50	32,50
Beyaz Çimento	30,0	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00
Sönmüş Toz Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Dolgu Malzemesi	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Polimer Katkı	--	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Bileşen	VC0 (Kontrol Harcı)	Polimer Bileşenli Volkanik Cüruf Agregalı Harç Karışım Tasarımları				
		VC1	VC2	VC3	VC4	VC5
0-2 mm Volkanik Cüruf Agregası	42,0	40,50	38,50	36,50	34,50	32,50
Beyaz Çimento	30,0	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00
Sönmüş Toz Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Dolgu Malzemesi	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Polimer Katkı	--	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Bileşen	DM0 (Kontrol Harcı)	Polimer Bileşenli Diyatomit Agregalı Harç Karışım Tasarımları				
		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
0-2 mm Diyatomit Agregası	42,0	40,50	38,50	36,50	34,50	32,50
Beyaz Çimento	30,0	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00
Sönmüş Toz Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Dolgu Malzemesi	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Polimer Katkı	--	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

ARAŞTIRMA BULGULARI

Taze Harç Kıvam Analizi

Taze harçların kıvam ölçümü için “flow table” metodu kullanılmıştır. Bu analiz TS EN 1015-3 ve ASTM C 230’a göre bu yöntemde, taze harç olarak karışımın uygun su oranı, ilk yayılma çapının ortalama 165 \pm 5 mm olması esas alınarak elde edilmiştir (Bekar vd., 2007). Polimer bileşenli kompozit yapıları pomza agregalı serilerde (PM1-PM5) su/katı oranı 0,75, volkanik cüruf agregalı serilerde (VC1-VC5) 0,70, diyatomit agregalı serilerde (DM1-DM5) 0,85 olarak tespit edilmiştir. Kontrol harçlarında ise su/katı oranı sırasıyla pomza agregalı serilerde (PM0) 0,70, volkanik cüruf agregalı serilerde (VC0) 0,65, diyatomit agregalı serilerde (DM0) ise 0,80 olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmış numunelere ait görünüm Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numunelerden Genel Görünüm

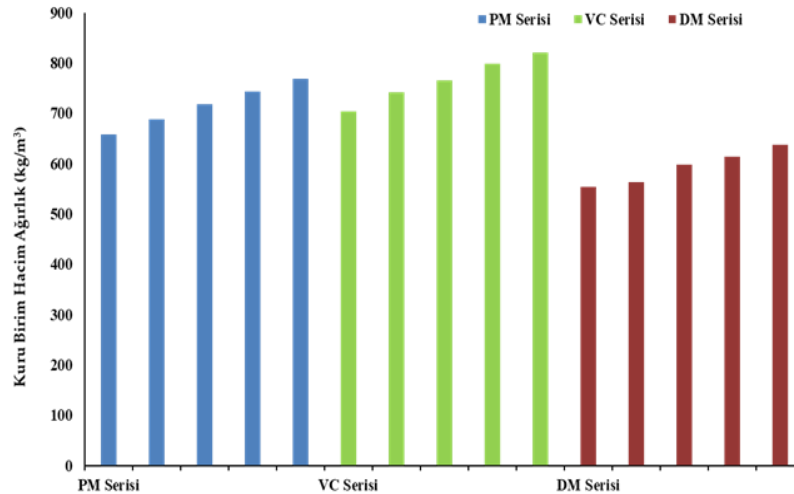
Kuru Birim Hacim Ağırlık Analizi

Bu çalışmada yapılan diğer bir analiz ise birim hacim ağırlık analizidir. Kontrol numunelerinin ve polimer bileşenli kompozit harç numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda birim hacim ağırlık değerleri TS EN 1015-10’a göre belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir. Isı yalıtım amaçlı üretilen harçların birçok teknik özelliği harçın birim hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle harçın ısı yalıtım özelliği ile ilgili

yorum yapabilmek için o harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlık özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmada her bir seriden 6 adet numunenin birim hacim ağırlıkları ölçülmüş ve aritmetik ortalama şeklinde sonuç değer belirlenmiştir. Bu bağlamda, kontrol harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri 751-968 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Çimento oranı %26'dan %34'e kadar farklı oranlardaki polimer katkılı kompozit yapıdaki harç numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri ise sırasıyla; pomzalı serilerde (PM1-PM5), 658-768 kg/m³, volkanik cüruf agregalı serilerde ise (VC1-VC5) 704-821 kg/m³, diyatomitli serilerde ise 554-638 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Sertleşmiş harç örneklerinin karşılaştırmalı kuru birim hacim ağırlıkları ile ilgili yapılan grafiksel analiz Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 4. Sertleşmiş Sıva Örneklerinin Analiz Bulguları

Pomzalı Seri	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı, λ (W/mK)
PM0	906	0,253
PM1	658	0,099
PM2	688	0,104
PM3	718	0,115
PM4	744	0,136
PM5	768	0,144
Volkanik Cürufllu Seri	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı, λ (W/mK)
VC0	968	0,288
VC1	704	0,111
VC2	742	0,142
VC3	766	0,156
VC4	798	0,161
VC5	821	0,188
Diyatomitli Seri	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı, λ (W/mK)
DM0	751	0,186
DM1	554	0,087
DM2	563	0,089
DM3	598	0,092
DM4	614	0,095
DM5	638	0,097



Şekil 3. Polimer Katkılı Harç Örneklerinin Karşılaştırmalı Kuru Birim Hacim Ağırlık Analizi

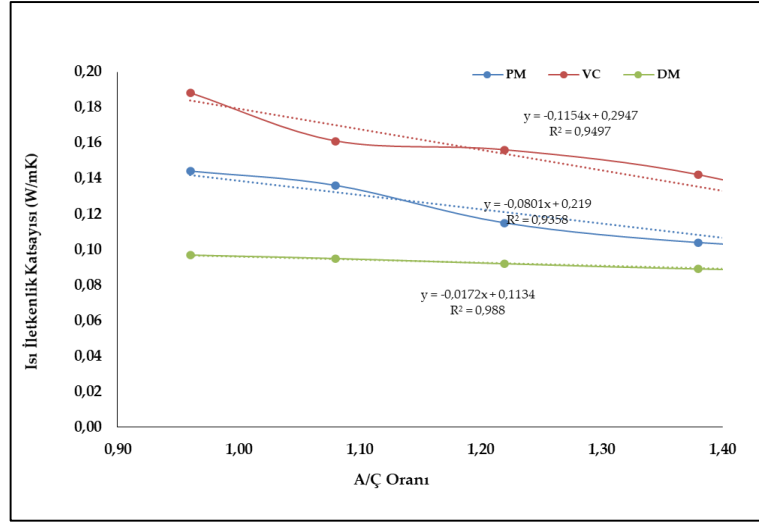
Daha önce yapılan deneysel çalışmalar ve literatür araştırmaları sonucuna göre; mikronize pomza ile üretilmiş polimer katkılı ısı yalıtımlı harçların kuru birim ağırlık değerlerinin 800 kg/m³ civarında ve daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür (Bekar vd., 2007; Şapcı vd. 2009). Bu çalışmada da üç farklı hafif agreganın ana hammadde olarak kullanıldığı polimer katkılı kompozit yapıdaki harçların kuru birim ağırlık değerlerinin 800 kg/m³'ün altında

kaldığı görülmüştür (VC5 hariç). Çalışmada farklı karışım tasarımlarındaki harç ürünlerde en hafif sıva numunesinin 554 kg/m^3 ile DM1 kodlu %26 çimento oranındaki diyatomit agregalı seri olduğu görülmüştür. Diyatomit agregalı serilerin diğer pomza ve volkanik cüruf agregalı serilere göre birim hacim ağırlıkları daha düşüktür. Şekil 3'teki grafiksel analizde de bu durum açık bir şekilde görülmektedir. Bunun esas nedeni; diyatomit agregalarının yığın yoğunluğunun diğer agregalara göre daha düşük olmasıdır. Birim ağırlık bazında teknik bir karşılaştırma yapmak gerekirse, ağırlıkça %30 çimentonun kullanıldığı kontrol harç örnekleri ile polimer katkılı %30 çimentolu kompozit harçların sayısal irdemeleri yapılmıştır. Pomza agregalı kontrol harçlarının birim hacim ağırlığı 906 kg/m^3 iken, aynı çimento oranında (%30) polimer katkılı pomza agregalı kompozit harçların birim hacim ağırlık değeri 718 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Volkanik cüruf agregalı kontrol harçlarında 968 kg/m^3 iken, polimer katkılı volkanik cüruf agregalı kompozit harçların 766 kg/m^3 , son olarak diyatomit agregalı kontrol harçlarında birim hacim ağırlık 751 kg/m^3 iken polimer bileşenli diyatomit agregalı kompozit harçlarda 598 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Hem ana hammaddelerin hafif agrega olarak birim hacim ağırlıklarının düşük olması, hem de karışımlarda kullanılan genişmiş perlit agregaları ciddi oranlarda sertleşmiş harçların birim hacim ağırlıklarını düşürmüştür. Ancak kontrol harçlarından farklı olarak ilave %5,5 oranında polimer katkı kullanılması kompozit yapıli harçların birim hacim ağırlıklarını daha da düşürmüştür. Polimer katkılı %30 çimento oranında kompozit harçların birim hacim ağırlık değerleri, aynı çimento oranındaki kontrol harç numunelerine göre yaklaşık olarak %20-%21 oranında azaldığı görülmüştür. Sertleşmiş harç numunelerinin birim hacim ağırlıklarının düşmesinde polimer katkılar oldukça önemli sonuçlar vermiştir. Özellikle karışım içerisinde %0,02 oranında kullanılan hava sürükleyici katkı, polimerizasyon süresince taze harç içerisinde boşluklar meydana getirmiş harcın yoğunluğunun düşmesinde etkili olmuştur. Ayrıca bütün toz polimer katkıların ana hammadde olarak kullanılan hafif agregalarla önemli ölçüde uyum sağladığı güçlü bir bağ oluşturarak harcın kıvamını dengelediği gözlemsel olarak da tespit edilmiştir.

Isı İletkenlik Analizi

Çalışmada yürütülen diğer bir inceleme ise; pomza, volkanik cüruf ve diyatomit agregası ile üretilen polimer katkılı kompozit yapıdaki harçların binaların iç ve dış cephe uygulamalarında kullanılması durumunda, ısı performans açısından sağladığı yalıtım ölçütleri incelenmiştir. Isı yalıtımlı harçların üretimi ve değerlendirilmesi günümüzde genellikle TS EN 998-1'e göre belirlenebilmektedir. Bu standarda göre ısı yalıtımı sağlayan harç grupları için 2 ayrı sınıf (T1-T2) belirtilmiştir. Bu değerlendirme harç gruplarının ısı iletkenlik değerleri kapsamında yapılmış olup, sınır değerler şu şekilde verilmiştir: T1 Sınıfı-Isıl İletkenlik Değeri: $\leq 0.10 \text{ W/mK}$, T2 Sınıfı-Isıl İletkenlik değeri: $\leq 0.20 \text{ W/mK}$ dir.

TS EN 998-1 standardında belirtildiği gibi, bir harç malzemesinin ısı iletkenlik katsayı değerinin bu iki gruptan birinde yer alması o harcın uygulamalarda ve/veya ürünlerde ısı yalıtımı da sağlayan harç olduğunu simgelemektedir. Bilindiği gibi bir malzemenin ısı yalıtım özelliğinin yüksek olması o malzemenin ısı iletkenlik katsayı değerinin düşük olması ile ilişkilendirilir (Şapcı & Gündüz, 2021). Bu çalışmada elde edilen tüm harç örneklerinin ısı iletkenlik katsayı değerleri "Mahfazalı Sıcak Kutu" metoduna göre ölçülmüş olup, parametrik değerler Tablo 4'te verilmiştir. Isı iletkenlik katsayı değeri en düşük kompozit harç grubu DM kodlu diyatomit agregalı serilerdir. Isı iletkenlik katsayı değerleri $0,087-0,097 \text{ W/mK}$ arasında değişmektedir. Bu bağlamda Diyatomit agregalı serilerin tamamı T1 grubu ısı yalıtım harç statüsünde değerlendirilebilmektedir. Dolayısıyla ısı yalıtım açısından en performanslı ürünün bu çalışmada diyatomit agregalı seriler olduğu görülmüştür. Bu durumun diyatomit agregalı serilerin düşük birim hacim ağırlıklarından kaynaklandığı söylenebilir. Volkanik cüruf ve pomza agregalı serilerinde, ısı iletkenlik katsayısı değerleri $0,20 \text{ W/mK}$ 'in altında olup, T2 grubu harç kategorisinde yer aldığını söylemek mümkündür.

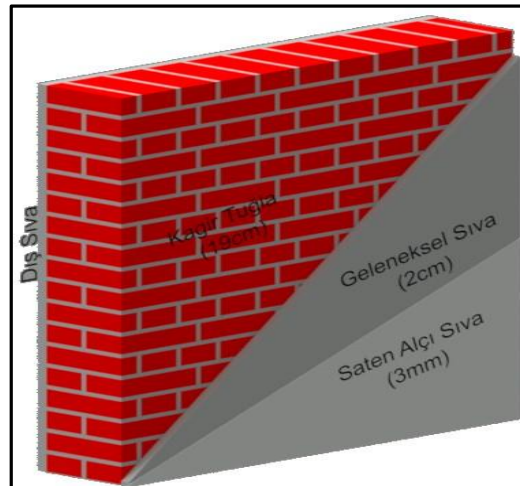


Şekil 4. Kompozit Yapılı Yalıtım Harçlarının A/Ç Oranına Göre Isı İletkenlik Analizi

Ayrıca, Agrega/Çimento (A/Ç) oran değişimine bağlı olarak yapılan grafiksel inceleme Şekil 4'te verilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, artan A/Ç oranında numunelerin ısı iletkenlik değerleri azalmaktadır. Diğer bir açıdan, karışımdaki çimento kullanım oranı arttıkça, harç örneklerinin ısı iletkenlik değeri artmakta olup ısıl konfor açısından performansı genel olarak azalmaktadır. Çünkü karışım içerisindeki çimento miktarı arttığından, sertleşmiş harç örneğinin kuru birim hacim ağırlık değeri artmaktadır. Ayrıca A/Ç oran değişimi ile numunelerin ısı iletkenlik katsayı değerleri arasında yüksek korelasyon değerinde lineer-doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Çıkarılan istatistiksel yaklaşımlarla, uygulamalarda optimize edilebilecek kombinasyondaki karışım parametrelerin kestirimi yapılarak, dizayn edilebilme olanağını sunabilmektedir.

Hafif Agregalı Harç Tasarımlarının Örnek Bir Duvar Kesitinde Isıl Konfor Performansının İncelenmesi

Deneysel çalışma kapsamında pomza, volkanik cüruf ve diatomit hafif agregalarının her birinin ana hammadde olarak kullanıldığı kompozit harç serileri oluşturulmuştur. Bu serilerden elde edilen sertleşmiş harç örneklerinin etüv kurusu birim hacim ağırlık değerleri ve Hot-Box metoduna göre ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4'te paylaşılmıştır. Bu çalışma da diğer bir irdeleme ise 3 farklı hafif agreganın kendi serileri içerisinde (PM serisi, VC serisi, DM serisi) ısı iletkenlik katsayısı en düşük olan kompozit harcın bir duvar kesitinden ısıl konfor özelliğini daha detaylı incelemek amacıyla, bu çalışmada Şekil 5'te verilen bir duvar modeli incelenmiştir. Bu duvar modelde, 19 cm kalınlığında bimsblok ($\lambda=0,24$ W/mK) bir duvar örgüsü üzerine, iç ortam kısmında 2 cm geleneksel iç sıva ($\lambda=0,85$ W/mK) uygulaması 3 mm kalınlığında saten alçı sıva uygulaması dikkate alınmıştır. Dış ortam kısmında ise 5 mm-35 mm kalınlık aralığında dış sıva uygulaması değerlendirilmiştir.



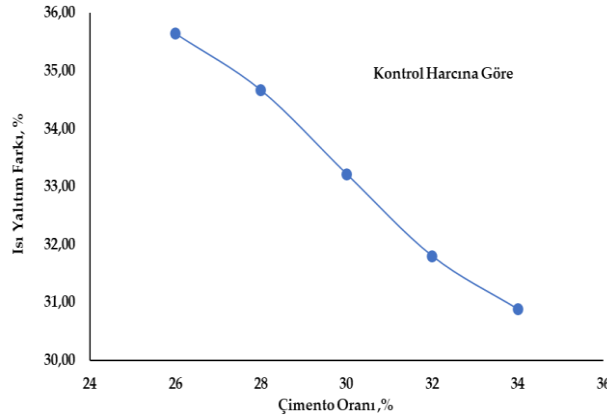
Şekil 5. Harçların Isı Yalıtım Değerlendirilmesinde Kullanılan Duvar Modeli Kesiti

Çalışmada ilk olarak pomzalı seriler, ikinci olarak volkanik cürüflü seriler üçüncü olarak ise diyatomitli seriler analiz edilmiştir. Bu analizde dış sıva uygulamasında sırasıyla, geleneksel dış sıva ($\lambda=1,20$ W/mK) kontrol harçları (pomzalı, volkanik cürüflü, diyatomitli) (PM0- $\lambda=0,253$ W/mK, VC0- $\lambda=0,288$ W/mK, DM0- $\lambda=0,186$ W/mK) ve polimer bileşenli yalıtım harçları pomzalı, volkanik cürüflü ve diyatomitli (PM1- $\lambda=0,099$ W/mK, VC1- $\lambda=0,111$ W/mK, DM1- $\lambda=0,087$ W/mK) ayrı ayrı uyarlanarak TS 825 standardına göre şekil 5’de verilen model duvar kesiti için ısı yalıtım değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. Bu analiz çalışmasından da görüldüğü gibi, farklı türden hafif agregaların ana hammadde olarak kullanılmasıyla üretilen kompozit yapıdaki yalıtım harçları, dış mekanda sıva harcı olarak uygulandığında uygulama kalınlığına bağlı olarak hem geleneksel sıvaya hem de kontrol harcına göre önemli oranlarda enerji verimliliği sağlamaktadır. Uygulama kalınlığı arttıkça, bu verimlilikte paralel olarak artmaktadır. Ancak, burada elde edilen değerler yalnızca bu model duvar kesitinin bir karakteristiğidir. Duvar modelinde yer alan bileşenler ve kalınlıkları arttıkça bu analiz sonuçları da muhakkak değişecektir.

Tablo 5. Farklı Kökenli Hafif Agregalardan Üretilen Kompozit Harçların Karşılaştırmalı Yalıtım Hesabı Analizi

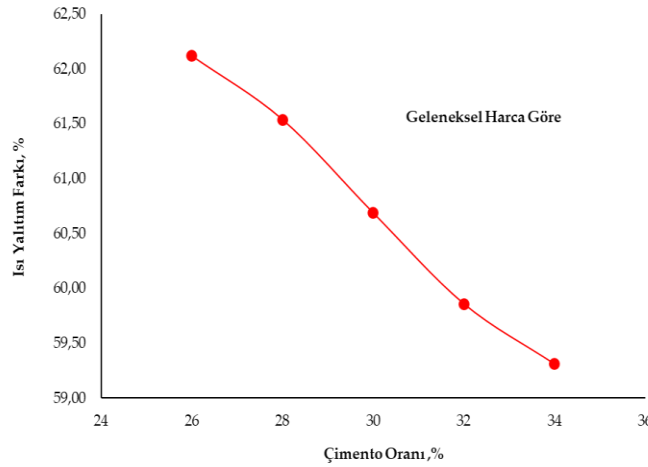
Pomza Agregalı (PM1) Kodlu Harcın Karşılaştırmalı Yalıtım Hesabı Analizi					
Dış Sıva Uygulama Kalınlığı (mm)	Isı Geçirgenlik Değeri, U, (W/m ² K)			Enerji Verimliliği, (%)	
	Geleneksel Sıva	Kontrol Harcı	Kompozit Yalıtım Harcı	Geleneksel Sıvaya Göre	Kontrol Harcına Göre
5	1,007	0,991	0,962	4,46	2,96
10	1,003	0,972	0,917	8,50	5,64
15	0,999	0,954	0,877	12,19	8,09
20	0,994	0,936	0,840	15,56	10,33
25	0,990	0,919	0,805	18,66	12,38
30	0,986	0,903	0,774	21,52	14,28
35	0,982	0,887	0,745	24,16	16,03
Volkanik Cüruf Agregalı (VC1) Kodlu Harcın Karşılaştırmalı Yalıtım Hesabı Analizi					
Dış Sıva Uygulama Kalınlığı (mm)	Isı Geçirgenlik Değeri, U, (W/m ² K)			Enerji Verimliliği, (%)	
	Geleneksel Sıva	Kontrol Harcı	Kompozit Yalıtım Harcı	Geleneksel Sıvaya Göre	Kontrol Harcına Göre
5	1,007	0,994	0,967	3,95	2,68
10	1,003	0,977	0,927	7,58	5,13
15	0,999	0,961	0,890	10,91	7,39
20	0,994	0,945	0,855	13,99	9,47
25	0,990	0,930	0,824	16,83	11,40
30	0,986	0,915	0,794	19,48	13,19
35	0,982	0,901	0,767	21,94	14,86
Diyatomit Agregalı (DM1) Kodlu Harcın Karşılaştırmalı Yalıtım Hesabı Analizi					
Dış Sıva Uygulama Kalınlığı (mm)	Isı Geçirgenlik Değeri, U, (W/m ² K)			Enerji Verimliliği, (%)	
	Geleneksel Sıva	Kontrol Harcı	Kompozit Yalıtım Harcı	Geleneksel Sıvaya Göre	Kontrol Harcına Göre
5	1,007	0,984	0,956	5,09	2,92
10	1,003	0,959	0,906	9,66	5,54
15	0,999	0,935	0,861	13,77	7,90
20	0,994	0,912	0,820	17,49	10,04
25	0,990	0,890	0,784	20,88	11,98
30	0,986	0,869	0,750	23,98	13,76
35	0,982	0,850	0,719	26,82	15,39

Bu çalışmada sonuçların daha net bir şekilde görülebilmesi için, diğer bir ısı yalıtımı değerlendirme analizi ise, deneysel çalışmalarda ısıl performans özelliği en yüksek harç grubu olan diyatomit agregalı serilere ait kompozit yalıtım harçlarının, birim eleman kapsamında 3 cm uygulama kalınlığında, kontrol harcına ve geleneksel harca göre enerji verimliliği çimento kullanım oranına bağlı olarak grafiksel olarak analiz edilmiştir (Şekil 6-Şekil 7). Burada geleneksel harç için ısı iletkenlik katsayı değeri ($\lambda=1,20$ W/mK), diyatomit agregalı kontrol harç serisi için ısı iletkenlik katsayı değeri ($\lambda=0,186$ W/mK) olarak esas alınmıştır.



Şekil 6. Diyatomitli Kompozit Yalıtım Harç Örneklerinin Kontrol Harcına Enerji Verimliliği Analizi

Bu iki grafiksel analiz incelendiğinde, en düşük çimento kullanım oranında bile (%26), kontrol harcına göre yaklaşık olarak %35,65'lik bir ısı yalıtım farkı oluştururken bu oran geleneksel harca göre yaklaşık olarak %62,12'lik bir ısı yalıtım farkı oluşturmuştur.



Şekil 7. Diyatomitli Kompozit Yalıtım Harç Örneklerinin Geleneksel Harca Göre Enerji Verimliliği Analizi

Bu grafiklerden de görüldüğü üzere kompozit harç karışımlarında çimento kullanım oranı, ısıl performans açısından belirleyici bir etken olarak gözlenmektedir. Yüksek oranda çimento kullanımının, malzemenin ısı yalıtım özelliğini düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca DM1 serisinin bugün inşaat endüstrisinde uygulanan geleneksel harçlara göre yaklaşık %60 dan fazla ısı yalıtım sağladığını söylemek mümkün olabilmektedir.

SPSS Analizi

Bu çalışmadaki diğer bir inceleme ise; SPSS (V26) programında Pomza (PM), Volkanik Cüruf (VC) ve Diyatomit (DM) agrega karışım oranları için lineer regresyon analizi yapılmıştır. Pomza, Volkanik Cüruf ve Diyatomit agrega ve Polimer Katkı (PK) değerleri girdi olarak alınmıştır. Agrega yüzdesinin artmasıyla orantılı olarak azaltılan çimento miktarı ile sabit değer olarak alınan sönmüş kireç ve dolgu malzemeleri de değişken girdi değerlerine dahil edilmemiştir. Çıktı değeri olarak kuru birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayılarının hesaplanmasında

kullanılacak denklemler belirlenmiştir. SPSS analizi sonucunda elde edilen lineer denklem katsayıları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. SPSS Programı Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Isı İletkenlik Lineer Denklem Katsayıları

	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı, λ (W/mK)
Sabit Değer (Constant)	1424,5	0,4671
Pomza Agregası	-12,42	-0,0053
Volkanik Cüruf Agregası	-11,02	-0,0045
Diyatomit Agregası	-15,81	-0,0062
Polimer Katkı	-46,43	-0,0274

$$\text{BHA}=1424.5-12.42*PM-11.02*VC-15.81*DM-15.81*PK \quad (1)$$

$$\text{Isı İletkenlik Katsayısı}=0.4671 - 0.0053*PM - 0.0045VC-0.0062DM-0.0274*PK \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2 kullanılarak hesaplanan kuru bha ve ısı iletkenlik katsayısı ile deney sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Ortalama % hata değerleri BHA için %1.16 ve ısı iletkenlik katsayısı için %7.65 olarak belirlenmiştir. Bu lineer denklem katsayıları kullanılarak deney verilerine çok yakın sonuçların hesaplanabileceği görülmektedir.

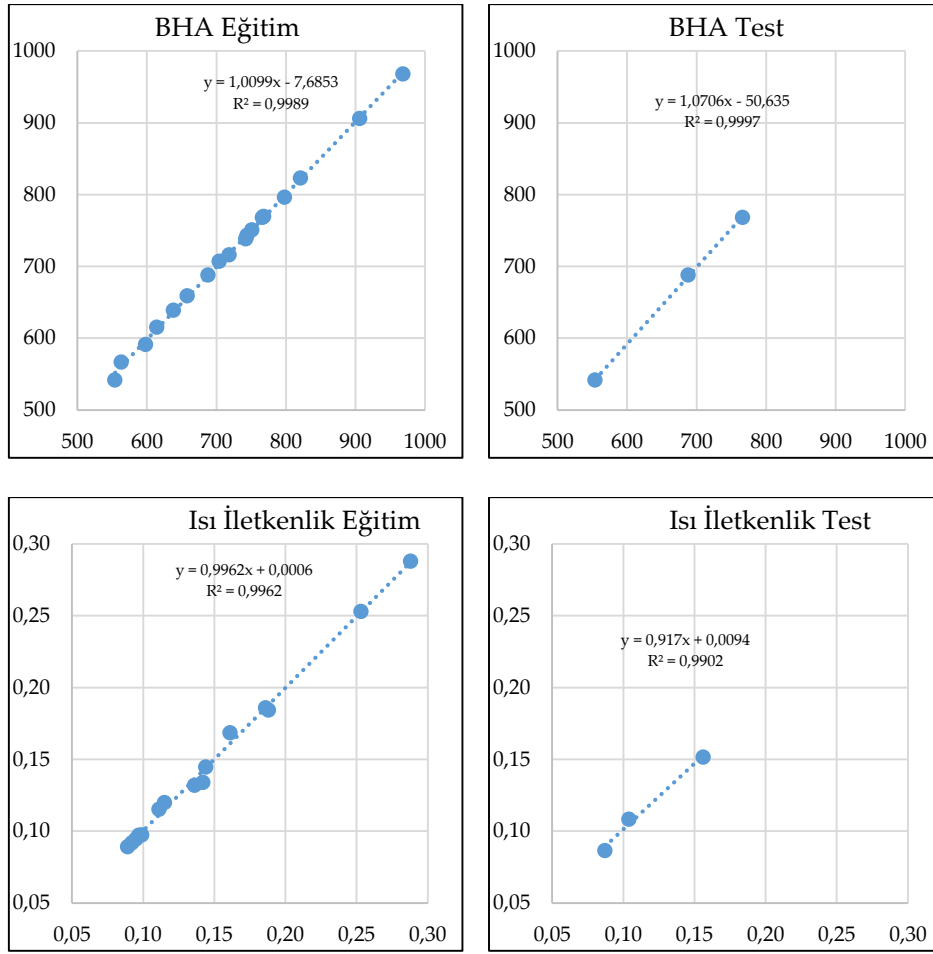
Tablo 7. Deney Verileri ve SPSS Lineer Denklem Analiz Sonuçları

Numune No	Pomza Agregası	Volkanik Cüruf Agregası	Diyatomit Agregası	Polimer Katkı (%)	BHA (kg/m ³)	BHA Regresyon (kg/m ³)	Hata Oranı %	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Isı İletkenlik Katsayısı Regresyon (W/mK)	Hata Oranı %
PM0	42,0	0	0	0	906	903	0,37	0,253	0,243	3,89
PM1	40,5	0	0	5,5	658	666	1,21	0,099	0,100	1,48
PM3	38,5	0	0	5,5	688	691	0,41	0,104	0,111	6,85
PM4	36,5	0	0	5,5	718	716	0,33	0,115	0,122	5,90
PM5	34,5	0	0	5,5	744	741	0,47	0,136	0,132	2,61
VC0	32,5	0	0	5,5	768	765	0,34	0,144	0,143	0,62
VC1	0	42,0	0	0	968	962	0,65	0,288	0,279	3,17
VC2	0	40,5	0	5,5	704	723	2,67	0,111	0,135	21,52
VC4	0	38,5	0	5,5	742	745	0,39	0,142	0,144	1,30
VC5	0	36,5	0	5,5	766	767	0,12	0,156	0,153	2,04
DM0	0	34,5	0	5,5	798	789	1,13	0,161	0,162	0,48
DM2	0	32,5	0	5,5	821	811	1,22	0,188	0,171	9,19
DM3	0	0	42,0	0	751	761	1,28	0,186	0,205	10,19
DM4	0	0	40,5	5,5	554	529	4,51	0,087	0,064	26,89
DM5	0	0	38,5	5,5	563	561	0,42	0,089	0,076	14,51
PM0	0	0	36,5	5,5	598	592	0,97	0,092	0,089	3,73
PM1	0	0	34,5	5,5	614	624	1,60	0,095	0,101	6,37
PM3	0	0	32,5	5,5	638	655	2,73	0,097	0,114	17,04
Ortalama hata %							1,16			7,65

Tablo 8. Deney ve Test Verileri ANFİS Sonuçları

Deney No	Ponza	Volkanik curuf	Diyatomit	0-2 mm Ponza 0-2 mm Volkanik Cüruf 0-2 mm Diyatomit	Polimer Katkı	BHA (kg/m ³)	Anfis BHA	Hata oranı %	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Anfis Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Hata oranı %	
Eğitim Verileri ANFİS	PM0	42,0	0	0	42,0	0,0	906	906,0	0,00	0,253	0,253	0,00
	PM1	40,5	0	0	40,5	5,5	658	659,2	0,18	0,099	0,097	1,52
	PM3	36,5	0	0	36,5	5,5	718	716,0	0,28	0,115	0,120	4,29
	PM4	34,5	0	0	34,5	5,5	744	743,2	0,11	0,136	0,132	2,96
	PM5	32,5	0	0	32,5	5,5	768	769,6	0,21	0,144	0,145	0,42
	VC0	0	42,0	0	42,0	0,0	968	968,0	0,00	0,288	0,288	0,00
	VC1	0	40,5	0	40,5	5,5	704	707,0	0,43	0,111	0,115	3,79
	VC2	0	38,5	0	38,5	5,5	742	738,4	0,49	0,142	0,134	5,71
	VC4	0	34,5	0	34,5	5,5	798	796,4	0,20	0,161	0,168	4,63
	VC5	0	32,5	0	32,5	5,5	821	823,2	0,27	0,188	0,184	1,88
	DM0	0	0	42,0	42,0	0,0	751	751,0	0,00	0,186	0,186	0,00
	DM2	0	0	38,5	38,5	5,5	563	566,8	0,68	0,089	0,089	0,22
	DM3	0	0	36,5	36,5	5,5	598	591,4	1,10	0,092	0,092	0,11
	DM4	0	0	34,5	34,5	5,5	614	615,6	0,25	0,095	0,095	0,42
	DM5	0	0	32,5	32,5	5,5	638	639,2	0,19	0,097	0,097	0,31
Ortalama Hata %								0,29			1,75	
Test Verileri ANFİS	PM2	38,5	0	0	38,5	5,5	688	688,0	0,00	0,104	0,108	4,29
	VC3	0	36,5	0	36,5	5,5	766	768,1	0,28	0,156	0,152	2,81
	DM1	0	0	40,5	40,5	5,5	554	541,7	2,22	0,087	0,086	0,58
Ortalama Hata %								0,83			2,56	

MATLAB programında ANFİS ile birim hacim ağırlık (BHA) ve ısı iletkenlik katsayılarının agrega tür ve oranı, polimer katkı oranı ile ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Girdi değeri olarak agrega tür ve oranı ile polimer katkı oranı girdi değeri olarak alınmıştır. Kompozit harç agrega miktarı ile orantılı değişen beyaz çimento miktarı ve sabit değer olarak alınan sönmüş toz kireç ve dolgu malzemesi değişken olarak tanımlanmamıştır. 18 deney verisinden 15 tanesi eğitim verisi, 3 tanesi de test verisi olarak alınmıştır. ANFİS programında her katmanda 3 alt katmana bölünerek verilerin eğitimi sağlanmıştır. ANFİS sonuç değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Birim hacim ağırlık için %0,29 ve ısı iletkenlik katsayısı için %1,75 hata oranı elde edilmiştir. Test verileri ile sonuç doğrulaması yapılmış ve hata oranları test verileri için %0,83 ve %2,56 olmuştur. Eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması Şekil 8’de verilmiş ve hem eğitim verilerinde hem de test verilerinde %99 oranının da modelin doğruluğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Eğitim Verileri ve Test Verilerinin Karşılaştırılması

SONUÇLAR

Bu araştırma çalışmasında üç farklı hafif, doğal ve gözenekli agrega kullanılarak polimer bileşenli kompozit yapıda toplamda 15 farklı harç karışım tasarımı yapılmış ve hafif formda harçlar üretilmiştir. Çalışmada pomza agregalı seriler (PM1-PM5), volkanik cüruf agregalı seriler (VC1-VC5), diyatomit agregalı seriler (DM1-DM5) olarak kodlanmıştır. Ayrıca teknik karşılaştırmanın yapılabilmesi içinde polimer katkıların kullanılmadığı kontrol harçları geliştirilmiş ve elde edilen teknik bulgular irdelenmiştir. Özellikle üretilen bu harçların deneysel çalışma sonuçlarına göre ısıl özellikleri üzerinde karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır.

Konu ile ilgili yapılan literatür araştırmalarında farklı hammaddelerle kompozit yapı harç üretim çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Genellikle bu harçların fiziksel ve mekanik özellikleri analiz edilmiştir. Ancak bu kategorideki örnek numunelerin termal özellikleri ile ilgili çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada özellikle doğal malzemelerle ısı yalıtımlı harçların üretilebileceği görülmüştür. Çalışmada farklı tür hafif agregalarla geliştirilen hafif ve kompozit yapıdaki harç formlarının ısı yalıtım özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak pomza, volkanik cüruf ve diyatomit agregasının ana hammadde olarak kullanıldığı bütün polimer bileşenli harçların TS EN 998-1'e göre T Grubu ısı yalıtımlı harç kategorisinde değerlendirilebileceği görülmüştür. Ancak polimer bileşenli pomza ve volkanik cüruf serilerin (PM1-PM5 ve VC1-VC5) ısı iletkenlik katsayısı değerleri 0,20 W/mK'in altında kaldığı için T2 grubu harç kategorisinde değerlendirilirken, polimer bileşenli diyatomit agregalı serilerin (DM1-DM5) ısı iletkenlik katsayısı 0,10 W/mK'nin altında kalmaktadır ve T1 grubu ısı yalıtım harç kategorisinde değerlendirilebilmektedir.

Kontrol harç serilerinde ise sırasıyla pomza agregalı harcın (PM0) ısı iletkenlik katsayısı 0,253 W/mK, volkanik cüruf agregalı harcın (VC0) 0,288 W/mK ve diyatomit agregalı kontrol harcının ise 0,186 W/mK olarak ölçülmüştür. Burada pomza ve volkanik cüruf agregalı kontrol harçların tek başına ısı yalıtımlı harç olarak değerlendirilemeyeceğini söylemek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada özellikle Diyatomit agregaları ile

geliştirilen polimer katkılı kompozit yapıdaki harçların ısısal konfor özelliklerinin yüksek olduğu elde edilen teknik bulgular ve deneysel çalışmalarda gözlemler sırasında açık bir şekilde görülmüştür. Örneğin TS 825 standardına göre model duvar kesiti için ısı yalıtım değerlendirme yapıldığında Diatomit agregalı polimer katkılı harcın 3 cm uygulama kalınlığında geleneksel harca göre %23,98, kontrol harcına göre %13,76 oranında enerji verimli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada toz şeklindeki polimer katkıların harçların birim hacim ağırlığının düşürülmesi, kıvam ve aderans özelliklerinin iyileştirilmesinde mükemmel bir performans sağladığı görülmüştür.

Ayrıca bu çalışmada SPSS ve ANFİS yöntemleri kullanılarak etkin parametreler belirlenmiş ve analiz verileriyle sonuçlar kontrol edilmiştir. Yöntemde 18 deney verisinden 15 tanesi eğitim verisi, 3 tanesi de test verisi olarak alınmıştır. ANFİS programında her katmanda 3 alt katmana bölünerek verilerin eğitimi sağlanmıştır. Sonuçta, BHA için %0.29 ve ısı iletkenlik katsayı için %1.75 hata oranı elde edilmiştir. Test verileri ile sonuç doğrulaması yapılmış ve hata oranları test verileri için %0.83 ve %2.56 olmuştur. Eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması yapılmış ve hem eğitim verilerinde hem de test verilerinde %99 oranının da modelin doğruluğu belirlenmiştir. Böylece deney ölçümlerinde yapılan hataların (ortam şartları, ölçüm aleti hassasiyeti gibi) sonuçların değerlendirilmesindeki etkisinin en aza indirilmesi için SPSS ve ANFİS modellerini kullanmak bu çalışma açısından oldukça etkili olmuştur.

Bu çalışma bulguları, polimer bileşenlerin ve karışımlarda kullanılan dolgu malzemesi ve söndürülmüş toz kirecin sabit miktarlarda kullanımı sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmanın daha detay bir incelemesi olarak, değişen dolgu malzemesi ve polimer bileşenleri oranlarında benzer çalışmaların yapılması tavsiye edilebilir. Ayrıca kullanılan hafif agregaların türleri ve boyut aralıkları daha da genişletilerek, farklı boyut dağılımlarında da deneysel çalışmalar yapılması, farklı sonuçların elde edilmesine olanak sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Aruntaş, H.Y. (1996). Diatomit Özellikleri, Kullanım Alanları İnşaat Sektöründeki Yeri. *Çimento ve Beton Dünyası* 1(4):27–32.
- ASTM C230/C230M-08, (2008). Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bilgin, F., & Arıcı, M. (2017). Effect of Phase Change Materials on Time Lag, Decrement Factor and Heat-Saving. *Acta Phys Pol A*, 132(3):1102–1105
- Demirdağ, S., & Gunduz., L. (2008). Strength Properties of Volcanic Slag Aggregate Lightweight Concrete for High Performance Masonry Units. *Construction Building Materilas*, 22(3):135–142.
- 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 Composite*, Vol.29, No.8, pp. 594-602.
- Gündüz, L., & Kalkan, O. Ş. (2016). Diatomit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerinin Gelişimine Etkisi. 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya, s.284-294, 13-14.
- Gündüz, L., & Kalkan, O. Ş. (2019). A Technical Evaluation on the Determination of Thermal Comfortparametric Properties of Differenet Originated Expanded and Exfoliated Aggregates. *Arabian Journal of Geosciences*, 12:119.
- Gündüz, L., & Kalkan, Ş.O. (2022). The Effect of Diferent Natural Porous Aggregates on Thermal Characteristic Feature in Cementitious Lightweight Mortars for Sustainable Buildings. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions Of Civil Engineering*, 47:843-861, <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00937-3>.
- Kilincarslan, Ş., Davraz, M., Akça, M. (2018). The Effect of Pumice as Aggregate on the Mechanical and Thermal Properties of Foam Concrete. *Arabian Journal of Geosciences*, 11:289, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3627-y>
- Mineral Commodity Summaries 2009. (2009). In Mineral Commodity Summaries. <https://doi.org/10.3133/mineral2009>.
- Özbey, G., & Atamer, N. (1987). Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler. 10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, Ankara, pp 493–502, https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/aeae10ea1c6433c_ek.pdf [in Turkish].
- Şapcı, N., vd. (2009). Mikronize Andezitin Yalıtım Amaçlı Kompozit Harç Üretiminde Değerlendirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, s.77-88, 1-2 Aralık.

Şapcı, N., & Gündüz, L. (2021). An Investigation on the use of Pumice Formations in the Kayseri Region in the Production of Insulating Composite Mortar. International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'21), Bandırma/Balıkesir, s.69-83, 22-25 Şubat.

Şapcı, N. (2022). Examining the Effect of Pumice Aggregate in the Production of Energy Efficient Composite Plasters. 2nd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'22), Bandırma/Balıkesir. s1217-1219, 2-5 Mart.

TS 825, Mayıs 2008 Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara, TSE.

TS EN 998-1, (2006). Kâgir harcı-Özellikler-Bölüm 1: Kaba ve İnce Sıva Harcı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1015-3, (2000). Kâgir Harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası İle). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1015-10, (2001). Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Wu MH, Ng TS, Skitmore MR (2016). Sustainable Building Envelope Design By Considering Energy Cost And Occupant Satisfaction. Energy Sustain Dev 31:118–129

Yıldırım, T.Z.& Baba, E. (2018). Bims Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Hafif Kompozit Harçların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1 (1): (2018) 47-52.