



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BİNALARDA KULLANILAN EPS YALITIM MALZEMESİNİN FARKLI YOĞUNLUKLARA GÖRE ISIL İLETKENLİĞİNİN DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

HÜSAMETTİN TAN
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ

BATTAL DOĞAN
T.C. ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI



BİNALARDA KULLANILAN EPS YALITIM MALZEMESİNİN FARKLI YOĞUNLUKLARA GÖRE ISIL İLETKENLİĞİNİN DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

The Numerical and Experimental Investigation of Thermal Conductivity of EPS Insulation Material Used in Buildings According to Different Density

**HÜSAMETTİN TAN
BATTAL DOĞAN**

ÖZET

Binalarda enerji kayıplarının azaltılması günümüzde önemli bir konudur. Bu amaçla enerji kayıplarını azaltmak için uygun ısı yalıtım malzemesinin kullanılması gerekir. Bu çalışmada binalarda kullanılan EPS yalıtım malzemesinin içyapı görüntüleri kullanılarak elde edilen 2 boyutlu çizimlerin sayısal analiz sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Ek olarak farklı yoğunluktaki malzemenin ısı iletkenliği nasıl etkilediği incelenmiştir. Sonuç olarak her yoğunluk değeri için örnek bir binanın 3 farklı bölgede olması durumunda özgül ısı kaybı belirlenerek farklı yoğunluk değerindeki yalıtım malzemesinin ısıtma ihtiyacını ne oranda etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl iletkenlik, EPS, Sayısal analiz, Gözeneklilik

ABSTRACT

Nowadays, reducing energy losses in buildings is an important issue. Therefore, appropriate heat insulation material must be used to reduce energy losses. In this study, the comparison of numerical analysis, which is made from two dimension drawings, with experimental results were made by using internal structure images of EPS insulation materials. Additionally, thermal conductivity of EPS was investigated according to different mass density. Consequently, specific heat loss was determined in the case of 3 different regions for sample building and it is determined how the insulation material that have different density values influence the heating requirement.

Key Words: Thermal conductivity, EPS, Numerical analysis, Porosity

1.GİRİŞ

Dünyadaki nüfus artışı ve sanayinin gelişmesi enerji tüketimini ve enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu artış enerji kaynaklarının tükenmesine ve ağır çevresel hasarlara yol açmaktadır. Kaynakların kısıtlı olması ve çevresel etkilerin azaltılması için enerjiyi verimli kullanmak gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %30'u binalarda meydana gelmektedir[1-3]. Enerji tüketiminde oldukça yüksek bir orana sahip olan binalarda enerji tüketiminin azaltılması önemlidir. Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısınma ve soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Isıtma sistemlerinde enerji sağlamak için kullanılan yakıtların yanması sonucu zehirli gazlar ortaya çıkmakta ve çevresel zararlara neden olmaktadır. Binalarda ısı kayıplarını en aza indirerek enerjiyi verimli kullanmak için yapılan ısı yalıtımı günümüzde oldukça önem kazanmaktadır.

Isı yalıtım ısı kayıplarının en aza indirilmesi ve konforlu ortamlarda yaşamak amacıyla binaların dış cephelerinde, kapılarda, çatılarda, döşemelerde ve tesisatlarında yapılan uygulamadır. Binalarda yalıtım ısı, ses, elektrik, su ve yangın gibi birçok amaç için kullanılabilir. Enerji tüketiminin büyük bir kısmını binalar oluşturduğu için son yıllarda yalıtım konusu oldukça popüler olmuştur. Isı yalıtımından etkin verim almak için, binanın bulunduğu bölgenin iklim şartları dikkate alınarak uygun yalıtım malzemesi seçimi yapılmalıdır. Yalıtım malzemelerinde en önemli husus ısı iletkenliğinin düşük olmasıdır. Isıl iletkenliğin azalması sonucunda ısı kaybı azalarak enerji tüketimi azalacaktır. Bu konuda özellikle düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle köpük yalıtım malzemeleri popüler hale gelmiştir.

Isı yalıtımı binalarda genellikle dış duvarlara ve çatılara uygulanmaktadır. Binalara yapılacak yalıtım malzemesinin kalınlığı ne kadar çok olursa enerji tüketimi azalacaktır. Ancak yalıtım kalınlığının artması maliyetleri arttırmaktadır. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığının yalıtım malzemeleri için belirlenmesi gerekir. Literatürde Isınma ve soğutma yüklerinin belirlenerek statik koşullarda farklı konseptlere göre optimum yalıtım kalınlığını belirlemeye yönelik birçok çalışma olmuştur[4-11]. Optimum yalıtım kalınlığı kullanılan yakıt çeşidi, bölgeden bölgeye ve yapı elemanlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Optimum yalıtım kalınlığının aynı yakıt türü için bölgeden bölgeye nasıl değiştiği belirlenmiştir[7, 8, 10]. Kullanılan yakıt türüne göre optimum yalıtım kalınlığı değişim göstermekte, bununla ilgili de çalışmalar yapılmıştır[6, 9, 12]. Optimum yalıtım kalınlığı farklı yapı elemanlarına göre de değişim göstermektedir[13]. Yapılan çalışmalarda genelde gözenekli malzemelerdeki ısı transferi hesaplamalarında nemin depolanması ve transferi ihmal edilmektedir. Nemin transferi ve depolanmasının ısı yalıtım direncine iletilen ısı yükleri bakımından önemli ölçüde etki ettiği belirlenmiştir[14-16]. Nemin ısı yüklerine olan etkisi dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı farklı bölgeler için bulunmuş ve nemin etkisi olmadan yapılan çalışmayla karşılaştırılmıştır[17].

Malzemelerin ısı iletkenlikleri mikroskobik ve makroskobik ölçüde belli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Mikroskobik boyutlarda bir malzemenin ısı iletkenliği hücre büyüklüğü, çapı, hücrelerin dizilişine, ısı ışınım özelliğine ve yapıştırıcı malzemenin özelliğine bağlı olarak değişmektedir[18]. Malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklık, nem, gözeneklilik ve içyapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Yoğunluğa ve üretim parametrelerine göre malzemelerin mekanik özelliklerinin ve ısı iletkenliğinin değişimi belirlenmiştir[19]. Yoğunluğun[20] ve malzeme kalınlığının malzemenin ısı iletkenliğe etkisi deneysel olarak araştırılmıştır[21]. Malzemelerdeki nem içeriği belirlenerek ısı iletkenliğinin değişimine bakmak enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Malzemenin içerisindeki nem miktarı kuru ve ıslak iken ölçülen ağırlığından bulunabildiği gibi son zamanlarda uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır[22]. Kuru ve ıslak haldeki malzemelerin ısı iletkenliğinin ne kadar değiştiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir[23, 24]. Bazı yalıtım malzemelerinde su emme, nem kapasitesi, gözenekliliği, yoğunluğu, özgül ısı, su tutma özelliği ve ısı iletkenlik gibi özellikler belirlenmiştir[25]. EPS malzemesinin nem ile birlikte farklı yoğunlukta ısı iletkenliği ve su emme özelliği incelenmiştir[26]. Isıl iletkenlik sayısal olarak bilgisayar ortamında belirlenirken malzemenin içyapısının düzgün olarak tasarlanması gerekir. Ancak içyapı tasarımında malzeme yapısına bağlı olarak zorluklar meydana gelmektedir. EPS malzemesinin birçok SEM görüntüsü incelenerek ortalama çap ve uzunluklar belirlenip, bu doğrultuda basit geometride içyapı çizimleri yapılmıştır[27-29].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı iklim şartları, yakıt türleri ve farklı yapı elemanları için EPS yalıtım malzemesinin optimum yalıtım kalınlığı incelenmiştir. EPS yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin nem, sıcaklık ve gözeneklilik ile değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada organik bir yalıtım malzemesi olan EPS'nin ısı iletkenliği mikro düzeyde içyapısı elektron mikroskop(SEM) ile incelenip sayısal olarak belirlenmiştir. Sayısal olarak ısı iletkenliği belirlenmesinde EPS içerisindeki hava ve stirenin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değiştiği dikkate alınarak sonlu eleman esaslı bir program kullanılarak ısı iletkenlik belirlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen ısı iletkenlik değeri ve sayısal olarak belirlenen ısı iletkenlik değerleri karşılaştırılarak hata oranları belirlenmiştir. Ayrıca yoğunluğa göre ısı iletkenliğinin değişimi dikkate alınarak binalarda enerji kayıplarını hangi oranda etkilediği tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Genleştirilmiş Polistren Sert Köpük(EPS)

Genel olarak yalıtım malzemelerini organik, inorganik, karma ve diğer malzemeler olmak üzere 4'e ayırılır[23]. EPS yalıtım malzemesi organik bir yalıtım malzemesi olup, polistren hammaddesinin geniştilererek ve kalıplanarak blok haline getirilmesi ile oluşan ısı yalıtım malzemesidir. Malzemenin %98'i hareketsiz hava, %2'si polistrendir. İçerisinde bulunan yüksek miktardaki hava malzemenin ısı iletkenliğini büyük ölçüde azaltır. Şişirici gaz olarak içerisinde organik ve çevreye zarar vermeyen pentan gazı kullanılmaktadır.

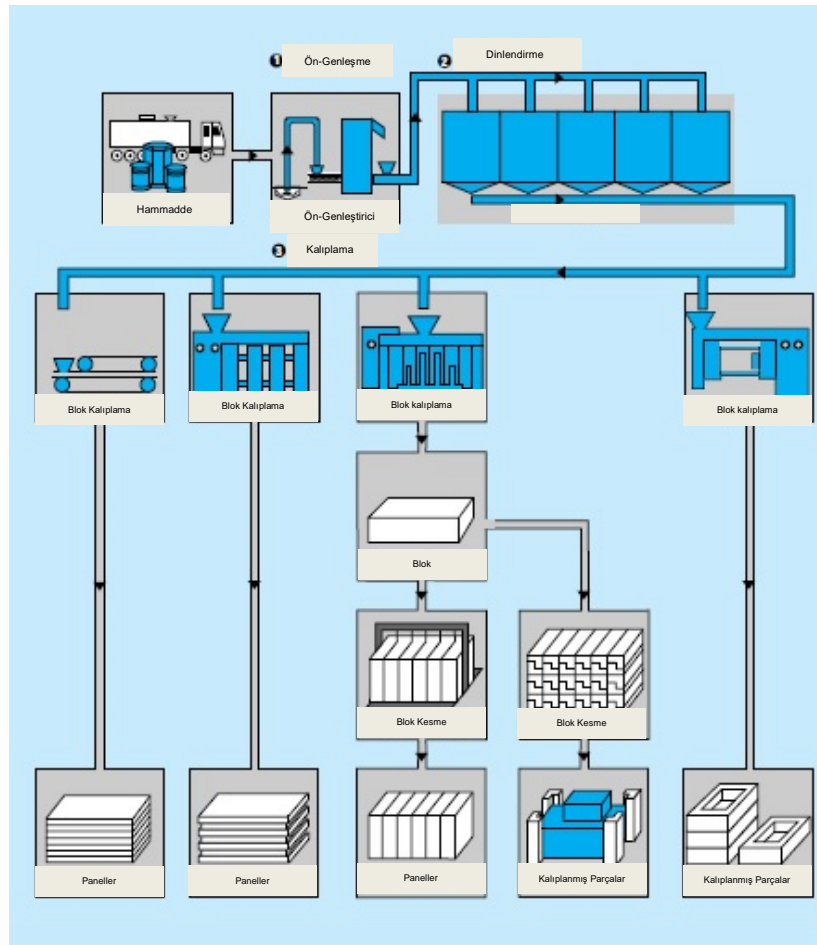
EPS yalıtım malzemesinin üretim aşaması 3 ana kısımdan oluşur[30].

1.Ön-genleşme: Birbirinden bağımsız kuru polistren tanecikleri buhara maruz bırakılarak daha büyük tanecikler oluşturmak üzere geniştilerilmektedir.

2.Dinlendirme: Genleşme işleminden sonra tanecikler buhar ve pentan gazını içermektedir. Soğumaya bırakılarak havanın buhar ve pentan gazının yerine geçmesi sağlanır.

3.Kalıplama: Tanecikler kullanılmak istenildiği yere göre ürünler oluşturmak üzere kalıplanır. Kalıplama buharında genişmeyi sağlayarak kullanılması ile birlikte köpüğün şekillenmesi kolaylaşmaktadır.

EPS'nin üretim aşamaları şematik olarak şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. EPS şematik üretim aşamaları[30]

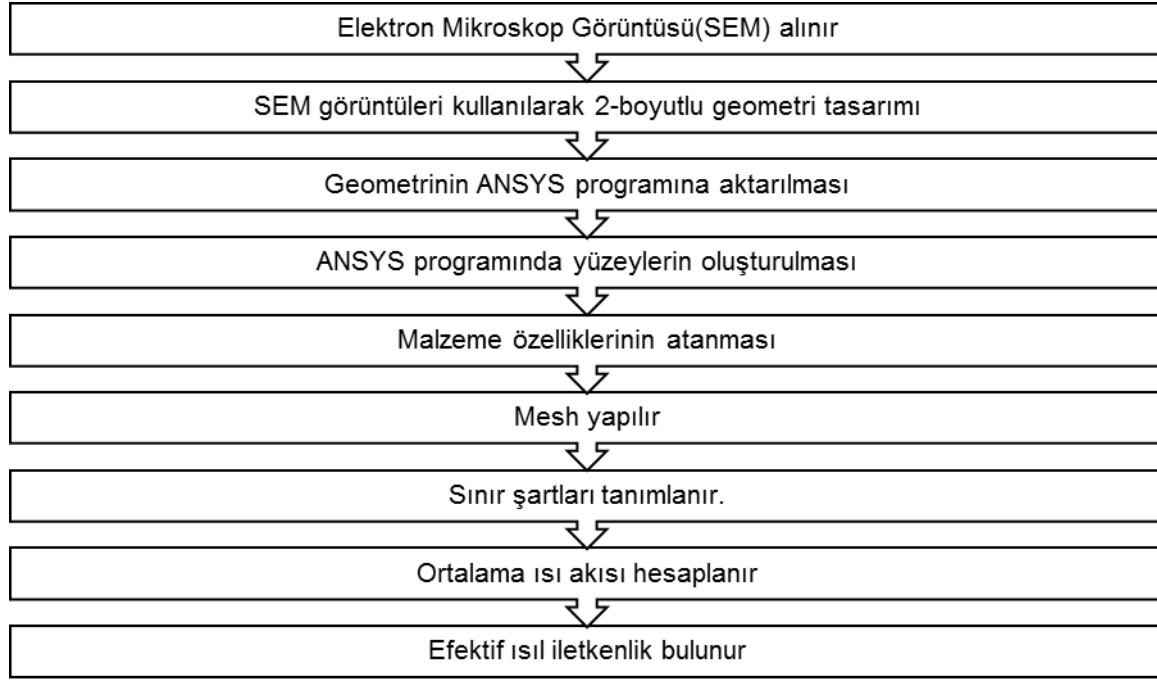
EPS yalıtım malzemesi genellikle $16-30 \text{ kg/m}^3$ yoğunluk değerleri arasında üretilmektedir. Yoğunluğun artması sonucunda ısı iletkenlik değeri azalmakta, buhar geçirimsizliği, basınç dayanımı ve fiyatı artmaktadır.

EPS yalıtım malzemesinin tercih edilmesinin nedenleri;

1. Ekonomik olması,
2. Çevre dostu olması ve sera gazı etkisi göstermemesi
3. Isı farklılıklarına dayanması ve kalınlığının zamanla sürekli sabit olması
4. Basınca dayanıklı olması
5. Düşük buhar geçirgenlik direnci sayesinde iç yüzeylerde nem, küf oluşmaması
6. Bakteri oluşturmaması ve esnek olması
7. Sonsuz ömürlü olması
8. Geri dönüşüm olanağının olmasıdır.

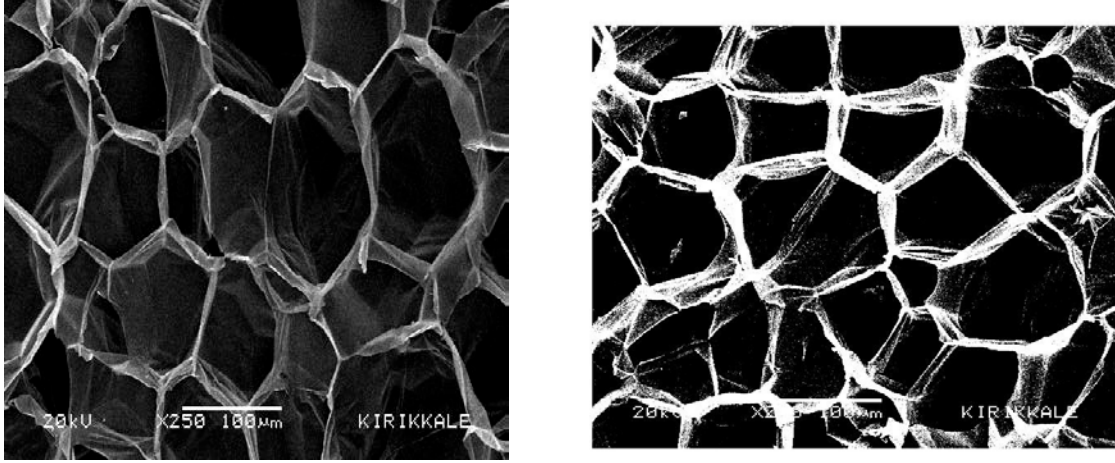
2.2 Sayısal Analiz

Sayısal metotlar ısı transferinde birçok problemin çözümünde doğru sonuçlar vermektedir. Isı iletim problemlerinde belli noktalardaki sıcaklık ve ısı akısı kullanılarak malzeme ile ilgili istenilen özellik bulunabilir. Bu çalışmada ısı iletkenlik değerinin sayısal yöntemle belirlenmesinde sonlu eleman esaslı ANSYS 16.1 paket programı kullanılmıştır. Sayısal analiz için şekil 2'de verilen akış şeması kullanılarak EPS yalıtım malzemesinin efektif ısı iletkenliği bir boyutlu olarak hesaplanmıştır.

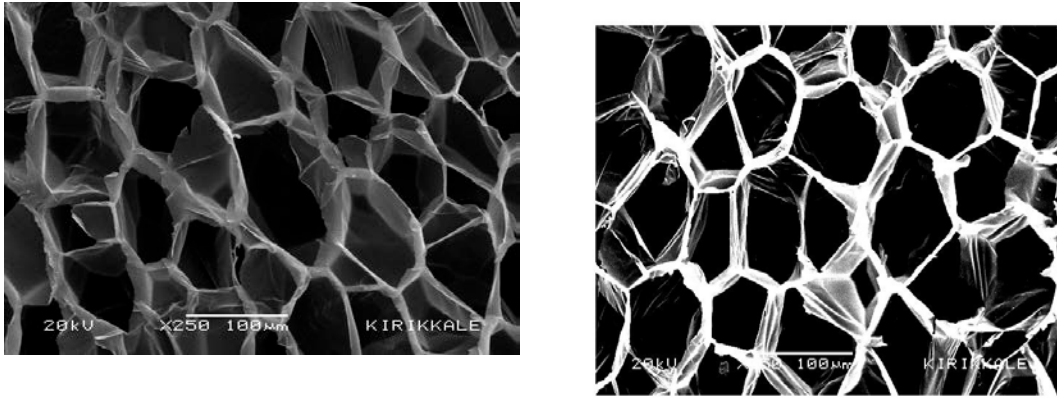


Şekil 2. Sayısal analiz için akış şeması

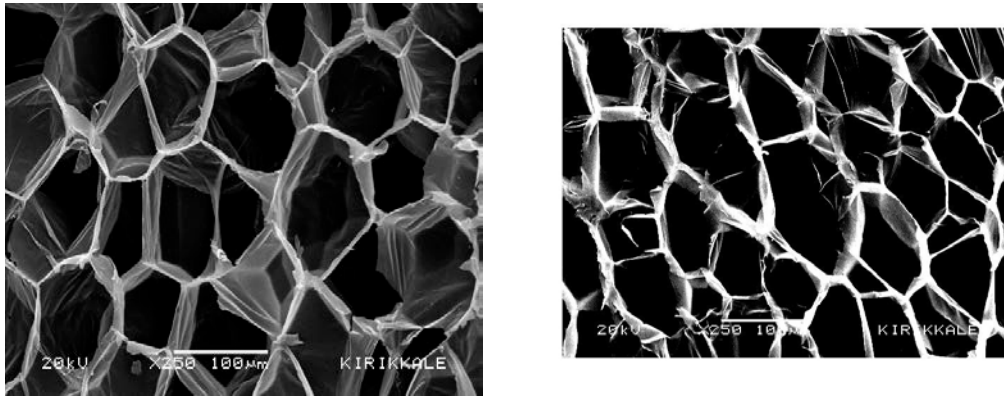
Sayısal modellemede içyapı tasarımını yapmak için SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. EPS yalıtım malzemesi içerisinde hava ve polistiren bulunmaktadır. Çalışmada kullanılacak malzemeler ile ilgili birçok SEM görüntüsü incelenmiştir. Şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'da içyapı geometri tasarımı için kullanılacak SEM görüntüleri ve görüntü analizleri her malzeme için verilmiştir.



Şekil 3. 16 kg/m³ yoğunluğa sahip EPS SEM görüntüsü ve görüntü analizi



Şekil 4. 21 kg/m³ yoğunluğa sahip EPS SEM görüntüsü ve görüntü analizi



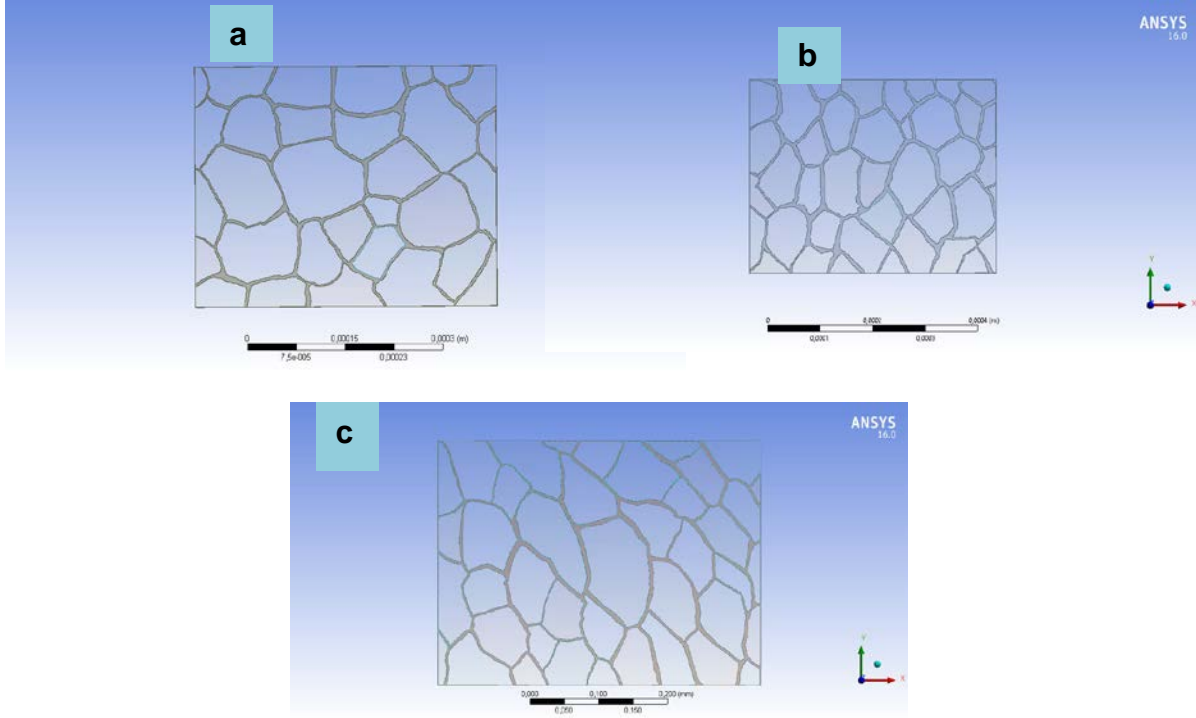
Şekil 5. 25 kg/m³ yoğunluğa sahip EPS SEM görüntüsü ve görüntü analizi

SEM görüntüleri incelendiğinde üretim yönteminden dolayı tam bir homojen yapı görülmektedir. Hücrelerin her birinin çapı birbirinden farklıdır. Görüntülerden görüldüğü gibi malzemenin büyük bir kısmı havadan oluşmaktadır. Resimlerin 2 boyutlu olmasından dolayı ışık düşen yerlerde polistren olarak görünmektedir. Buna göre içyapı tasarımı yapılarak hatalar en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Gözenek malzemelerdeki boşluk oranı olarak ifade edilmektedir. Gözenekliliğin değişmesi malzemenin yoğunluğunu değiştirmektedir. Çalışmada kullanılan modellerin tamamen kurutulduktan sonra sahip olduğu yoğunluk değerleri tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Modeller için kuru yoğunluk değerleri

Modeller	Yoğunluk (kg/m ³)	Kuru yoğunluk (kg/m ³)
Model-1	16	16.38
Model-2	21	21.58
Model-3	25	24.43

Tablo 1’de oluşturulan modellerin ANSYS ortamındaki içyapı görüntüleri şekil-6’de verilmiştir. İçyapı tasarımında karmaşık geometriden dolayı AUTOCAD programında 2 boyutta çizimler yapılırken hava ve polistiren sınırları kabuller yapılarak belirlenmiştir.

**Şekil 6.** İçyapı geometrisi a)Model-1 b)Model-2 c)Model-3

Sayısal olarak efektif ısı iletkenliğinin bulunmasında eşitlik 1’de verilen fourier ısı iletim kanunu kullanılmaktadır.

$$Q = -k.A. \frac{dT}{dn} \quad (W) \quad (1)$$

Tasarımı yapılan içyapı incelendiğinde kapalı bölgeler hava, geriye kalan kısımlar EPS’nin hammaddesi olan polistren olarak tanımlanmıştır. ANSYS programında malzeme özellikleri tanımlanırken havanın ve polistirenin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değiştiği varsayılmıştır. Hava ve polistirenin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hava ve polistiren için ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık(K)	Hava ısı iletkenlik (W/m.K)	Polistiren ısı iletkenlik (W/m.K)
250	0.02227	0.142
300	0.02624	0.154
350	0.03003	0.164
400	0.03365	0.170

Malzeme özelliklerinin tanımlanmasından sonra ağ yapısı oluşturulur. Gözenekleri oluşturan hava ve EPS’nin hammaddesi olan polistirenin oluşturduğu bölgelerde üçgen elemanlar kullanılmıştır. Şekil

7'de 25 kg/m^3 yoğunluk değerine sahip malzeme için ağ yapısı gösterilmiştir. Sayısal analizde çözümlerin düğüm sayısından bağımsız olması için farklı mesh büyüklükleri dikkate alınarak çözümler yapılmıştır.



Şekil 7. Modellerde kullanılan ağ yapısı

Farklı yoğunluktaki malzemeler için efektif ısı iletkenlik sürekli ve tek boyutta hesaplanacaktır. Bu modelde efektif ısı iletkenlik bilinmediğinden sınır şartı olarak sabit duvar sınır şartı veya sabit ısı akısı kullanılarak çözüm yapılabilir. 4 kenar sabit duvar sınır şartı, hava ve gözenek arasında kalan bölge duvar olarak tanımlanmıştır. Şekil 8'de sürekli rejimde, tek boyutlu ısı iletim kabulleri yapılarak sınır şartları gösterilmiştir.

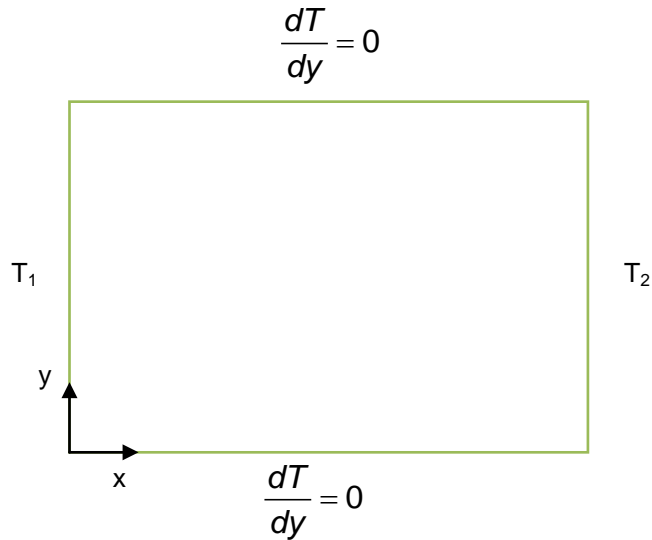
Sınır Koşulları;

1) $x = 0$, $0 \leq y \leq h$, $T_{(x=0)} = T_1 = 308K$

2) $x = L$, $0 \leq y \leq h$, $T_{(x=L)} = T_2 = 298K$

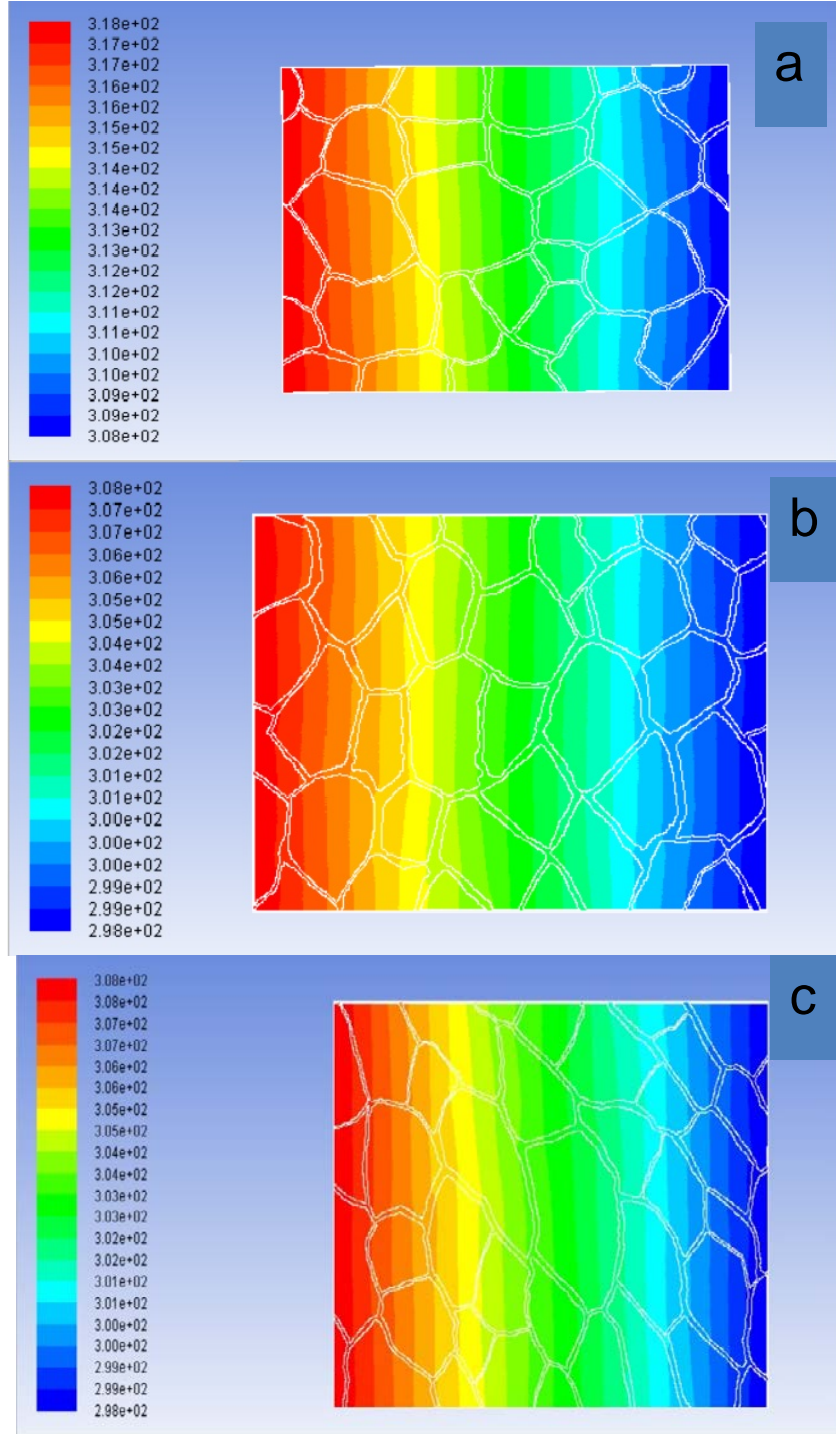
3) $y = 0$, $0 \leq x \leq L$, $\frac{dT}{dy}|_{y=0} = 0$

4) $y = h$, $0 \leq x \leq L$, $\frac{dT}{dy}|_{y=L} = 0$



Şekil 8. Sayısal çözüm için sınır koşulları

Yapılan işlemlerden sonra, düğüm noktalarında tek boyutta ısı transfer miktarı elde edilerek çözümler yapılmıştır. Şekil 9'da çalışmadaki modeller için sıcaklık dağılımı verilmiştir. Isı transferine dik doğrultudaki ortalama ısı akısı hesaplanarak efektif ısı iletkenlik eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 9.
Sıcaklık

dağılımı a) Model-1 b) Model-2 c) Model-3

2.3 Deneysel Çalışmalar

EPS yalıtım malzemesi gözenekli olması ve içerdiği yüksek miktardaki hava oranı ısı iletkenlik değerinin düşmesine ve hafif olmasına olanak sağlamaktadır. Gözeneklilik malzemelerde ısı iletkenliği, yoğunluğu ve malzeme dayanımını etkilemektedir. Bu etkinin ne kadar olduğunu tespit etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada belirlediğimiz modellere göre numune temini yapılmış ve 30x30x2 cm ölçülerinde numuneler kesilerek deney hazır hale getirilmiştir.

Literatürde ısı iletkenliği belirlenmesi kararlı rejimde ve geçici rejimde olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada genellikle tercih edilen kararlı durumda ısıtılmış plaka yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için düşük ısı iletkenlik değerlerini ölçen Şekil 10'da verilen Fox314 ısı akış sayacı ile ölçülmüştür. Bu cihaz ısı iletkenliği tek boyutlu ısı iletim problemi şeklinde ele alarak belirler.



Şekil 10. Isı iletkenlik ölçüm cihazı

Kuru durumdaki numuneler için ısı iletkenlik ölçümleri ortalama 30°C sıcaklıkta yapılarak yoğunluğa bağlı olarak ısı iletkenliğinin değişimi belirlenmiştir. Her bir ölçüm sonucunun doğru olması için ortam şartları sağlanmış ve farklı günlerde ölçümler yapılarak ölçüm belirsizliği yapılmıştır.

3.SONUÇLAR

Farklı yoğunluk oranlarına sahip modellerimizin ısı iletkenlikleri deneysel ve sayısal olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal olarak bulunan efektif ısı iletkenlik değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca EPS yalıtım malzemesinin yoğunluğa bağlı olarak ısı iletkenliğinin nasıl değiştiği belirlenmiştir.

Çalışmada deneysel olarak belirlenen efektif ısı iletkenlik değerleri kullandığımız modeller için tablo 3'de verilmiştir. Genelde malzemelerin ısı iletkenlikleri yoğunluk arttıkça artmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde EPS malzemesi farklı bir davranış göstererek yoğunluğun artması sonucu ısı iletkenlik değeri düşmektedir.

Tablo 3. Deneysel efektif ısı iletkenlik değerleri ($T_{ort} = 30^{\circ}C$)

Modeller	Yoğunluk(kg/m ³)	Efektif ısı iletkenlik (W/m.K)
Model-1	16	0.03583
Model-2	21	0.03433
Model-3	25	0.03323

Binalarda kullanılan EPS yalıtım malzemesinin yoğunluğunun değişmesi enerji kayıplarını ve ısıtma ihtiyacını etkilemektedir.1. bölge, 2. Bölge ve 3.bölgede bulunan 3 katlı bir binada tuğla duvara uygulanacak yalıtım sonucu özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma ihtiyaçları tablo 4 ve tablo 5'de görülmektedir. Aynı yalıtım malzemesinin farklı yoğunluk değerlerinin enerji kayıplarına etkisi görülmektedir. Yıllık ısıtma ihtiyacında yaklaşık %2-3 arasında bir kazanç sağlanmaktadır.

Tablo 4. Farklı yoğunlukta EPS kullanılarak elde edilen özgül ısı kayıpları

Bölge	Özgül Isı Kaybı(W/K) (16 kg/m ³)	Özgül Isı Kaybı(W/K) (21 kg/m ³)	Özgül Isı Kaybı(W/K) (25 kg/m ³)
1.Bölge	735.29	731.75	726.39
2.Bölge	735.29	731.75	726.39
3.Bölge	735.29	731.75	726.39

Tablo 5. Farklı yoğunlukta EPS kullanılarak elde edilen yıllık ısıtma ihtiyaçları

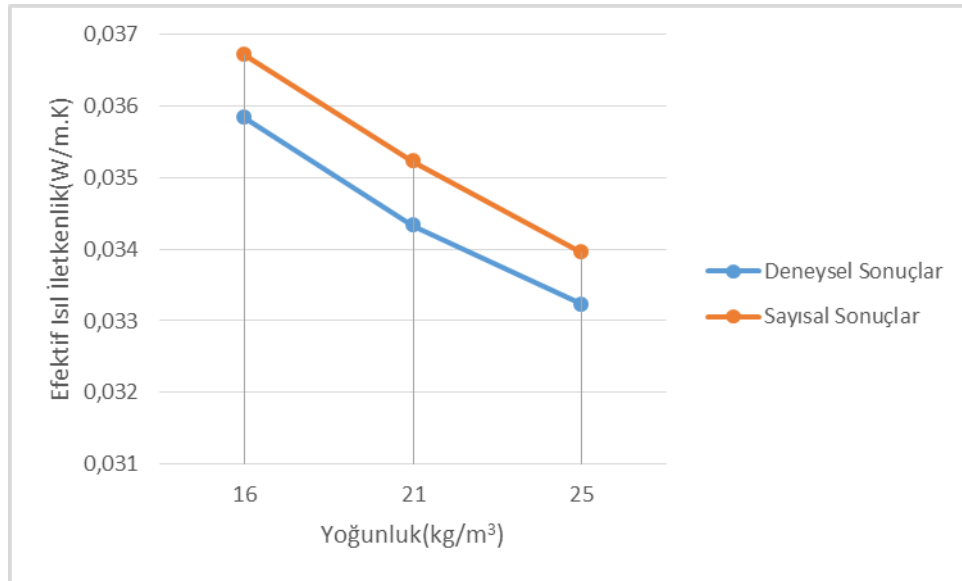
Bölge	Yıllık Isıtma İhtiyacı(kWh) (16 kg/m ³)	Yıllık Isıtma İhtiyacı(kWh) (21 kg/m ³)	Yıllık Isıtma İhtiyacı(kWh) (25 kg/m ³)
1.Bölge	14785.85	14681.25	14522.95
2.Bölge	28164.92	27979.96	27699.76
3.Bölge	37854.67	37611.44	37243.07

Sayısal analiz yapılırken en önemli parametrenin malzemenin içyapı geometrisi olduğu yapılan farklı tasarımlar ile tespit edilmiştir. Farklı içyapıların ısı iletkenliği önemli miktarda etkilediği bilinmektedir. Belirlenen koşullarda çözümler yapılarak ortalama ısı akısı tespit edilerek, efektif ısı iletkenlikler bulunmuştur. Tablo 6'de sayısal analiz sonuçları görülmektedir. Bu yöntemde de deneysel sonuçlarda olduğu gibi ısı iletkenlik yoğunluğunun artması ile azalmıştır.

Tablo 6. Sayısal efektif ısı iletkenlik değerleri ($T_{ort} = 30^{\circ}C$)

Modeller	Yoğunluk(kg/m ³)	Ortalama ısı akısı (W/m ²)	Efektif ısı iletkenlik (W/m.K)
Model-1	16	781.56	0.03672
Model-2	21	749.57	0.03523
Model-3	25	722.36	0.03395

Tüm modeller için farklı düğüm sayılarında ortalama ısı akısı bulunarak değişimin ihmal edilebilecek noktaya ulaştığı düğüm noktası sayısı ile analizler yapılmıştır. Malzeme içerisinde bulunan bileşenlerin geometrik boyutları, ısı iletkenlik değerleri, malzeme içerisindeki dağılımlarının efektif ısı iletkenliği etkilediği belirlenmiştir. Şekil 11'de yapılan çalışmada sayısal olarak hesaplanan ısı iletkenlik değerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ve sayısal analizlerin yaklaşık olarak %1-4 değerleri arasında birbiriyle çakıştığı görülmüştür.

**Şekil 11.** Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

4.KAYNAKLAR

- [1]. Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout, A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 2008. **40**(3): p. 394-398.
- [2]. Yang, L., H. Yan, and J.C. Lam, Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy*, 2014. **115**: p. 164-173.
- [3]. Büyükalaca, O. and H. Bulut, Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey. *Applied Energy*, 2004. **77**(2): p. 187-204.
- [4]. Al-Sanea, S.A., et al., Heat Transfer Characteristics and Optimum Insulation Thickness for Cavity Walls. *Journal of Building Physics*, 2003. **26**(3): p. 285-307.
- [5]. Bolattürk, A., Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 2006. **26**(11-12): p. 1301-1309.
- [6]. Dombaycı, Ö.A., M. Gölcü, and Y. Pancar, Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 2006. **83**(9): p. 921-928.
- [7]. Sisman, N., et al., Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions. *Energy Policy*, 2007. **35**(10): p. 5151-5155.
- [8]. Bolattürk, A., Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*, 2008. **43**(6): p. 1055-1064.
- [9]. Kaynaklı, O., A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*, 2008. **33**(6): p. 1164-1172.
- [10]. Yu, J., et al., A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 2009. **86**(11): p. 2520-2529.
- [11]. Fertelli, A., Determination Of Optimum Insulation Thickness For Different Building Walls In Turkey. *Transactions Of Famena* 2013. **2**.
- [12]. Bektas Ekici, B., A. Aytac Gulden, and U.T. Aksoy, A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey. *Applied Energy*, 2012. **92**: p. 211-217.
- [13]. Ozel, M., Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Applied Thermal Engineering*, 2011. **31**(17-18): p. 3854-3863.
- [14]. Mendes, N., et al., Moisture effects on conduction loads. *Energy and Buildings*, 2003. **35**(7): p. 631-644.
- [15]. Kong, F. and M. Zheng, Effects of combined heat and mass transfer on heating load in building drying period. *Energy and Buildings*, 2008. **40**(8): p. 1614-1622.
- [16]. Liu, X., et al., Numerical investigation for thermal performance of exterior walls of residential buildings with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. *Energy and Buildings*, 2015. **93**: p. 259-268.
- [17]. Liu, X., et al., Determination of optimum insulation thickness for building walls with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. *Energy and Buildings*, 2015. **109**: p. 361-368.
- [18]. Schellenberg, J. and M. Wallis, Dependence of Thermal Properties of Expandable Polystyrene Particle Foam on Cell Size and Density. *Journal of Cellular Plastics*, 2010. **46**(3): p. 209-222.
- [19]. Mihlayanlar, E., Ş. Dilmaç, and A. Güner, Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity. *Materials & Design*, 2008. **29**(2): p. 344-352.
- [20]. K. T. Yucel , C.B., C. Ozel Thermal Insulation Properties Of Expanded Polystyrene As Construction And Insulating Materials. 15th Symposium on Thermophysical Properties, NIST/ASME, Boulder, Colorado, 2003: p. 54–66.
- [21]. Lakatos, Á. and F. Kalmár, Investigation of thickness and density dependence of thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials. *Materials and Structures*, 2012. **46**(7): p. 1101-1105.
- [22]. Roels, S., et al., A Comparison of Different Techniques to Quantify Moisture Content Profiles in Porous Building Materials. *Journal of Building Physics*, 2004. **27**(4): p. 261-276.
- [23]. Karamanos, A., S. Hadiarakou, and A.M. Papadopoulos, The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool. *Energy and Buildings*, 2008. **40**(8): p. 1402-1411.
- [24]. Ochs, F., W. Heidemann, and H. Müller-Steinhagen, Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2008. **51**(3-4): p. 539-552.



- [25]. Jerman, M. and R. Černý, Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 2012. **53**: p. 39-46.
- [26]. Lakatos, A. and F. Kalmar, Analysis of water sorption and thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2012. **34**(4): p. 407-416.
- [27]. Yu, Q., B.E. Thompson, and A.G. Straatman, A Unit Cube-Based Model for Heat Transfer and Fluid Flow in Porous Carbon Foam. *Journal of Heat Transfer*, 2006. **128**(4): p. 352.
- [28]. Bouvard, D., et al., Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 2007. **37**(12): p. 1666-1673.
- [29]. Jose Angel, D.D.L.P., et al., Microstructure Characterization of Low Density EPS. *Applied Mechanics and Materials*, 2013. **420**: p. 167-176.
- [30]. Plastics, B., Technical Information, in Styropor CD. 1992.

ÖZGEÇMİŞ

Hüsamettin TAN

1991 yılı Malatya doğumludur. 2014 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2015 yılından itibaren Kırıkkale Üniversitesi Makine A.B.D. yüksek lisans yapmakta ve Enerji A.B.D. da Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Sayısal analiz, Sonlu elemanlar, Enerji, Termodinamik, Isı transferi konularında çalışmaktadır.

Battal DOĞAN

1974 yılı Kaman/Kırşehir doğumludur. 2000 yılında Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2002 yılında yüksek mühendis, 2009 yılında doktor ünvanını almıştır. 2007-2011 yılları arasında Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığında Mühendis, 2011-2017 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesinde Enerji Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç.Dr. olarak görev yaptı. 2015 yılından itibaren TTO müdürü olarak çalışmaktadır. 2017 yılından itibaren Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığında görev yapmaktadır. Termodinamik, Isı transferi, İş sağlığı ve güvenliği ve ulaştırma konularında çalışmaktadır.