



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERLİT DOLGULU YALITIM TUĞLALARININ ISI TRANSFER
ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ**

GÖZDE EKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ETHEM TOKLU**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERLİT DOLGULU YALITIM TUĞLALARININ ISI TRANSFER
ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ

Gözde EKİN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ethem TOKLU

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ethem TOKLU

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Kemal ERMİŞ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yaşar ŞEN

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 14/04/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

14 Nisan 2021

Gözde EKİN

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ethem TOKLU'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

14 Nisan 2021

Gözde EKİN



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. TEZİN AMACI.....	1
1.2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
2. PERLİT	6
2.1. PERLİTİN TANIMI.....	6
2.2. PERLİTİN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	6
2.3. PERLİTİN KULLANIM ALANLARI.....	8
2.4. REZERVLER	9
2.5. PERLİT MALZEMESİNİN TÜRKİYE’DE BULUNMA ŞEKİLLERİ VE EKONOMİSİ.....	10
2.6. PERLİTE ADSORPSİYON ÖZELLİĞİ VEREN GRUPLAR.....	11
2.7. PERLİTİN YÜZEY YÜKLERİNE PH ETKİSİ	12
3. TEMEL BİLGİLER VE YALITIM TEKNİKLERİ.....	14
3.1. ISI İLETİMİ VE YALITIMI HAKKINDA BİLGİLER.....	14
3.1.1. Sıcaklık	15
3.1.2. Isı	16
3.1.3. Isı İletimi	17
3.1.3.1. Kondüksiyonla Isı İletimi.....	17
3.1.3.2. Konveksiyonla Isı İletimi	17
3.1.3.3. Radyasyonla Isı İletimi.....	18
3.2. ISI YALITIM PRENSİPLERİ.....	18
3.3. ISI KÖPRÜLERİ.....	19
4. ISI YALITIMINDA PERLİT KULLANIMI	26
4.1. GEVŞEK DOLGU UYGULAMALARI	29
4.1.1. Isı Yalıtım Betonu	30
4.1.2. Perlitli Hazır Yapı Elemanları.....	32
4.1.3. Perlitli Hazır Sıvalar	33
4.1.3.1. Birinci İklim Bölgesi.....	33
4.1.3.2. İkinci İklim Bölgesi.....	34

4.1.3.3. Üçüncü İklim Bölgesi	34
4.1.3.4. Dördüncü İklim Bölgesi	34
4.1.4. Perlit Dolgulu İzolasyon Tuğlası	35
5. PERLİT DOLGULU İZOLASYON TUĞLASI BİLEŞİMİ	37
6. MATERYAL VE YÖNTEM	42
7. UYGULAMA	49
7.1. PERLİT VE HAVA DOLGULU TUĞLANIN TERMAL ANALİZİ	49
7.1.1. Model A'nın Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	53
7.1.1.1. Model A1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	53
7.1.1.2. Model A2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi	55
7.1.2. Model B'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	57
7.1.2.1. Model B1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	57
7.1.2.2. Model B2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi	59
7.1.3. Model C'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	61
7.1.3.1. Model C1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	61
7.1.3.2. Model C2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi	62
7.1.4. Model D'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	64
7.1.4.1. Model D1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	64
7.1.4.2. Model D2 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	65
7.1.5. Model E'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	67
7.1.5.1. Model E1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	67
7.1.5.2. Model E2 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	68
7.1.6. Model F'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı	70
7.1.6.1. Model F1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi	70
7.1.6.2. Model F2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi	71
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	73
8.1. MODELLERİN ISI KAYIPLARI SONUÇLARI	73
8.2. MODELLERİN MALİYET HESABI SONUÇLARI	75
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
10. KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Farklı perlit formları	6
Şekil 2.2. Perlit malzemesine adsorpsiyon özelliği veren gruplar	12
Şekil 2.3. Perlit malzemesinin yüzey yükleri	13
Şekil 6.1. Karma sistemlerde ısı transferi	43
Şekil 6.2. Düzce ili 2020 yılı sıcaklık dağılımı	44
Şekil 6.3. 2020 yılına göre ortalama sıcaklığı 15 °C'nin altında kalan günler	45
Şekil 6.4. 15 °C için ısıtma derece gün değerleri	45
Şekil 7.1. 3 cm Tuğla modeli	49
Şekil 7.2. 6 cm Tuğla modeli	50
Şekil 7.3. 9 cm Tuğla modeli	50
Şekil 7.4. 12 cm Tuğla modeli	51
Şekil 7.5. 15 cm Tuğla modeli	51
Şekil 7.6. 18 cm Tuğla modeli	52
Şekil 7.7. Model A1 (3 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	53
Şekil 7.8. Model A1 (3 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	54
Şekil 7.9. Model A2 (3 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	55
Şekil 7.10. Model A2 (3 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	56
Şekil 7.11. Model B1 (6 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	57
Şekil 7.12. Model B1 (6 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	58
Şekil 7.13. Model B2 (6 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	59
Şekil 7.14. Model B2 (6 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	60
Şekil 7.15. Model C1 (9 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	61
Şekil 7.16. Model C1 (9 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	62
Şekil 7.17. Model C2 (9 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	62
Şekil 7.18. Model C2 (9 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	63
Şekil 7.19. Model D1 (12 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	64
Şekil 7.20. Model D1 (12 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	65
Şekil 7.21. Model D2 (12 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	65
Şekil 7.22. Model D2 (12 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	66
Şekil 7.23. Model E1 (15 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	67
Şekil 7.24. Model E1 (15 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	68
Şekil 7.25. Model E2 (15 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	68
Şekil 7.26. Model E2 (15 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	69
Şekil 7.27. Model F1 (18 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	70
Şekil 7.28. Model F1 (18 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	71
Şekil 7.29. Model F2 (18 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi	71
Şekil 7.30. Model F2 (18 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi	72
Şekil 8.1. Tüm modellerinin ısı kayıpları grafiği	74
Şekil 8.2. Tüm modellerin sıcaklık değişim grafiği	74
Şekil 8.3. Modellerin giriş-çıkış sıcaklık farkı grafiği	75
Şekil 8.4. Modellerin maliyet sonuçlarını gösteren grafik	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Perlitin özellikleri	27
Çizelge 4.2. Farklı ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri	28
Çizelge 4.3. Perlit gevşek dolgulu yalıtımın kesit kalınlığına bağlı ısıl geçirgenliği	29
Çizelge 5.1. İncelenen yapıdaki kilin kimyasal bileşimi	38
Çizelge 5.2. Perlitin kimyasal analizi	39
Çizelge 5.3. Perlitin iç yapısının analizi	39
Çizelge 8.1. Isı kayıpları sonuçları	73
Çizelge 8.2. Maliyet hesabı sonuçları	75



KISALTMALAR

CDD
HDD
MGM
TS

Soğutma derece gün
Isıtma derece gün
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Türk Standardı



SİMGELER

A	Isı kaybedilen yüzey alanı
C_f	Yakıtın fiyatı
C_{ins}	Yalıtım maliyeti
C_l	Yalıtım malzemesinin birim fiyatı
C_t	Yıllık toplam ısıtma maliyeti
C_{to}	Yapının izolasyonsuz haldeki ısıtma maliyeti
C_{tins}	Yapının izolasyonlu haldeki ısıtma maliyeti
E_A	Yıllık enerji ihtiyacı
ES	Enerji tasarruf miktarı
g	Enflasyon oranı
h_i	İç ısı transfer katsayısı
h_o	Dış ısı transfer katsayısı
i	Faiz oranı
LHV	Yakıtın alt ısı değeri
PWF	Günümüz değer faktörü
r	Gerçek enflasyon oranı
R_w	Duvarın ısı transfer direnci
R_{ins}	İzolasyon malzemesinin ısı transfer direnci
T	Sıcaklık
T_d	Dış sıcaklık
T_i	İç sıcaklık
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_∞	Ortam sıcaklığı
U	Toplam ısı transfer katsayısı
q_d	Dış yüzeyde taşınım ile ısı kaybı
q_i	İç yüzeyde taşınım ile ısı kaybı
q_t	Tuğlada iletimle ısı kaybı
x	İzolasyon malzemesinin kalınlığı

ÖZET

PERLİT DOLGULU YALITIM TUĞLALARININ ISI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ

Gözde EKİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ethem TOKLU

Nisan 2021, 83 sayfa

Artan dünya nüfusu ile birlikte enerji ihtiyacında artış meydana gelmiştir. Bu nedenle enerji kaynaklarının verimli ve etkili bir şekilde kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan uluslararası projeksiyonlar sonucunda dünyada bilinen rezervlerle dünyadaki en etkili enerji kaynaklarının yüz yıllık ömrü olduğu görülmektedir. Enerji kullanımının önemli oranı binalarda gerçekleşmektedir. Bu nedenle binalarda ısı enerjisinin korunması büyük önem taşımaktadır, yalıtım malzemeleri de bu yüzden yapılmış ve kullanılmaya başlamıştır. Binalarda ısı enerjisinin korunabilmesi için ısı yalıtım malzemelerine ihtiyacın her geçen gün arttığı görülmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için yeni malzeme ve yeni teknoloji arayışlarının sürdüğü görülmektedir. Bu çalışmada Düzce ili 2020 yılı ortalama sıcaklık değerlerine göre analizin iç ve dış ortam sıcaklıkları belirlenmiştir. Bulunan değerlere göre perlit malzemesi kullanılarak yapılan analizde ısı kaybı ve buna bağlı olarak maliyet hesabı yapılmış ve geri ödeme süresi tartışılmıştır. TS 825 standartlarına göre özgül ısı kaybı hesaplanarak yorumlanmış ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Perlit, Tuğla, Yapı malzemeleri.

ABSTRACT

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER PROPERTIES OF PERLITE-FILLED INSULATION BRICKS

Gözde EKİN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ethem TOKLU

April 2021, 83 pages

With the increasing world population, there has been an increase in energy needs. Therefore, it has been concluded that energy resources should be used efficiently and effectively. As a result of the international projections made, it is seen that the most effective energy resources in the world with the reserves known in the world have a hundred-year life. A significant proportion of energy use takes place in buildings. For this reason, the protection of heat energy in buildings is of great importance, and therefore insulation materials have been made and started to be used. It is seen that the need for thermal insulation materials is increasing day by day in order to preserve heat energy in buildings. It is seen that the search for new materials and new technology continues to meet these needs. In this study, indoor and outdoor temperatures of the analysis were determined according to the average temperature values of Düzce province for 2020. According to the values found, heat loss and cost calculation was made in the analysis using perlite material and the payback period were discussed. Specific heat loss is calculated according to TS 825 standards, interpreted and recommendations are made.

Keywords: Brick, Building materials, Perlite.

1. GİRİŞ

1.1. TEZİN AMACI

Bu çalışmanın amacı perlit dolgulu izolasyon tuğlasının yalıtıma olan etkisini incelemektir.

Perlit malzemesi optimize edilen sıcaklık ile genişletildiği zaman hafif ve gözenekli bir yapıya ulaşmaktadır. Parlaklığı inci gibi olan bu yapı asidik özellik taşıyan volkanik bir camdır. İnciye olan benzerliğinden dolayı bu maddenin ismi ‘perle’ sözcüğünden türetilmiştir. Kayaç olan perlit maddesinin özellikleri çok çeşitli olmakla beraber ısıtıldığı zaman şeffaf hale gelmektedir. Perlitin sanayi alanında ilk kez kullanılması 1925 yılına dayanmaktadır. Fakat bu malzemenin yaygın olarak kullanılmaya başlaması 1947 yılı itibariyle başlamıştır. Tek bir ülkeye bağlı olmadan Amerika, Japonya, Batı Avrupa ve Sovyet Rusya gibi önemli toplumlar tarafından perlit kullanımı 1947 yılı itibariyle başlamıştır [1]. Bir başka çalışmanın sonucunda perlit üretiminin 1994 yılında dünya çapında 1,7 milyon tona ulaştığı sonucuna varılmıştır. Literatüre bakıldığı zaman Türkiye’nin perlit rezervleri açısından önemli bir konuma sahip olduğu görülmüştür [3].

Türkiye’de minimum 100 milyon ton perlit rezervi bulunmaktadır [1]. Türkiye’nin Yunanistan ve Amerika gibi öncül perlit üreten ülkeler arasında olduğu sonucuna varmıştır. Yapılan çalışmalara göre, Dünya perlit rezervlerinin hemen hemen %70’nin Türkiye’de bulunduğu sonucuna varılmıştır [2]. Bu durum perlitin sanayide kullanılması için önemli bir hale getirmektedir. Fakat perlitin kullanım alanları ham ve genişlemiş hallerine göre değişmektedir [1], [2]. Dolayısıyla malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri kullanım alanlarının farklılaşmasında ve yaygınlaşmasında önemli etkenlerdir [2]. Literatür çalışmalarına bakıldığı zaman genişlemiş perlitin kullanım alanlarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır [1], [2].

Isı yalıtımının çeşitli faydaları bulunmaktadır. Isı yalıtımının kullanılmadığı sistemlerde oluşan hasarlardan dolayı ekonomi olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yine aynı çalışmada belirtildiği üzere ısı yalıtımı sayesinde dış yapılar korunduğu için herhangi bir korozyon probleminin önüne geçilmektedir. Bu durumun yanı sıra ısı yalıtımının önemli faydaları arasında meydana gelecek herhangi bir ısı köprüsü sorunun önüne geçmesi bulunmaktadır [4]. Dolayısıyla ısı yalıtımı kavramını detaylı olarak anlamak

yapılan çalışmaların niteliğini fazlasıyla etkilemektedir. Bu noktada ısı iletiminin çeşitlerine hâkim olmak gerekmektedir. Isı iletimi kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir.

Isı iletiminin gerçekleşmesi sırasında yöntemin yanı sıra kullanılan malzemede iletilen ısı miktarını etkilemektedir. Bu noktada kullanılacak olan malzemenin detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.

Tuğlalar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Yatak delikli, düşey delikli, asmolener ve kagir dış baca tuğlalar bu sınıflardan bazılarıdır. İzolasyon tuğlaları da kendi aralarında ağırlığına, duvar kalınlığına, yangın ve basınç gibi durumlara karşı dayanırlıklarına göre ayrılmaktadırlar. Gerekli özelliklerin seçilebilmesi için ihtiyaç duyulan ısı yalıtım miktarının hesaplanması gerekmektedir. Isı yalıtımının amaçlandığı gevşek dolgu uygulamalarında genel olarak iki duvar arasındaki boşluğu doldurmak amaçlanmıştır. Son zamanlarda özellikle inşaat endüstrisinde perlit malzemesi kullanılarak gevşek dolgu uygulamalarına yer verilmeye başlanmıştır. Perlit malzemesinin gevşek dolgu izolasyon tuğlalarında kullanılması ile birlikte kazanılan avantajlar görülmeye başlanmıştır [5]. Dolayısıyla bu alana yönelik çalışmalar detaylandırılmaya başlanmıştır.

Tezin amacına ulaşabilmesi için temel kavramların net bir şekilde açıklanması gerekmektedir. Dolayısıyla, tez çalışması oluşturulurken detaylı bir şekilde alt başlıklara bölünmüştür. Öncelikli olarak perlit dolgusunun izolasyon tuğlasına olan etkisini araştırırken bu maddenin ne olduğunu, hangi alanlarda kullanıldığını, kimyasal özelliklerini, çeşitli özelliklerinin yalıtıma karşı nasıl etki ettiğini ve nerelerden elde edilebileceğine dair önemli başlıklar incelenecektir. Böylelikle kullanılan dolgu malzemesinin bütün özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmaktadır.

Yalıtım bu çalışmada yer alan en önemli kavramlar arasındadır ve bu kavramın net olarak incelenmesi için içeriğinin öğrenilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda sıcaklık, ısı, ısı iletiminin çeşitleri, ısı yalıtım prensipleri, ısı köprüleri ve ısı yalıtım teknikleri gibi yalıtım hakkında gerekli olan temel kavramlar alt başlıklara ayrılarak araştırılmıştır. Böylelikle tez çalışmasında kullanılacak olan perlit ve yalıtım kavramları hakkında detaylı bir literatür çalışması sağlanmıştır.

Perlit dolgulu izolasyon tuğlasının yalıtıma olan etkisini detaylı olarak anlatabilmek için perlit ve yalıtım kavramlarının ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Bu hususta gevşek dolgunun uygulamaları, perlitli hazır sıvalar ve perlit dolgulu izolasyon tuğlası hakkında detaylı çalışma yapılmıştır. Çalışmanın son kısmında çeşitli uygulamalarına örnekler, yapılan çalışmanın sonucuna ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

Literatür çalışmalarına bakıldığı zaman bu konu ile ilgili çeşitli kaynaklar olduğu için yapılan çalışmayla birlikte ortaya bir derleme çıkmaktadır. Yapılan tez çalışmasının literatür kaynaklı olması, kaynak sayısının fazla olması ve endüstride kullanılan önemli kavramların açıklamalarını bir araya getirip ilişkilendirmesinden dolayı literatürde önemli bir yer alması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada araştırma yöntemi olarak literatürdeki çeşitli kaynakların (dergi, makale, kitap ve tez çalışmaları) taranması kullanılmıştır. Böylelikle tez çalışmasında yer alacak kavramlar hakkındaki bilgiler belli bir zamana bağlı olmadan genel olarak anlatılmıştır. Bilimsel çalışmaların iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki bilim dünyasına iz bırakmaktır. Böylelikle ikinci temel amacı olan bilgilerin birleştirilerek yeni çalışmalara imkân vermesi için altyapı oluşturmaktadır.

1.2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

F. Kalaycı yapmış olduğu çalışmada perlit esaslı ısı yalıtım malzemesi üretmiştir. Perlitin; hafif gözenekli ısı yalıtım katsayısı düşük doğal endüstriyel hammadde olması nedeniyle ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği irdelemiştir. Başlangıçta perlit esaslı çimento bazlı reçete kombinasyonları hazırlamıştır. Dolgu malzemesi olarak kalsit kullanmıştır. Üretilen numunelerin birim hacim ağırlıkları ve ısı yalıtım katsayıları tespit edilmiş sınır değerler baz alınarak ısı yalıtım malzemesi üretimi için uygun olabilecek reçeteler geliştirmiştir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan kalsitin yerine daha hafif olan pomza, diatomit, vermikülit kullanılarak numunelerin birim ağırlıkları ve ısı yalıtım katsayıları düşürülmeye çalışmıştır. Numunelerin boşluk oranı artırabilmek için çeşitli kimyasallar denemiştir. Alüminyum tozu ve sodyum hidroksit tepkimesinden faydalanmıştır. Üretilen numunelerin birim hacim ağırlıkları ve ısı yalıtım katsayıları sürekli takip edilerek reçete geliştirilmeye çalışmıştır. Seçilen bu numuneler üzerinde ısı yalıtım katsayısı tayini testi, basınç dayanım testi, eğilme dayanım testi yapmıştır. Ayrıca numunelerin birim hacim ağırlıklarına, ultrasonik ses geçirgenlik değerine ve su emme yüzdesine de bakmıştır. Üretilen perlit esaslı yalıtım

malzemesinin ısı iletim katsayısı 0,0618'e kadar inmiştir. Elde edilen bu malzeme ısı yalıtımında kullanılabileceğini kanıtlamıştır [6].

S. Azizi yapmış olduğu çalışmada inşaat alanında çok önemli yere sahip olan yapı elemanı betonun çimento, agrega, su ve kimyasal içeriklerden meydana geldiğini söylemiştir. Betonun hacimce çoğunluğunu oluşturan ve betonun iskelet özelliğini karşılayan agregalar, betonun özelliklerini en fazla etkileyen bileşendir. Kullanılan agrega betonun mekanik özelliklerinin yanı sıra ses ve ısı yalıtımı özelliklerini de etkilemektedir. Beton üretiminde hafif ve gözenekli içeriğe sahip agregaların kullanılmasıyla, hafif betonlar elde edilmektedir. Bu çalışmada genişletilmiş perlitin hafif agrega olarak kullanılmasıyla, üretilen betonlarda ölü yükler azalırken aynı zamanda yüksek ısı ve ses yalıtımına sahip olduğu belirtilmiştir [7].

G. Bayer yapmış olduğu çalışmada; çeşitli dıştan ısı yalıtım modelleri oluşturmak için değişik özelliklerdeki yalıtım materyallerini kullanmıştır. Örnek bina için özgül ısı kaybı hesabını yapmış ve yıllık ısıma enerji ihtiyacını hesaplamıştır. Örnek binanın ısı yalıtımsız hali ile farklı ısı yalıtım çeşitleri yapılmış hali enerji ihtiyacı bakımından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak dış duvarların yalıtılması ile %38 oranın ısı kaybını önleyebileceği, yapılan yalıtımın yaz aylarında oluşan ısı kazancını da azaltarak soğutma maliyetlerini düşüreceğini yapılan yalıtım maliyetinin 4-5 yıl içinde kendini amorti edeceğini ve yakıttaki tasarruf sayesinde çevre kirliliğinin de azalacağını ifade etmiştir [8].

T. Kotan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada genişletilmiş perlit hali hazırda kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinin yalıtım derecelerine benzer ısı yalıtım özelliklerine ek olarak perlitin puzolanik özelliğinden dolayı zamanla dayanım kazanarak sınırsız kullanıma kadar gitmesi, yalıtım işlemi tabaka şeklinde tam olarak yapıldığından ısı köprülerinin meydana gelmesini önlemesi, çok yüksek yangın dayanımı, ses yalıtımı, havayı teneffüs ederek duvar yüzeyi ile sıva yüzeyi arasında buhar oluşumunu önleyerek küf ve bakteri oluşumunu önlemesi ve doğal olduğundan ortama zararlı kimyasal yayınımlı olmaması gibi yararlı özellikleri nedeni ile günümüz şartlarında alternatif ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edildiği belirtmiştir. Bu çalışmada Erzincan ilinde bir deney mahali oluşturulmuş ve günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak en fazla kullanılan EPS malzemesi ile genişletilmiş perlitin ısı yalıtım özelliklerinin karşılaştırılmasını değerlendirmişlerdir. Elde edilen ölçüm sonuçlarının incelenmesi

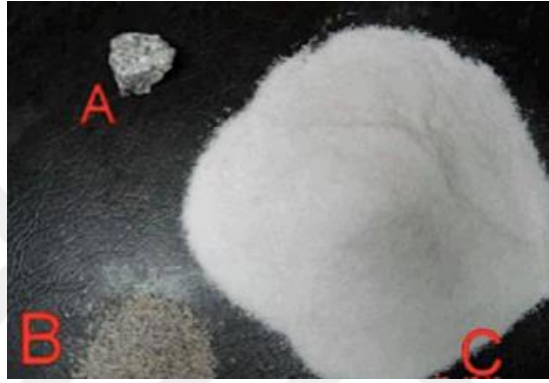
sonucunda 8 cm'lik genleştirilmiş perlit ile 6 cm'lik EPS ısı yalıtım malzemelerinin ısı yalıtım performanslarının eşit olduğunu belirlemişlerdir [9].

H. Seyaban yapmış olduğu çalışmada Düzce ili ısıtma ve soğutma derece saat hesapları yapmıştır. Hesaplamalarda kullanılan saatlik sıcaklık doneleri (2007-2017 seneleri arası) Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerinden elde etmiştir. Elde edilen veriler excel ortamına aktarılarak hatalı ve eksik veri kontrolü yapmıştır. Ortalama sıcaklık değerleri dikkate alınarak problemlili verilerin düzeltilmesi sağlandıktan sonra; Isıtma için 15 °C soğutma için ise 22 °C'lik denge sıcaklıkları için derece saat ve gün hesaplamaları yapmıştır. Bulunan derece gün değeri ile tuğla ve gaz beton duvarlar için taş yünü, EPS ve XPS yalıtım malzemeleri kullanarak optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmış ısıtma maliyeti, tasarruf miktarı ve geri ödeme sürelerini dikkate alarak Düzce ili şartları için en uygun yalıtım malzemesine karar vermiştir. Son olarak 8 çeşit yapı tipi için TS 825'e göre özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacı belirtilerek yorumlamış ve önerilerde bulunmuştur [10].

2. PERLİT

2.1. PERLİTİN TANIMI

Perlit malzemesi asit özelliğine sahip volkanik bir camdır ve inciye olan benzerliğinden dolayı ‘perle’ sözcüğünden türetilmiştir [1]. Perlit malzemesinin üç farklı formu bulunmaktadır. Bu formlar kayaç, ham ve geniştirilmiş olmak üzere temel özellikleri farklılık göstermektedir [2].



Şekil 2.1. Farklı perlit formları [2].

Üç farklı formu bulunan perlit malzemesinin Şekil 2.1’de örnekleri gösterilmiştir. Alfabetik sırayla isimlendirilen formlar sırasıyla kayaç, ham ve genişmiş perlitlere örneklerdir [2].

2.2. PERLİTİN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Perlit malzemesi optimize edilen sıcaklık ile geniştirildiği zaman hafif ve gözenekli bir yapıya ulaşmaktadır. Kayaç olan perlit maddesinin özellikleri çok çeşitli olmakla beraber ısıtıldığı zaman şeffaf hale gelmektedir. Perlitin çeşitli kimyasal özellikleri bulunmaktadır. İlk olarak kırılma indisi 1,488 ile 1,506 değerleri arasında gidip gelmektedir. Perlit malzemesinin ağırlığı da genişmiş ve ham perlitte farklılık göstermektedir. Örneğin ham ve yahut kırılmış perlit malzemesinin hacim ağırlığı 1,05 ile 1,20 g/cm³ arasındadır. Ayrıca genişmiş perlit malzemesinin hacim ağırlığı 0,03 ile 0,06 g/cm³ değer aralığındadır [1].

Perlit malzemesinin en önemli özelliklerinden biri genişleyebilir olmasıdır. Perlite genişleme özelliğini veren birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında perlitin yapısı, su miktarı, sıcaklığın uygulanma hızı, sıcaklık miktarı, yumuşama değerine varıldığında malzemede kalan su miktarı ve fırına verilen malzemenin çapı en önemlilerdir [11].

Perlit maddesinin genişmesi için gerekli olan sıcaklık değeri ise 750 °C ile 900 °C arasındadır. Bu değer aralığında genişleyen perlit malzemesine aktif perlit denmektedir. Ayrıca pasif perlit malzemesi de bulunmaktadır. Pasif perlit malzemesi için de genişleme sıcaklığının 900 °C ile 1100 °C arasında olması gerekmektedir [1].

Perlitin kimyasal yapısına bakıldığında zaman çok çeşitli maddeleri içerdiği gözlemlenmiştir. Bu maddeler arasında ağırlıklı olarak iki kimyasal bulunmaktadır. Bu kimyasallar %75 oranında silikon dioksit (SiO_2) ve %12,5 oranında alüminyum oksit (Al_2O_3) bulunmaktadır. Kalan kimyasalların oranı %0,1 ile %5 arasında gidip gelmektedir. Bu maddeler arasında demir (III) oksit (Fe_2O_3), kalsiyum oksit (CaO), magnezyum oksit (MgO), potasyum oksit (K_2O), demir oksit (FeO), krom (Cr), baryum (Ba), mangan dioksit (MnO_2) ve titanyum dioksit (TiO_2) gibi kimyasallar bulunmaktadır [1], [2].

Ham perlitin fiziksel özelliklerine bakıldığında zaman renk olarak gri ve siyah tonlarında olduğu görülmektedir. Fakat genişmiş perlitin rengi ise beyazdır. Ham perlitin sertliği 5 Mohs ile 6 Mohs arasındadır. Genleşmiş perlitin yanma özelliği bulunmamaktadır. Ayrıca ham perlitin özelliklerine bakıldığında zaman ilk formundan 20 kat daha fazla genişleme özelliğine sahip olduğu görülmektedir [2]. Perlitin pH değerine bakıldığında zaman ise ham perlit için 6,6 ile 8 değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir [12].

Perlitin önemli özelliklerine bakıldığında zaman içerdiği su miktarının malzemeye asıl özelliğini verdiği görülmektedir. Perlitin içerdiği su miktarına bağlı olarak kararlılık seviyesi değişmektedir. Perlitin içerdiği su miktarı genellikle %2 ile %5 arasında değişmektedir [2].

2.3. PERLİTİN KULLANIM ALANLARI

Perlit malzemesi 1925 yılında sanayi alanında ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. Fakat bu malzemenin yaygın olarak kullanılmaya başlaması 1947 yılı itibariyle gerçekleşmiştir. Tek bir ülkeye bağlı olmadan Amerika, Japonya, Batı Avrupa ve Sovyet Rusya gibi önemli toplumlar tarafından perlit kullanımı başlamıştır [1]. Bir başka çalışmanın sonucunda perlit üretiminin 1994 yılında dünya çapında 1,7 milyon tona ulaştığı sonucuna varılmıştır [3].

Perlit formlarının kullanım alanlarına bakıldığı zaman ham perlitin kullanım alanının genişmiş perlite göre çok daha az sayıda olduğu görülmektedir. Perlitin kullanım alanlarına bakıldığı zaman asıl olarak özelliklerine göre değiştiği görülmektedir [11]. Genleşmiş perlitin kullanım alanlarına bakıldığı zaman farklı sektörlerle yönelik satışlarının ve kullanımlarının olduğu görülmüştür. Bu sektörler arasında inşaat, tarım ve sanayi alanları bulunmaktadır. Ayrıca perlit malzemesi katkı malzemesi, dolgu malzemesi ve yalıtım malzemesi olarak da çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır [2].

Yapılan literatür çalışmaları doğrultusunda perlit malzemesinin %70 gibi yüksek bir oranda inşaat sektöründe kullanıldığı görülmektedir [2], [12]. İnşaat sektöründe genel olarak çeşitli açılardan yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır [1], [2]. Ayrıca, perlitli sıva türleri ve izolasyon malzemeleri de inşaat alanında sıklıkla kullanılmaktadır [2]. Sıva olarak kullanılmasının nedenleri arasında ise sıva malzemeleri bakımından önemli özelliklere sahip olması bulunmaktadır. Bu özellikler arasında ise diğer maddelerle kolayca bağlanabilmesi, testere gibi malzemelerle kolayca kesilebilmesi, elastik özelliği sahip olması ve ısı izolasyonunu kolayca sağlayabilmesi bulunmaktadır [1]. Sanayi sektörüne bakıldığı zaman ise perlitin birkaç alanda kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Bu alanlar arasında gıda, ilaç ve kimya gibi sektörler bulunmaktadır. Dolgu özelliği sayesinde bu üç alanda kullanılan perlit maddesi ayrıca ısı yalıtımı özelliğinden dolayı da seramik çeşitlerinde kullanılmaktadır. Perlit malzemesi bu özelliğine ek olarak toprağın özelliklerini geliştirdiği için tarım sektöründe de sıklıkla tercih edilmektedir [2].

Ayrıca perlit malzemesi metalürji alanında da kullanılmaktadır. Genel olarak bu alanda katkı maddesi görevi yapmaktadır. Ayrıca ham perlitin kullanım alanlarına bakıldığı zaman ise demiryollarında ve karayollarında da kullanıldığı görülmektedir. Asfalt dolgu malzemesi görevini karayolları alanında da üstlenmektedir. Bunun yanı sıra

demiryollarında patinaj kumu görevini üstlenmektedir. Perlit malzemesi dökümhanelerde de kullanılmaktadır. Dökümhanelerde genel olarak metal temizleyici ve atık koyulaştırıcı görevlerini görmektedir [12]. Türkiye’de perlit malzemesinin kullanım alanlarına bakıldığı zaman %60 inşaat sektöründe, %20 sanayi alanında, %17 tarımda ve %3 de diğer sektörlerde kullanıldığı gözlemlenmiştir [2].

2.4. REZERVLER

Dünya perlit rezervlerine bakıldığı zaman perlitin birçok ülkede bulunduğu görülmektedir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, İtalya, Türkiye ve Yunanistan gibi ülkeler perlit rezervleri açısından en önemli ülkelerdir [2].

Avrupa, İzlanda, İskoçya, Kuzey İrlanda, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Rusya, Japonya, Avustralya, Yeni Zelanda, Amerika, Türkiye ve Ege adalarında perlit rezervleri bulunmaktadır [11].

Kuzey Amerika’ya bakıldığı zaman ABD rezervlerin 45,4 milyon ton diğer bölgelerin ise 4,5 milyon ton gibi değerlere sahip olduğu görülmektedir. Avrupa bölgesine bakıldığı zaman ise Yunanistan’ın 45,5 milyon ton iken diğer bölgelerin 453,6 milyon ton değerine sahip olduğu bilinmektedir. Asya bölgesinde ise Japonya ve Filipinler’in 9,1 milyon ton perlit rezervi bulunurken Türkiye 27,3 milyon ton rezervine sahip olduğu bildirilmiştir. Afrika ve Okyanusya bölgelerine bakıldığında ise 22,7 milyon ton değerinde perlit rezervi olduğu görülmektedir. Dünya geneline bakıldığında ise 635 milyon ton perlit rezervinin bulunduğu bildirilmiştir [13].

Perlit ham rezervlerinin milyon ton cinsinden sıralaması yapıldığı zaman görünür rezervleri Amerika (50), Yunanistan (50), Türkiye (30) ve Japonya (10) şeklindedir. Olası rezervlerin sıralamasına bakıldığı zaman ise Türkiye (5700), Yunanistan (300) ve Amerika (200) şeklindedir. Diğer ülkelerin toplam değerine bakıldığı zaman görünür rezervlerin (560) olası rezervlerden (1500) daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Dünya’da ki bütün ülkelerin toplamına bakıldığı zaman ise görünür rezervlerin 700 milyon ton değerine sahip olduğu bilinirken olası rezervlerin 7700 milyon ton olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Literatüre bakıldığı zaman Türkiye’nin perlit rezervleri açısından önemli bir konuma sahip olduğu görülmüştür. Türkiye’deki olası rezervlerin değerinin çok yüksek olduğu ve diğer ülkelere oranla çok daha fazla olduğu literatürde bulunmaktadır [2].

2.5. PERLİT MALZEMESİNİN TÜRKİYE’DE BULUNMA ŞEKİLLERİ VE EKONOMİSİ

Türkiye’de perlit malzemesinin bulunuş şekillerine bakıldığı zaman rezervlerin yaşlı volkanik bölgelere yayıldığı görülmektedir. Farklı bölgelerde bulunan perlit rezervlerinin özelliklerine bakıldığı zaman çeşitli örnekler bulunmaktadır. Örneğin, Menderes’te bulunan perlitlerin Murat Tepe ile Karadağ bölgelerinin ortasında bulunduğu ve 10 km uzunluğunda yayıldığı görülmektedir. Ayrıca yatakların derinliğinin 25 ile 90 m arasında olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra İç Anadolu bölgesinde bulunan Nevşehir şehrine bakıldığında Acıgöl krateri etrafında tali domlar şeklinde yer almaktadırlar. Türkiye’de ki perlit rezervlerine bakıldığı zaman 4,5 milyar ton seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir [14].

Türkiye’ye bakıldığı zaman olası rezervler açısından Dünya’da en büyük perlit rezervine sahip olduğu görülmektedir. Türkiye’de bulunan perlit rezervlerinin çeşitli şehirlerine ve ilçelerine milyon ton biriminden dağıldığı görülmektedir [3]. Erzurum (Pasinler, 35), Van (Erciş, Süphan ve Nemrut, 80), Ankara (Kızılcahamam I 3-4, Kızılcahamam II 35), İzmir (Foça, 10), Balıkesir-Çanakkale (20), İzmir (Dikili, 5), Eskişehir-Kütahya ve Afyon (4,6), Konya-Nevşehir ve Niğde (700)’de bulunmaktadır [11].

Daha güncel çalışmalara bakıldığı zaman perlit rezervlerinin Türkiye’de öncelikli olarak Cumaovası, Manisa, Biga, Soma, İzmir-Dikili, Konya ve Erzincan-Mollaköy’de bulunduğu görülmektedir. 2001 ile 2005 arasındaki perlit üretim miktarına bakıldığı zaman genel olarak artış sergilediği görülmektedir. 2001 senesinde perlit üretim miktarı 315 bin ton iken 2004 senesinde bu değer 366 bin tona ulaşmıştır. Üretim değerinin ise 2001 senesinde 3.891 bin TL olduğu gözlemlenirken 2004 senesinde bu değer 7.922 bin TL’ye ulaşmıştır. Perlit tüketim miktarına bakıldığında ise 2001 senesinde 216 bin ton iken 2004 senesinde 150 bin ton olduğu sonucuna varılmıştır. Yurtiçinde tüketilen perlit miktarının azaldığı gözlemlense de ihracat edilen perlit miktarının seneler geçtikçe arttığı sonucuna varılmıştır. 2001 senesinde 100 bin ton perlit ihracat edilirken 2004 senesinde 215 bin ton perlit ihracat edilmiştir. Ayrıca bu perlitlerin değeri ise 2001 senesinde 2,8 milyon dolar iken 2004 senesinde 7,1 milyon dolardır [2]. Dolayısıyla perlit rezervlerine sahip olan Türkiye ekonomik açıdan önemli bir değere sahiptir.

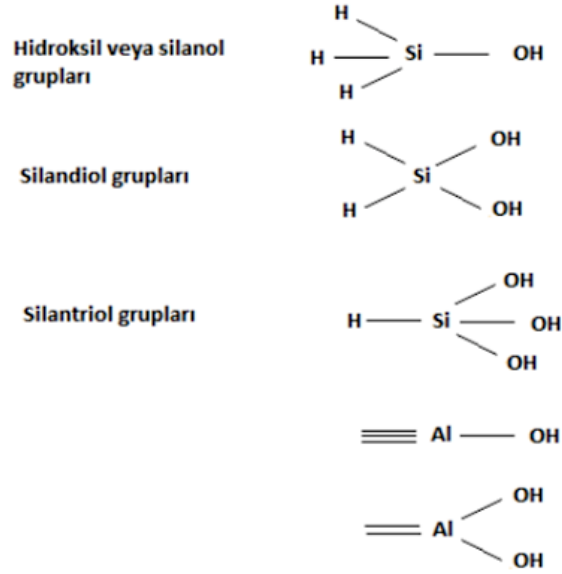
Literatürde ham perlit üretimine bakıldığı zaman 2012 ile 2018 seneleri arasındaki değerlerin özetlendiği çalışmalar bulunmaktadır. 2012 senesinde ham perlit üretiminin 887 bin ton olduğu gözlemlenirken bu değerin 2018 senesinde 1000 bin tona ulaştığı bildirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 2014 yılında perlit üreten ülkeler arasında Türkiye'nin %40'lık dilimle Dünya'da üretim alanında birinci sıraya geldiği görülmüştür [4]. Fakat 2018 senesiyle Çin'de perlit üretimine katıldıktan sonra Türkiye'nin yüzdelik diliminin 22'lere indiği gözlemlenmiştir [12].

Türkiye'de perlit malzemesinin işletmeciliğini yapan şirketlere bakıldığı zaman Eti-Holding (Menderes), Perlisan Ltd (Bergama), Harbolite Aegean (Bergama), Silver and Baryt (Karabiga), Persa (İstanbul) ve Perlitaş (Bergama) gibi 6 önemli isim görülmektedir [14].

2.6. PERLİTE ADSORPSİYON ÖZELLİĞİ VEREN GRUPLAR

Adsorpsiyon, absorpsiyon ve sorpsiyon birbirine karıştırılabilen üç temel kavramdır. Adsorbat ve adsorbent iletişim haline geçtikleri zaman adsorbentin belli bir tarafı adsorbent tarafından tutulmaktadır. Eğer iç kesim ile iletişim haline geçilirse absorpsiyon diye adlandırılır. Yüzeye tutularak reaksiyon gerçekleşiyorsa eğer adsorpsiyon denilir. Bazı durumlarda tutunma iki türlü de olabilmektedir. Bu durumlarda olay sorpsiyon olarak isimlendirilmektedir [3].

Perlit malzemesine de adsorpsiyon özelliğini veren bazı moleküller bulunmaktadır. Bu moleküllerden temel olanlardan biri hidroksil gruplarıdır. Silisyum atomları ile hidroksil gruplarındaki oksijen etkileşimi sonucunda tetrahedral koordinasyonlarının korunması sağlanmaktadır [15].

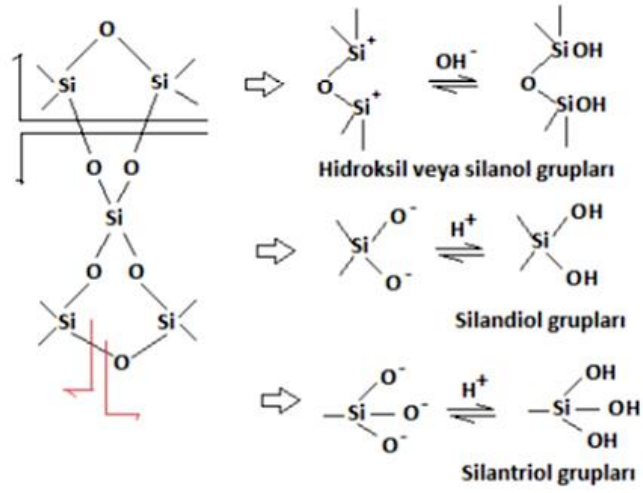


Şekil 2.2. Perlit malzemesine adsorpsiyon özelliği veren gruplar [8].

Yapıya tek değerli hidroksil grupları eklendiği zaman normal koşullarda silanol gruplarının oluşumu sağlanmaktadır [15], [16]. Şekil 2.2’de çeşitli silanol grupları görülmektedir [16]. Ayrıca yüzey hidroksil gruplarının asidik iyonlaşmasından dolayı negatif yüzey yükü oksitler ile katyonların adsorpsiyon olmasını sağlamaktadır [15].

2.7. PERLİTİN YÜZEY YÜKLERİNE PH ETKİSİ

Perlitin yüzey yüklerinin pH olan etkisi önemlidir. Silanol grupları genel olarak perlit malzemesinin yüzeyinde bulunmaktadır [15], [16]. Bu gruplar adsorpsiyonda önemli etken oldukları gibi pH üzerinde de önemli bir faktördür. pH arttıkça negatif yüzey yükünde doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir [15]. Yüzey yükü ile ilgili olan mekanizma Şekil 2.3’te gösterilmektedir [16].



Şekil 2.3. Perlit malzemesinin yüzey yükleri [9].

Perlit malzemesinin geniş aralıklı pH değerine ve negatif yüke sahip olmasının nedenleri arasında sıfır yükü noktasına sahip olmaması da bir diğer önemli nedendir. Malzemesinin geniş aralıklı olan pH değeri ise genel olarak 3 ile 11 arasındadır [16].

3. TEMEL BİLGİLER VE YALITIM TEKNİKLERİ

3.1. ISI İLETİMİ VE YALITIMI HAKKINDA BİLGİLER

Isı yalıtımı kavramına bakıldığında zaman genel olarak ısının bir ortamdan başka bir ortama geçişini indirgeyen süreçtir. Isı yalıtımı farklı amaçlarla kullanılabilir. Bu amaçlara bakıldığında ısınma ve yahut soğuma gibi işlemlerin kolaylaştırılmasında kullanıldığı gözlemlenmektedir. Türkiye'nin iklimine bakıldığında zaman mevsimleri şiddetli bir şekilde geçirdiği görülmektedir. Bu bağlamda yaz ayları çok sıcak geçerken, kış aylarında sıcaklık seviyesi fazlasıyla düşmektedir. Dolayısıyla ısı yalıtımı kavramı gündelik hayatta da ısınma ve soğutma işlemlerinin gerçekleşmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu açıdan ısı yalıtımının gerçekleştirilebilmesi için çeşitli bölgelere ısı yalıtımını sağlayan malzemeler döşenmektedir. Bu bölgelere çeşitli örnekler verilebilmektedir. Bu örneklerden bazıları binaların dış yüzeyleri, pencere kenarlıkları ve çatılardır [17].

Yapılan literatür çalışmalarına göre ısı yalıtımının sağladığı birçok avantaj bulunmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde küflenme gibi olaylarında azalma, ısı kaybında %60'a kadar azalma, sıcaklıktan dolayı oluşan çatlaklarda azalma, işletme giderlerinde azalma, hava kirliliğinde azalma ve ısı yalıtımında homojen bir dağılıma gibi birçok avantajı bulunmaktadır [18].

Isı iletiminin gerçekleştiği ortamlara bakıldığında zaman katı sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı koşulda da bu olayın yer aldığı görülmektedir. Fakat hangi maddenin ne kadar ısı aktaracağı konusu araştırıldığında maddelerin ısı iletim katsayısına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Isı iletim katsayısının özelliklerine bakıldığında zaman denklem haline getirildiği görülmektedir [14]. Bu denklem literatür çalışmalarında Fourier Yasası olarak yer almaktadır. Denklemi oluşturan birimlere bakıldığında ise birim zamanda geçen ısı, ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanı, ısı akısı ve ısı iletim katsayısı gibi faktörlerin yer aldığı görülmektedir. Isı iletim katsayısının özellikle mühendislik alanında yapılan çalışmalar açısından önemi büyüktür. Bu durumun temel nedenine bakıldığında zaman birçok yapıdaki ısı iletim olayını Fourier Yasası ve ısı iletim katsayısı üzerine kurulu olduğu görülmektedir [19].

Fourier Denklemi;

$$\frac{Q}{A} = q = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

Q: Birim zamanda geçen ısı miktarı (W)

A: Isı transfer yüzey alanı (m²)

q: Isı akısı (W/m²)

k: Isı iletim katsayısı (W/mK)

3.1.1. Sıcaklık

Sıcaklık kavramına bakıldığında zaman bir ortamda yer alan moleküllerin sadece çarpmalarından dolayı oluşturdukları titreşimden değil aynı zamanda dönme hareketlerinden de etkilendiği sonucuna varılmıştır. Bu noktada yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulara göre bir cismin sıcaklığı ile titreşim enerjileri arasında doğru orantı vardır. Dolayısıyla herhangi bir faktörün artması durumunda diğer faktörde artış göstermektedir. Yapılan literatür çalışmalarına göre, tarihte kaydı olan ilk sıcaklık değerinin Galileo tarafından 16. yüzyılda not alındığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca sıcaklık ile ilgili çalışmalara bakıldığında potansiyel bir dönüşüme neden olabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu noktada, sıcaklığın ısı üzerindeki etkisi incelenmiştir ve farklı seviyelere dönüştürülebildiği gözlemlenmiştir. Dünya üzerinde sıcaklığın ölçülebilmesi ve belli bir standart çerçevesinde kabul edilebilmesi için sıcaklık ölçüm birimlerinin olması gerekmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın ölçülebilmesi için geliştirilen bir aletin var olması gerekmektedir. Termometre bu noktada sıcaklığı ölçmek için geliştirilen bir alettir ve sıcaklığın ölçülmesi için sabit bölgeler kullanılmaktadır. Sıcaklığı ölçerken sadece meydana gelen fiziksel değişimler dikkate alınmaktadır ve referans noktası olarak suyun donma sıcaklığı olan 0 °C kabul edilmektedir. Sıcaklık ölçülerine bakıldığında zaman çeşitli birimlerin yer aldığı görülmektedir [20]. Bunlara örnek olarak Celsius (°C), Fahrenheit (°F), Kelvin (°K), Rankin (°R) ve Reaumur (°R) verilebilmektedir [20]. Bu ölçü birimleri diğer sıcaklık birimlerine oranlar daha sık kullanılmaktadır ve aralarında dönüşümü sağlamak için denklemler bulunmaktadır [20].

Kelvin birimi sıcaklık ölçüm birimleri arasında sıcaklığın en düşük seviyeye geldiği noktayı yani mutlak 0 noktasını temsil etmektedir [19]. Bu denklemin oluşturulmasında

genel olarak suyun kaynama ve donma noktaları göz önüne alındığı sonucuna varılmıştır [20].

Celsius ile Fahrenheit arasındaki dönüşüm denklemi;

$$C = \frac{F - 32}{1.8} \quad (3.2)$$

Celsius ile Reamur arasındaki dönüşüm denklemi;

$$C = \frac{5}{4} \times (R) \quad (3.3)$$

Celsius ile Kelvin arasındaki dönüşüm denklemi;

$$T(K) = T(C) + 273 \quad (3.4)$$

Yapılan mühendislik çalışmalarına bakıldığında genel olarak termodinamiğin yer aldığı çalışmalarda sıcaklık biriminin Kelvin cinsinden gösterildiği bilgisine literatür çalışmaları sonucunda varılmıştır. Ayrıca Kelvin cinsinin Celsius ile ilişkilendirilmesine neden olan çalışmalara bakıldığı zaman Lord Kelvin'in yaptığı çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bu noktada Lord Kelvin'in donma ve kaynama noktaları aralığını 100 eşit parçaya böldüğü sonucuna ulaşılmıştır [20].

Fahrenheit ile Rankin arasındaki dönüşüm denklemi;

$$F = R - 460 \quad (3.5)$$

Fahrenheit ile Rankin arasındaki dönüşüm denklemine bakıldığı zaman bu birimlerin genel olarak İngiltere ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanıldığı görülmektedir. Genel olarak Rankin ölçüsü Fahrenheit birimi ile ifade edilmektedir ve termodinamik bir sıcaklığa denk gelmektedir [20].

3.1.2. Isı

Literatürde ısı kavramına bakıldığı zaman genel olarak sıcaklık kavramı sayesinde belli bir sistem içerisinde başka bir sisteme doğru aktarılan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Isının enerji türüne bakıldığı zaman termal bir enerji olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ısı miktarının sıcaklık ile doğru orantılı olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır [20].

Isı kavramının birine bakıldığı zaman genellikle joule olarak kullanıldığı bulgusuna varılmıştır. Fakat bazı çalışmalardan elde edilen bilgilere göre ısı kavramının aynı zamanda kalori birimiyle de ifade edildiği görülmektedir [20].

Kalori ile Joule arasındaki dönüşüm;

$$1 \text{ cal}=4,187 \text{ joule}$$

3.1.3. Isı İletimi

Isı iletimine bakıldığı zaman üç farklı şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Bunlar kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile iletim olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar.

3.1.3.1. Kondüksiyonla Isı İletimi

İletim mekanizmasına bakıldığı zaman maddeler arasındaki yüksek enerji aktarımından dolayı kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Maddelerin sıvı ve gaz formlarına bakıldığı zaman iletim mekanizmasının genel olarak çarpışma ve yayılma hareketlerinden dolayı ortaya çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. Maddenin katı formu söz konusu olduğunda ise titreşim ve serbest elektronlar aracılığıyla olduğu sonucuna varılmıştır. Isıl iletkenlik kavramı aynı zamanda bir maddenin ısıyı nasıl ileteceğine dair ölçmeye yarayan birimdir [21].

İletim mekanizmasının denklemi [22];

$$q_x = -k \cdot \frac{dt}{dx} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.6)$$

k: Isı iletim katsayısı

3.1.3.2. Konveksiyonla Isı İletimi

Taşınım ile ısı iletim mekanizmasına bakıldığında genel olarak katı formdan sıvı ve gaz formlarına geçen ısı akışının söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla hem iletim hem de akışkanlıktan kaynaklı olarak ısılar aktarılabilmektedir [16]. Taşınım mekanizmasına bakıldığı zaman genel olarak zorlanmış ve doğal taşınım olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [21].

Taşınım mekanizmasının denklemi [22];

$$q = h \cdot (T_s - T_\infty) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.7)$$

h: Isı taşınım katsayısı

Taşınm katsayısına bakıldığı zaman deneysel olarak hesaplanabilen bir birim olduğu gözlemlenmiştir. Bu birimin yüzey geometrisi, akışkanların hareketi, özellikleri ve yığın hızı gibi çeşitli parametrelere bağlı olduğu görülmüştür [21].

3.1.3.3. Radyasyonla Isı İletimi

Isının iletim mekanizmasına bakıldığı zaman radyasyon yani ışınm mekanizmasının temel ayrımlardan olduğu görülmektedir. Bu noktada, radyasyondan kaynaklanan ısı iletiminin elektron farklılaşmasından kaynaklı olduğu görülmektedir. Radyasyonla ısı iletim mekanizmasına bakıldığı zaman taşınm ve iletimden farklı olarak herhangi bir aracı ortama ihtiyaç duymadığı sonucuna varılmıştır. Yapılan literatür çalışmalarına göre ışınm mekanizmasının iletim ve taşınm mekanizmalarına oranla ısıyı daha hızlı ilettiği sonucuna ulaşılmıştır [21].

İşnm mekanizmasının siyah cisim yayma gücüne yönelik olan denklemi [22];

$$E_s = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (3.8)$$

3.2. ISI YALITIM PRENSİPLERİ

Isı yalıtımı; yapılar içerisindeki ısı kayıpları ve kazançlarının azaltılabilmesi için bina kabuğu, çatı, döşeme, ısıtılan/soğutulan ya da ısıtılmayan/soğutulmayan hacimlerin arası ve tesisatta yapılan işlemler olarak tanımlanmaktadır. Isı yalıtımı uygulaması sonucunda kışın binaların ısınması, yazın serinlemenin sağlanması için gerekli olan enerjinin azaltılması sağlanmaktadır. Bu nedenle özellikle bina kabuğunda çatı, döşeme ve tesisat içerisinde ısı geçiş ve kaybının azaltılabilmesi için ısı yalıtımı gerçekleştirilmektedir. Isı yalıtımının bağlı olduğu faktörler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar; yapı malzemeleri, ısıtma türü, kullanım şekli ve iklimdir.

Isı yalıtımının sağlanabilmesi için özellikle planlanan her bina içerisinde binaya uygun yalıtım malzemesinin seçimi sağlanmalıdır. Isı yalıtımının TS 825 standardına göre kalınlık hesaplaması ve yoğunlaşma kontrolü yapılarak seçilmesi gerekmektedir. İnsanların 20-22 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem oranına sahip olan konutlarda konforlu bir yaşam sürebilecekleri belirlenmiştir. İklimlendirme veya havalandırma sistemlerinde uluslararası standartlara göre konfor bölgesi şartlarından bir tanesi duvar yüzeyleri ve iç hava sıcaklığı arasındaki farkın 3 °C olmasıdır. Eğer dış duvarda iç yüzey sıcaklığının ne kadar yüksekse iç mekan ikliminin de o kadar konforlu olması sağlanmalıdır. İç

mekan içerisindeki hava ve duvar yüzeyi arasındaki ısı farklılığı incelendiğinde bunun az olması durumunda mekan içerisindeki havanın hareketinde de azalma görülecektir. Bu durumda hava akımı oluşmadığı için mekan içerisinde yaşayanlar ortamı konforlu olarak algılamaktadırlar.

Isı yalıtımının ana unsurları şu şekilde belirlenmiştir. Bunlar; doğru detay, nitelikli malzeme ve doğru uygulama olarak sıralanmaktadır. Isı yalıtımında uyulması gereken prensipler şu şekilde belirtilmiştir;

- Yalıtımın ısı köprüsü oluşturmayacak şekilde sürekli olması gerekmektedir.
- Yalıtım kalınlığının TS 825 Standardına göre belirlenmesi sağlanmalıdır.
- Yoğuşma analizinin TS 825 Standardına göre yapılması sağlanmalıdır.
- Isı köprülerine karşı önlem alınması gerekmektedir [23].

3.3. ISI KÖPRÜLERİ

Isı köprüleri direnç miktarının gereken miktardan daha az olduğu kısımlarda ısıнын aktarma aracı olarak kullanmak için oluşturduğu köprülerdir. Isı köprülerinin oluşmaması ısıнын iletimi ve yalıtımı için önemlidir. Fakat ısı köprülerinin olduğu koşullarda enerji azalması meydana gelmektedir. Bu durum ayrıca ortamı dış etkenlerden korumaya yönelik savunmasız bırakmaktadır. Herhangi bir yapının dış tarafı hava koşullarından korunmadığı sürece yoğuşma gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ısı köprülerinin oluşmasını engellemek özellikle inşaat gibi sektörler için büyük önem taşımaktadır.

Bu nedenle ısı köprülerini engellemek için yalıtım malzemeleri yapıların dış yüzeylerine uygulanmaktadır. Bu dış yüzeylere örnek olarak duvar, balkon, tavan, çatı ve pencere verilebilmektedir [17].

3.4. ISI YALITIM TEKNİKLERİ

Isı yalıtım teknikleri üç başlık altında incelenmektedir. Bunlar; duvar yalıtımı, çatı yalıtımı ile döşemelerde yalıtım olarak sıralanmaktadır. Bunların her birinde uygulanması gereken teknikler incelenerek yorumlanmaktadır.

Duvar yalıtımı incelendiğinde özellikle binaların dış duvarlarından olan ısı kaybının binanın yüksekliğine göre arttığı görülmektedir. Bir binada dış yüzey ne kadar artarsa ısı kaybının da o ölçüde yükseldiği belirlenmiştir. Çok katlı binalar içerisindeki ısı kayıpları incelendiğinde toplam ısısının %40'nın dış duvarlar yoluyla kaybedildiği görülmektedir. Tek katlı binalar üzerinde inceleme yapıldığında dış yüzeyde küçülme görülmektedir. Bu nedenle de ısı kayıplarının %25 azaldığı belirlenmiştir. Bu görülen rakamın Türkiye'nin toplam enerji talebinin %14'üne denk gelmektedir.

Binaların özellikle dış duvarlarından enerji kaybı yaşandığı görülmektedir. Bu kaybın nedeni ise dış duvarların doğrudan atmosferik şartlara maruz kalmasıdır. Türkiye'de dört iklimin yaşanmasından dolayı yapı bileşenleri içerisinde oluşan büzülme ve genleşme gibi fiziki değişimlerin binaların güvenilir ve uzun ömürlü olmasına negatif yönde etkisi bulunmaktadır. Binalardaki fiziki değişimlerin önlenmesi ve daha güvenli binalara kavuşabilmek için binaların yönetmeliklere ve standartlara uygun yalıtım malzemeleriyle yalıtılması gerekmektedir [24].

Binalar içerisindeki döşemelerde yalıtım uygulamaları üç şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ara kat döşemeler, zemine oturan döşemeler ve açık geçit üzerindeki döşemelerde yapılmaktadır. Zemine kat döşemeleri incelenirken özellikle ısı kayıplarının azaltılabilmesinin sağlanabilmesi için ısı yalıtım detaylarının çözümlenebilmesi gerekmektedir. Binaların yapı kabuklarının diğer bölümleri içerisinde uygulanan ısı yalıtım faktörlerinden farklılık göstermektedir. Çünkü bina ile zeminin oldukça yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Zemin katlarda gerçekleştirilen ısı yalıtımlarında özellikle döşemeler ve dış duvarlardaki su, buhar yalıtımlarının ilişkisi içerisinde olması gerekmektedir.

Toprak zemine oturan döşemelerin yalıtımında kullanılan malzeme ekstrüde polistiren köpük levhalar olarak görülmektedir. Bu malzemenin kullanılmasının nedeni minimum yoğunluğunun 30 kg/m³, %10 deformasyonda basınç gerilmesinin de minimum 300 kPa olmasıdır.

Toprak zemine oturan döşemelerde yapılacak yalıtım incelendiğinde aşağıdaki gibi bir işlem yapılması gerekmektedir. Bu işlemler şu şekilde sıralanmaktadır;

-Zemin üzerine blokaj ve grobeton işlemi gerçekleştirilerek, bunun üstüne su yalıtım örtüsünün serilmesi gerekmektedir.

-Isı yalıtım malzemesinin ıslanmasını önlemek için üzerine bir malzeme örtülerek onun üstüne şap dökme işlemi gerçekleştirilecektir.

-Şap üzerine istenilen döşeme kaplaması uygulanmaktadır.

Diğer bir uygulama işleminde ise şu sıra izlenmektedir;

-Öncelikle zeminde blokaj üzerine grobeton uygulanmamakta buraya tesviye şapı atılmaktadır.

-Tesviye şapının üzerine ısı yalıtım malzemelerinin yapıştırılmadan yerleştirilmesi gerekmektedir.

-Isı yalıtım malzemesinin üzerine su yalıtım örtüsünün uygulanması sağlanmalıdır bu işlem gerçekleştirilirken yapıştırma işlemi kaynak ile yapılmamalıdır.

-Su yalıtım örtüsünün üstüne grobeton dökülerek, mala perdahı ve tesviye şapı yapılmaktadır. Bunun üzerine de döşeme kaplaması yapılarak yalıtım sağlanılmaktadır.

Ara kat döşemeleri incelendiğinde özellikle ısı ve ses yalıtımının sağlanabilmesi için yüzer şap uygulamasının yapılması gerekmektedir. Burada döşeme betonu üzerine yüzer levhalar serbest olarak yerleştirilmektedir. Sonrasında bu zemin üzerine su geçirmesi olmayan bir örtü serilerek, şap betonu dökülmektedir. Şap işleminden sonra zemin döşeme kaplamasıyla kaplanarak yalıtım gerçekleştirilmektedir. Eğer zemin şapa uygun değilse o zaman yalıtım malzemesi uygulanarak onun üstüne döşeme kaplama işlemi yapılır.

Açık geçit üzeri döşemelerde ısı yalıtımının gerçekleştirilmesinde öncelikle döşemenin dış düzeyine ısı yalıtım levhaları dübel ile delinerek yerleştirilmektedir. Bu işlemten sonra levhaların bağlantısının gerçekleştirilmesinden sonra son kat hazır sıva uygulaması yapılmaktadır. Burada başka bir uygulama olarak iki ya da bir tarafı ahşap yünü olan kompozit levhalar ile de ısı yalıtımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu levhaların üzeri çimento sıvası ile kaplanarak, en son döşeme kalıbının içerisine beton dökme işlemi yapılmaktadır [25].

Çok katlı binalarda ısı kayıpları incelendiğinde özellikle çatıda ısı kaybının yüksek olduğu görülmektedir. Burada çatının iyi bir şekilde ısı yalıtımının yapılması gerekmektedir. Az katlı binalarda çatıdan dolayı oluşacak ısı kayıpları yüksektir. Çatılar düz ve eğimli çatılar ile sıcak ve soğuk çatılar olarak iki farklı grup halinde incelenmektedir [26].

Havalandırılabilen hava boşluğu olan çatılar soğuk çatı olarak tanımlanmaktadır. Bu çatılarda yalıtım; örtü malzemesine göre değişmektedir. Eğimli ahşap olan çatılarda ise merteklerin üzerinde bulunan kaplama tahtasının üzerine de yalıtım malzemesi yerleştirilebilmektedir.

Yapıların tüm dış yüzeylerinin ısıtılmadığı mekanlarda bitişik yüzeylerin ısı yalıtımlı olması gerekmektedir. Bu yüzeylerden biri olarak çatı arası döşemesi görülmektedir. Çatı arası döşemesinde ısınan havanın yükselerek çatı döşemesi altında bulunan tavana yakın yer olmasından dolayı çatı arası yalıtım büyük önem taşımaktadır. Kullanılmayan çatı araları ele alındığında onlarda ısı yalıtımının yeri olarak çatı arasının döşemesinin üzeri görülmektedir. Isı yalıtımı yapılmadan önce yapılması gerekenler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Çatı arası temizliğinin gerçekleştirilmesi,
- Çatının su yalıtımının sağlanması gerekmektedir.

Isı yalıtım malzemesinin ıslanmaması gerekmektedir. Bu nedenle çatı örtüsü altında bir önlem alınması sağlanılmalıdır. Çatı döşemesi üzerine buhar geçirimli ısı yalıtım uygulaması gerçekleştirilmelidir. Yalıtımın soğuk tarafına da havalandırma yapılması gerekmektedir. Isı yalıtımının yapıldığı çatının eğitiminin %10'un altında olması durumunda yalıtımın sıcak tarafına buhar kesici koyulması sağlanmalıdır.

Betornarme eğimli çatılar mühendisler ve mimarlar tarafından tercih edilmektedir. Betonarme eğimli çatıların tercih edilme nedenleri şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Maliyetin düşürülmesi,
- Eğimli tavan istenilmesi,
- Tasarımın gerektirdiği konstrüktif nedenler ve düşüncelerdir.

Isı yalıtımı binalarda döşemeler üzerine yapılmaktadır. Döşemeler üzerine ısı yalıtımı alttan veya üstten gerçekleştirilmektedir. Alttan yapılması durumunda çatı kaplamasının altında bulunan kadronlar arası boşluk havalandırmanın gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Böyle bir durumda ısı yalıtımının ahşap kadronlar üzerinden yapılması gerekmektedir.

Isı köprülerinin önüne geçmenin sağlanabilmesi için eğimli plak üzerinde yapılan ısı yalıtımının saçak etrafında döndürülmesi gerekmektedir. Bina içerisinde iç hacmin kısa

sürede ısınmasının sağlanabilmesi için gerçekleştirilen ısı yalıtımında iç yüzey içerisinde bir buhar kesici örtü kullanılması gerekmektedir.

Tavan seviyesinde betonarme döşeme üzerine ısı yalıtım malzemesi serilmektedir. Oturtma çatı ile ısı yalıtımının arasında havalandırma bulunması gerekmektedir. Mevcut binalarda bu uygulama kullanılabilmektedir. Teras çatı üzerine bir oturtma çatı ilave edilirken ya da girilebilen çatı aralarında mevcut ısı yalıtımının yenilenmesinde oluşturulabilmektedir. Bu mekanlarda kontrol yapılarak sonradan müdahale yapılabilmektedir. Kış dönemi içerisinde özellikle nem yüklü havanın döşeme ve ısı yalıtımını geçmesi ve bunun sonucunda çatı boşluğuna ulaşması durumunda ısı yalıtımının üzerinde bulunan tarafta özellikle soğuk yüzeyde yoğuşmanın gerçekleşebildiği görülmektedir.

Hava boşluğu çatıların eğimi ve saçak altına göre değişmektedir. 15°'den düşük eğimli olan çatılarda minimum 25 mm 15°'den yüksek eğimli çatılarda ise min 10 mm havalandırma boşluğu bulunması gerekmektedir. Burada görülen boşluk alanlarının toplamı incelendiğinde çatı düzleminin 1/500'ünden az olmaması gerekmektedir.

Sıcak çatı; çatıyı oluşturan tabakalar arasında hava boşluğu bulunmayan çatılar olarak tanımlanmaktadır. Çatılar genel olarak ısıtılan mekanın tavanını oluşturmaktadır. Bu çatılarda özellikle üzerine uygulanan yalıtım katmanları arasında boşluk bulundurulmamaktadır. Minimum eğimli çatılar (maksimum %5) üzerine çatı fonksiyonu haricinde belirli yapılar yapılmaktadır. Bunlar; çatı bahçeleri, yürünebilir teraslar, helikopter pistleri ve yürünebilir teraslardır. Bazı çatılar incelendiğinde örtü elemanları ile iklim şartlarından korunduğu görülmektedir. Teras çatılar ise dış ortama açık çatılar olarak adlandırılmaktadır. Bu çatılar büyük sıcaklık değişimlerinin etkisi altında kalmaktadırlar. Bazı çatıların örtü elemanları ile iklim şartlarından korunması için teras çatı adı verilen çatıların dış ortama açık çatılar olarak büyük sıcaklık değişimi altında kalabildikleri görülmektedir. Bu çatılarda yaşanan değişimlerin tüm çatı sisteminin durabilitesini etkileyebildiği görülmektedir.

Kış aylarında ısı kayıplarının azaltılabilmesi ve çatının ısı direncinin artırılabilmesi için çatıya yalıtım uygulanması gerekmektedir. Çatı elemanlarında en fazla ısı kaybı, ısınan havanın yükselmesi ile çatı yüzeyinden meydana gelmektedir. Bu nedenle ısı direncin daha az tutulmaya çalışıldığı, yalıtım kalınlığının en fazla olduğu elemanlar

çatı olarak görülmektedir. Türkiye’deki yalıtım kalınlığı ve yerinin belirlenmesinde iki faktör büyük önem taşımaktadır. Bunlar;

-Isı kazancı,

-Isı kayıpları,

-Çatı kesitindeki sıcaklık değişimleri.

Yalıtım yapılacak olan çatılarda özellikle koruyucu tabaka olarak çakıl kullanılması gerekmektedir. Serilecek olan çakıl kalınlığının 5 cm’den az olmaması gerekmektedir. Çatıların güneş radyasyonunu yansıtması bakımından değerlendirildiğinde yuvarlak ve renginin açık olması sağlanmalıdır. Çakılların döşemeye yapışmasının sağlanabilmesi için en alt tabakaya serilenlerin bitümlenmiş olması gerekmektedir. Kullanılan çakılların 1,5-2 cm çapında olmalıdır. Koruyucu olarak çakıl bir tabaka olarak kullanılmaktadır. Çakılın kullanıldığı çatılarda özellikle çatı eğiminin %5’den daha fazla olmaması gerekmektedir. Buradaki koruyucu tabaka çakıllardan oluşmaktadır. Bunun yanında toprak çim ve bitki çeşitleriyle yeşillendirilerek güneş radyasyon tesiri azaltılmaktadır. Yeşillendirmenin tipi de yapılara göre değişmektedir. Seyrek yeşillendirme hafif yapılarda uygulanırken, yoğun yeşillendirmenin sağlam yapılarda kullanılması gerektiği görülmektedir.

Teras çatılar incelendiğinde; bunlarda su yalıtımının ısı yalıtımının sıcak tarafına koyulması sonucunda gerçekleşmektedir. Burada kapalı gözenekli olarak üretilen ısı yalıtım malzemesinin kullanılması sonucunda geliştirilen ters çatı detayının iş kalemını azalttığı görülmektedir. Sistemin verimli şekilde sağlanabilmesi için özellikle su yalıtımı ile süzgeç birleşimlerinde, bunun yanında eğim betonunun dökülmesinde itinalı şekilde çalışılması gerekmektedir. Buradaki eğim betonu suyun süzgece doğru akışını sağlayarak, su yalıtımı ile süzgeç birleşimini su yalıtımının altına kaçmadan tahliye borusuna verilmesinin sağlanması gerekmektedir. Eğer bu şekilde yapılmazsa o zaman suyun çatı katının tavanına sızması ve bunun sonucunda istenilmeyen zararlar ve konforsuzluğun olduğu ortaya çıkmaktadır. Teras çatılarda uygulanan bütün detaylar büyük önem taşımaktadır. Özellikle terasta su yalıtımı ile süzgeç birleşim detayının sağlanması gerekmektedir. Su yalıtımında kapalı gözenekli ısı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda meydana gelecek olan kusurlarda su yalıtımının tamir edilerek, ısı yalıtım malzemesinin tekrar yerine yerleştirilmesi sağlanılmalıdır.

Bazı çatıların ise üzerinde gezilebilmektedir. Bu tarz çatılarda koruyucu tabaka olarak daha çok kara kaplama ile blok beton kullanılması gerekmektedir. Çok amaçlı çatıların kullanıldığı şekiller şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Küçük balkon alanları,
- Kullanıma açık teraslar,
- Yürüyüş alanları,
- Spor sahaları,
- Helikopter pisti ve parklar.

Teras çatılarda su yalıtımı yapımında açık gözenekli ve su emmesi fazla olan ısı yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Bu malzemenin kullanılması halinde ısı yalıtım malzemesinin soğuk tarafına uygulanan su yalıtımına ek olarak ısı yalıtım malzemesinin sıcak tarafındaki buhar dengeleyicinin ısı yalıtım malzemesini üç taraftan sarması ve ısı yalıtım malzemesinin içine kontrolsüz olarak buhar girişinin önlenmesi sağlanmaktadır. Açık gözenekli olan ve su emmesi fazla olan ısı yalıtım malzemelerinin ıslanması halinde ısı yalıtımı görevini üstlenemedikleri görülmektedir.

Yalıtım malzemesi olarak ıslanma ve kuruma sonucunda özelliklerini kaybetmeyen ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması sağlanmalıdır.

4. ISI YALITIMINDA PERLİT KULLANIMI

Yirminci yüzyılın büyük sorunlarından olan enerji bunalımı ve çevre kirliliği binalarda yalıtımın öneminin giderek artmasını sağlamaktadır. Enerji bunalımı sonucunda toplumlar yeni enerji kaynakları aramakta, bunun yanında mevcut kaynakları akılcı bir şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Bu nedenle bu dönem içerisinde perlit kullanımının önemi ortaya çıkmıştır. 1940'lı yıllardan önce Amerika'da sonrasında da Avrupa'da perlit yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Etibank Türkiye'de gerek perlit üretimi, gerekse perlit tanıtımına öncülük eden kuruluş olarak görülmektedir. Perlit 2-5 oranında su içeren volkanik kökenli camsı bir silisyum kayacı olarak tanımlanmaktadır. 800-1150 °C'de ısıtıldığında hacminin 4-30 kadar genişleyerek düşük yoğunluklu gözenekli beyaz bir materyale dönüşmektedir. Kazandığı yeni özelliklerle perlit harika bir ısı izolasyon malzemesi olmaktadır. Perlitin ısı iletkenlik katsayısı 0,04 Kcal/mh°C'dir.

Genleştirilmiş perlit; hafif camsı şekilde, gözenekli bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Burada oluşan duruma intimesens adı verilmekte burada oluşan ürüne ise genişmiş perlit adı verilmektedir.

Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran özellikler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Düşük yoğunluk,
- Fiziksel esneklik,
- Kimyasal tepkimesizlik,
- Düşük ısı,
- Ses iletkenliği,
- Ateşe karşı dayanıklılıktır.

Perlitin üç temel kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar;

- İnşaat sektörü,
- Tarım sektörü,
- Endüstri üzerinedir.

Dünyada üretilen perlitin kullanım alanları incelendiğinde bunların %70'nin inşaat sektöründe beton yapımı ve bunun yanında kiremit izolasyon maddesi olarak kullanıldığı; %10'nun filtre yardımcı malzemesi olarak kullanıldığı, %10'nun tarım sektöründe kullanıldığı, %7'sinin dolgu sektöründe kullanıldığı, %3'nün de değişik sektörlerde kullanıldığı belirlenmiştir. Buradan da görüleceği üzere üretilen perlitin büyük bir çoğunluğu inşaat sektöründe kullanılmaktadır.

Perlitin en önemli özelliği bünyesi içerisindeki suyu uzun süre tutması olarak görülmektedir. Bu nedenle özellikle tarım sektöründe kullanılmakta, perlit sayesinde tarımsal ürünlerin rahat bir şekilde büyümesi sağlanmaktadır.

Perlitin ısı ile genleştirilerek kullanılması dışında üretildiği gibi kullanımının da yaygın olduğu görülmektedir. İnşaat sektöründe perlit; sıva, beton, briket, kiremit, yer ve duvar karosu üretiminde kullanılan bir madde olarak belirlenmiştir. Perlitin inşaat sektöründe kullanılmasının en önemli özelliği ise ısı geçirgenliğinin düşük olmasıdır. Bu nedenle perlit iyi bir izolasyon malzemesi olarak görülmektedir. Binaların iç ve dış yüzeylerinin perlit sıva ile kaplanmasıyla izolasyon sağlanabilmektedir.

Bunun yanında patlatılmış olan perlitin özellikleri ise şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

-Isı ve ses yalıtım özelliği bulunmaktadır,

-Hafiftir,

Patlatılmış perlit duvar yapımında gevşek dolgu izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Boyutlandırılmış perlit ise çimentoyla taşıyıcı ve zemin betonlarında, sıva olarak ise her çeşit inşaat uygulamasında kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Perlitin özellikleri.

Fiziksel özelliği	Özelliği
Renk	Beyaz
Reaktivite indeksi	1,5
Serbest nem	%0,5

Çizelge 4.1. (devam) Perlitin özellikleri.

pH	6,5-8,0
Yoğunluk	2,2-2,4
Kabarmış yoğunluğu	32-400 kg/m ²
Yumuşama noktası	871-1093 °C
Ergime noktası	1260-1343 °C
Isınma ısısı	387 kgK
Isı iletim katsayısı	0,04-0,06 W/mK

Çizelge 4.2. Farklı ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

Isı yalıtım malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Yangına tepki sınıfı	Yoğunluk (kg/m ³)
Genleştirilmiş perlit	0,040-0,065	A1	30-123
XPS	0,030-0,040	D-E	20-50
EPS	0,035-0,040	D-E	15-40
Cam yünü	0,035-0,050	A1-A2	11-50
Taş yünü	0,035-0,050	A1-A2	50-150
PUR	0,025-0,040	B-C-D/D-E	40-42
Fenol köpüğü	0,030-0,045	B-C-D	80-160
Cam köpüğü	0,045-0,060	A1-A2	135
Ahşap yünü	0,035-0,076	B, C, D	50-120
Ahşap lifli levhalar	0,035-0,070	C-D-E	100-150

4.1. GEVŞEK DOLGU UYGULAMALARI

Perlit tanecik (gevşek dolgu, katkı), karışım (sıva, harç, beton vb.) veya biçimlendirilmiş ürünler (blok, pano, levha) olarak yapı içerisinde kullanılmaktadır. Gevşek dolgu uygulamalarında özellikle genleşmiş perlit taneciklerinin bağlayıcısız olarak yapıda dolgu gereci olarak kullanıldıkları belirlenmiştir. Genleşmiş perlit tanecikleri 80-128 kg/m² yoğunluğu bulunmaktadır.

Gevşek dolgu perlitin kesit kalınlığına ilişkin ısı geçirgenliği aşağıdaki Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Perlit gevşek dolgu yalıtımının kesit kalınlığına bağlı ısı geçirgenliği.

Kesit kalınlığı (cm)	Isı geçirgenliği (Kcal/m ² h°C)
25	1,80
5,0	0,90
7,5	0,60
10,0	0,45
12,5	0,36
15,0	0,30
17,5	0,25
20,0	0,22

Genleşmiş perlit; alçı ve çimento gibi bağlayıcılarla karıştırılmadan serbest olarak kullanılabilir. Gevşek dolgu uygulaması olarak bilinen bu yöntemde ısı ve ses yalıtımının amaçlandığı görülmektedir.

Gevşek dolgu uygulamaları, genellikle sandviç duvarlarda iki duvar arası boşluğun veya briketlerle örülen duvarlarda briket boşluklarının doldurulması şeklinde yapılmaktadır. Bu tatbikatlarda, kullanılan genleşmiş perlitlerin ısı iletkenlik katsayılarının nem etkisinde değişmemesi için suya karşı korunması gerekmektedir. Bunun için perlit

tanecikleri üretim esnasında veya üretildikten sonra pulverizasyonla silikon esaslı maddeler ile kaplanmaktadır. Silikonlu maddeler perlit tanelerinin nemden etkilenmesini önlemektedir. Silikonla kaplanmış perlit yerine naylon torbalar içerisine konulmuş genleşmiş perlitler de iki duvar arasına yerleştirilerek sandviç duvar uygulamaları yapılmaktadır.

Gevşek dolgu yalıtımı uygulamalarında genleşmiş perlit ısı iletkenlik katsayısı ve inorganik yapısı ile üstün bir malzemedir. 35-80 kg/m³ yoğunluktaki genleşmiş perlitin ısı iletkenlik değerleri 0,021-0,034 Kcal/mh°C'dir. Rakip malzemeler olan bims ve curufa göre altı kat daha fazla yalıtıcıdır. Strafor ve camyünü ile eşit ısı yalıtım katsayılarına sahiptir. Bunun yanı sıra çürümeye, haşereye, suya karşı dayanıklı olduğu için üstün yönleri bulunmaktadır.

Genleşmiş perlit tanelerinin bitüm ile kaplanması da ısıya karşı perlit tanelerinin korunmasını sağlamaktadır. Bitüm ile işlem görmüş genleşmiş perlitler daha çok çatı yalıtımlarında kullanılmaktadır. Bitümlü perlit yoğunlukları 200-300 kg/m³ arasındadır. Isı iletkenlik değerleri 0,048-0,057 Kcal/mh°C'dir.

4.1.1. Isı Yalıtım Betonu

Genleşmiş perlitin diğer bir kullanım alanı yalıtım özelliğine eş değer ısı yalıtım betonudur. Perlit betonları düşük yoğunlukta ve düşük mukavemette olan betonlardır. Yoğunlukları; 400 kg/m³ ile 640 kg/m³ arasında değişmektedir. Perlitli ısı yalıtım betonları çoğunlukla zemine oturan döşemelerde ve alt yüzü dış etkilere açık olan döşemelerde uygulama alanı bulmaktadır.

Perlit betonu ısı iletkenlik katsayısı yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Buradaki değer 0,084 Kcal/mh°C ile 0,133 Kcal/mh°C arasındadır. Oturtma çatılarda 12-15 cm kalınlığındaki perlit betonu gerekli olan direnci vermektedir. Daha yüksek dirençlerin gerektiği yerlerde gevşek perlit dolgusu bitümlü perlit uygulamaları yapılabildiği gibi perlit betonu arasına strafor tabakası yerleştirilerek istenilen dirençler elde edilebilmektedir. 5 mm kalınlığındaki perlit betonu üzerine 6 cm kalınlığında strafor üzerine 4,5 cm perlit betonu kaplanarak yapılan sandviç sistem istenilen direnci vermektedir. Başka bir bölgede ise 5 cm kalınlığındaki perlit betonu arasına 7,5 cm kalınlığındaki strafor tabakası yeterli olmaktadır.

Zemine oturan döşemelerde de perlit betonu kullanılmaktadır. Döşemelerden kaçan ısı kayıplarını önlemek amacı ile yapılan bu uygulama bina içi nem yoğuşmalarını da önleyerek, ortamın nem yoğuşmasından dolayı kişiyi rahatsız edici hal almasını önlemektedir.

Türkiye’de enerji tüketimi incelendiğinde bunun büyük bir bölümünün yapı sektöründe gerçekleştiği belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda özellikle konut sektörü içerisinde enerjinin verimli kullanılabilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilerek uygulandığı tespit edilmiştir. Bu sektörde yaşanan gelişmeler diğer sektörleri de olumlu yönde etkileyecektir [27].

İnşaat sektörü incelendiğinde özellikle ısı yalıtımının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Isı yalıtımının önemli nedenlerinden biri enerji tasarrufu sağlamasıdır. Uygun metotlar sonucunda üretilen yalıtım malzemeleri sağlıklı, ekonomik ve uzun ömürlü olmaktadır. Türkiye’de binalarda ısı yalıtım yönetmeliğinin yürürlüğe girmesinden sonra ısı yalıtım ürünlerine olan talebin günden güne arttığı belirlenmiştir [28].

İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinde en önemli faktörlerden biri ısı iletkenlik katsayısıdır. Isı iletkenlik katsayısı; birim sıcaklık değişimine maruz birim kalınlıktaki malzemenin birim alanından geçen üniform ısı akışı olarak tanımlanmaktadır. Isı yalıtım amaçlı olarak üretilen betonlar için ısı iletkenlik katsayısı önemli bir parametre olarak görülmektedir. Isı iletkenlik katsayısı düşük olan betonlar incelendiğinde bu betonların sıcaklığın yükselmesini geciktirdiği belirlenmiştir. Bu şekilde betonun yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olması sağlanmıştır.

Betonun ısı iletkenlik özelliğinin etkilendiği faktörler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Çimento ve agreganın ısı iletkenlik katsayısı,
- Betonun karışım oranları,
- Nem içeriği,
- Betonun boşluk miktarı,
- Betonun yapısı [29].

Betonun donma çözünme dayanımını arttırmak amacıyla hava sürükleyici katkıların kullanıldığı belirlenmiştir. Hava sürükleyici katkılar; yüzey aktif kimyasallar

kullanılması sırasında beton içerisine boyutları 10 µm ve 1 mm arasında değişen birbirinden bağımsız küresel hava kabarcıklarıdır [30], [31].

Hava sürükleyici katkıların kullanım amacı; betonun donma çözünme dayanımını arttırmak olarak görülmektedir. Diğer bir amacı ise betonun yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi olarak belirlenmiştir. Malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin ölçülmesinde iki yöntem kullanılmaktadır. Bu iki yöntem şu şekilde sıralanmaktadır;

-Sürekli rejim yöntemleri,

-Geçici rejim yöntemleri.

Yoğunlukla sürekli rejim yöntemlerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Sürekli rejim yöntemi içerisinde özellikle belirli kalınlıkta olan test numunesinin her iki yüzeyinde belirlenen sıcaklık farkının ortaya çıkarılması ile numuneden geçen ısı akışının ölçümüne dayanmaktadır. Sürekli rejim esasına dayalı olarak ölçüm yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanları şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

-Isı akış ölçme yöntemi,

-Sıcak levha yöntemi,

-Sıcak kutu yöntemi [32], [33].

4.1.2. Perlitli Hazır Yapı Elemanları

Genleşmiş perlit; alçı veya çimento gibi bağlayıcılar ile karıştırılıp kalıplarda şekil verilerek hazır yapı elemanlarının üretiminde de kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen yapı elemanları 600-900 kg/m³ kuru yoğunluklara ve 0,16-0,22 Kcal/mh°C ısı iletkenliğine sahip olmaktadır. Bu elemanlar lamba-zıvana sistemli olup, örülme kolaylığı getiren yeni inşaat malzemeleridir. Hafiflikleri ve ısı yalıtım özelliğinde oluşları nedeni ile inşaat sektöründe yakın gelecekte kullanım alanları bulacaklardır.

Perlit tesislerinde üretimine başlanan bu yapı elemanları; dış duvarlarda kullanılmak üzere çimentolu, iç duvarlarda kullanılmak üzere alçılı olarak iki çeşittir. Yüzeyleri düzgün olduğundan sıva gerektirmezler. Bu yüzden sıva işçiliğinden maliyet ve zaman olarak tasarruf edilebilmektedir. Bu elemanların örülmesi, normal tuğla duvara oranla yaklaşık iki kat daha kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir.

Isı yalıtımı gereği elde edilme zorunluluğu olan dirençler; perlitli hazır yapı elemanları kullanıldığında aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır;

- 8 cm kalınlığında perlitli blok ile dış cephede 2 cm kalınlığında perlit sıvası,
- 8 cm kalınlığında perlitli blok ile dış ve iç yüzeylere 2'şer cm kalınlığında perlit sıvası,
- 16 cm kalınlığında perlitli blok ile dış yüzeye 2 cm kalınlığında perlit sıvası,
- 16 cm kalınlığında perlitli blok ile dış ve iç yüzeylere 2,5 cm kalınlığında perlit sıvası.

Perlitli hazır yapı elemanlarının delikli tuğla ile birlikte kombine duvar olarak örülmesi de mümkündür. Dış yüzü perlit sıvası ile 3 cm kalınlığında sıvanmış 9 cm kalınlığındaki delikli tuğla duvarın iç yüzeyine 8 cm kalınlığında perlitli blok tuğla örülmesi halinde iç yüzeye sıva gerekmeden gerekli dirençlerin aşılması sonucunda $0,889 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ değerinde bir direnç elde edilmektedir. Kalınlıkların azalmasının net alan artışlarını, ölü yük azalmalarını ve maliyet düşüşlerini sağladığı açıktır.

4.1.3. Perlitli Hazır Sıvalar

Genleşmiş perlitin diğer bir kullanım alanı da sıva yapımıdır. Özellikle Avrupa ve Amerika'da kuru karışım olarak torbalar içinde alçılı ve çimentolu olarak satılmaktadır. Çok çeşitleri bulunmaktadır.

Perlitli sıvalar, genleşmiş perlitin alçı veya portland çimentosu ve katkı maddeleri ile uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilmektedir. Düşük yoğunlukta ve yüksek yalıtım özelliğinde olan malzemelerdir. Isı şartnamesi gereği; klasik inşaat işlemlerine ilave bir işlem getirmeksizin, normal sıva yerine kullanıldıklarında duvar dirençlerini arttırmırlar. Perlitli sıvaların ısı iletkenlikleri $0,08-0,18 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasındadır. Düşük yoğunluklarda olan sıvalar daha yalıtıkcıdır.

Perlitli sıvalar, dış ve iç yüzeylerde başarı ile kullanılmaktadır. İç yüzeylerde alçılı, su ve nem etkisine açık dış yüzeylerde de çimentolu perlitli sıvalar kullanılmaktadır.

Delikli tuğla kullanılarak yapılan duvarlarda; dış yüzeylere 3 cm kalınlığında çimentolu, iç yüzeylere ise 2 cm kalınlığında alçılı veya çimentolu perlit sıvası tatbik edildiğinde duvar kalınlıkları dördüncü iklim bölgesi dışında bugün uygulanan on dokuz cm kalınlıkta sabit kalmakta ve gerekli direnci vermektedir.

4.1.3.1. Birinci İklim Bölgesi

Yapılan hesaplamalar sonucunda 9 cm kalınlığında delikli tuğla duvara 3+2 cm olmak üzere 5 cm kalınlığında perlitli sıva uygulandığında $0,71 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lık bir duvar direnci elde edilmektedir.

Birinci bölgede gerekli olan direnç $0,47 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ olduğuna göre böyle bir tatbikatta %53 oranında ilave direnç, dolayısıyla yakıt tasarrufu sağlandığı açıktır.

19 cm kalınlıkta delikli tuğla kullanılması durumunda iç ve dış yüzeylerde toplam 5 cm kalınlığında perlitli sıva uygulaması; $0,975 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lik bir direnç vermektedir. Bu uygulamada ise elde edilen ilave direnç oranı %107 olmaktadır.

4.1.3.2. İkinci İklim Bölgesi

İkinci iklim bölgesinde 13,5 cm kalınlığında delikli tuğla duvar örülmesi halinde iç ve dış yüzeylere toplam 5 cm kalınlığında perlit sıvası tatbik edilerek $0,83 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ seviyesinde bir direnç elde edilebilmektedir. Şartname $0,70 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lik bir direnci yeterli gördüğü için 13,5 cm kalınlıkta örülen tuğla duvar şartname gereklerini sağladığı gibi %18,5 oranında ekstra yalıtım getirmektedir.

19 cm kalınlığında duvar örülmesi halinde elde edilen direnç daha önce belirtildiği gibi toplam 5 cm perlit sıvası ile $0,975 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ görülmektedir. İkinci bölgede bu uygulama yapıldığında ise %39 oranında ilave yalıtım sağlanacaktır.

4.1.3.3. Üçüncü İklim Bölgesi

Bu bölgede ısı şartnamesi $0,92 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ değerinde bir direnci zorunlu kılmıştır. 19 cm delikli tuğla duvar ve toplam 5 cm kalınlığında perlit sıvası $0,975 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lik bir direnç verdiği göre bu bölgede 6 cm oranında bir ilave yalıtım duvar kalınlığı değişmeksizin sağlanabilmektedir.

29 cm kalınlığında delikli tuğla duvara perlitli sıva tatbikatı yapılması halinde ise bu bölgede %33 oranında direnç artışı olacaktır.

4.1.3.4. Dördüncü İklim Bölgesi

Dördüncü iklim bölgesinde 19 cm kalınlığında delikli tuğla duvar örülmesi halinde 5 cm toplam perlit sıvası tatbikatı yeterli olmamaktadır. Bu uygulamada dış ve iç toplam 7 cm perlit sıvası tatbik edilmelidir. Bu halde elde edilen direnç $1,175 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ olmaktadır. Dördüncü iklim bölgesi için zorunlu olan $1,14 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lik bir direncin biraz üzerinde bir değerdir.

29 cm kalınlığında duvar örülmesi halinde toplam 5 cm kalınlığında perlitli sıva yapılması, $1,225 \text{ m}^2\text{hC/Kcal}$ 'lik bir direnç sağlamaktadır ki bu değer %7 ilave yalıtımı ifade etmektedir.

Verilen örnek ve hesaplamalardan da anlaşılacağı üzere perlitli sıvalar duvar kalınlıklarını arttırmaya gerek kalmaksızın zorunlu dirençleri yerine getirmekte, ayrıca bölgelere göre değişen oranlarda ilave enerji tasarrufu ile sağlamaktadır.

4.1.4. Perlit Dolgulu İzolasyon Tuğlası

Perlit sülfatlı organik tortul bir taştır. Bu taşın 900-1100 °C’de şok ısı ile genişletilmesi sonucunda genişletilmiş perlit oluşturulmuştur. Genleştirilmiş perlitin açık ve kapalı hücre yapıda olduğu görülmektedir. Perlit volkanik bir kayadır ve %2-%6 oranında içinde su barındırmaktadır. Bu kullanılan perlitin koyu gri ve gri renkte olduğu görülmektedir. Perlitin kimyasal bileşimi;

-%75 Silika,

-%15 Alüminyum oksittir.

Perlit volkanik bir taştır Perlitin 850-1100 °C’de ısıtıldığında içerisinde bulunan su ve sıcaklığın etkisi sonucunda 5 ile 25 kat arasında hacminin arttığı görülmektedir [34].

Genleşmiş perlitin fiziksel özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

-Genleşmiş perlitin 80-150 kg/m³,

-Isı iletim katsayısı 0,04-0,06 W/mK,

-Özgül ısı 0,9-1,0 kJ/kgK

Genleştirilmiş perlitin diğer mineral malzemelerle karşılaştırılması sonucunda en düşük ısı iletim katsayısı ile tanımlandığı görülmektedir. Genleştirilmiş perlit ile yapılmış olan paneller yüksek yoğunluğa sahiptir (150-280 kg/m³). Genleştirilmiş perlitlerin ısı yalıtım özellikleri ile diğer malzemelerin yalıtım özelliklerinin aynı olduğu görülmektedir. Genleştirilmiş perlitin iyi bir ses yutucu olduğu belirlenmiştir. Diğer malzemeler özellikle genişletilmiş vermikulit, kil ve agregalarla kıyaslandığında ses yutma katsayısının onlarla eş değer olduğu görülmektedir [35], [36].

Genleştirilmiş perlit yangın durumunda alev geçirmemektedir, yanmazdır ve toksik malzeme içermemektedir. Genleştirilmiş perlitin 1000 °C’ye kadar özelliklerini yitirmeden kullanılabilirdiği görülmektedir. Bu nedenle tuğla yapımında özellikle kullanılmıştır. Genleştirilmiş perlitin basıncı 0,15-1,00 N/mm² çekme ve kopma yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlitin buhar geçirgenlik direnci incelendiğinde bu değer 1,8 olduğu ortaya konulmuştur.

Genleştirilmiş perlitin katkı maddesi içermemesi durumunda kapiler bir malzeme olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak bu malzemenin ısı yalıtım özelliğini yitirebileceği tespit edilmiştir.

Genleştirilmiş perlitin diğer özellikleri aşağıda sıralanmaktadır. Bunlar;

-Genleştirilmiş perlit kimyasal olarak nötrdür. Bu nedenle asit ve bazlardan etkilenmemektedir.

-Genleştirilmiş perlit güneş ışınlarından etkilenmemektedir,

-Genleştirilmiş perlit biyolojik etkilere dayanıklı görülmektedir, bunlar çürümektedir [37].

Perlitin hammaddesi perlit filizinin çıkarımının toprak kalitesi ile zemin suyuna olumsuz etkiler yarattığı görülmektedir. Perlit yeniden kullanılabilir. Geri dönüşümle alçı ve çimento sıvasına katkı maddesi yapılabilir [38].

Perlit tuğlaların içerisine gevşek dolgu malzemesi olarak veya malzemelerin bünyesine serbest bir bağlayıcı olarak karıştırılarak kullanılabilir [34].

Yapıların uzun yıllar korunmasının sağlanabilmesi için özellikle iç ve dış etkilere karşı yalıtım yapılması gerekmektedir. Yalıtım sistemindeki ana amaç; yapı bileşenleri ve taşıyıcı sisteminin dış etkenlerden korunmasının sağlanması, kullanım amacına uygun şekilde sağlık ve konfor şartlarının yapı içerisinde hüküm sürmesinin sağlanması olarak belirlenmiştir.

Bina içerisinde konforlu koşulların sağlanabilmesi için özellikle yapıların dış etkilere korunması gerekmektedir. Bu nedenle yapılarda perlit dolgulu izolasyon tuğlasının kullanılması sağlanmalıdır [39]. Binalarda özellikle kat yüksekliğinin artması sonucunda duvar yüzey alanında büyük bir alan oluşmaktadır. Bu sebeple buradan kaçaklar artmaktadır. Perlit dolgulu izolasyon tuğlaları bu anlamda büyük önem taşımaktadır.

Yapılan AR-GE çalışmaları sonucunda farklı özelliklerde yenilikçi yalıtım malzemelerinin üretildiği belirlenmiştir. Bu malzemelerden biri de perlit dolgulu izolasyon tuğlasıdır. Perlit dolgulu izolasyon tuğlaların ısı performanslarının iyi derecede olduğu ve duvarlardaki ısı kayıplarını minimuma indirdiği görülmektedir.

5. PERLİT DOLGULU İZOLASYON TUĞLASI BİLEŞİMİ

Isı yalıtımının dünyada önem kazanmasının ardından çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır. Son yıllarda araştırmacıların duvar tuğlası üreten işletmelerin tuğla biçimi ve ısı tutuculuğunun artırılması için çalışmalar yaptıkları gözlenmiştir. Üretici işletmelerin tuğlamın niteliğini öne çıkararak, ısı yalıtım tuğlası, izolasyon tuğla ve benzer isimler altında üretim yapmaktadır.

Bir yalıtım malzemesi incelendiğinde buradaki ana parametrelerin ısı iletim katsayısı olarak görülmektedir. 1 m kalınlığındaki homojen bir malzemenin sıcaklık gradyanın 1 K olduğunda birim alanından geçen ısı akışı “ısı iletim katsayısı” olarak tanımlanmaktadır. Isıl yayılım katsayısı; ortam içerisindeki ısı dalgaların yayılımını açıklamaktadır. Bu nicelik malzemenin kendine has olan özelliklerden oluşan bir nicelik olarak görülmektedir. Burada belirtilen büyüklüklerin bir dizi yöntem ile ölçülebileceği ya da değerlendirilebileceği görülmektedir.

Isıl iletkenlik değerleri incelenerek ısı yalıtım malzemelerinin seçildiği görülmektedir. Burada istenilen sonuçlara ulaşmanın neredeyse imkansız olduğu belirlenmiştir. Sadece ısı iletkenlik değeri incelenerek seçilen ısı yalıtım malzemesiyle istenilen sonuçlara ulaşmanın mümkün olmadığı görülmektedir. Yapı içerisinde nem ve yoğunlaşma sorunları nedeniyle birçok sorun ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunların giderilmesi için yapılması gerekenler bulunmaktadır. Yaz aylarında ısı kütlesi dışarıdan sıcaklığın duvarlardan geçişinin yavaşlaması sonucunda yapı içerisindeki sıcaklığın orta seviyede tutulmasının sağlanması gerekmektedir. Yaşanan bu termal gecikme sonucunda dışarıda bulunan sıcaklığın büyük bir bölümünün yapının içerisine girmesinin engellendiği görülmektedir. Kış mevsimi içerisinde ise özellikle ısı kütlesinin güneş ve diğer ısı kaynaklardan gelen sıcaklığı depolamaktadır. Akşam ise bu depolanmış olan ısı yapının içerisine geri verilmektedir. Özellikle ısı kütlesinin kış güneşine dönük olması sebebiyle kışın faydasının yüksek olacağı görülmektedir. Isıl kütlenin R değeri ile yeterince sembolize edilemediği, bunu ölçebilmek için yaygın olarak kullanılmış bir yöntem bulunmadığı tespit edilmiştir. Isıl kütleye sahip olan malzemelerin R değerleri incelendiğinde göstermiş olduklarından daha fazla termal performans gösterdikleri ortaya konulmuştur [40].

Perlit sülfatlı organik tortul bir taştır. Bu taş 900-11000 °C’ de şok ısı verilmesi sonucunda genleştirilmektedir. Bunun yapısı karma hücreli yapıdır. Karma; açık ve kapalı olarak görülmektedir. Perlitin içeriği incelendiğinde yapısında %2 ve %6 oranında su bulunduğu belirlenmiştir. Perlitin renginin gri ve koyu gri renkte olduğu görülmektedir. Perlitin kimyasal yapısı incelendiğinde içerisinde %75 silika ile %15 alüminyum oksit bulunduğu belirlenmiştir.

Volkanik bir taş olan perlitin 850-1100 °C arasında ısıtılması sonucunda içerisinde bulunan su ve sıcaklığın etkisi sonucunda hacminin 5 ile 25 kat artış gösterdiği belirlenmiştir [41].

Genleşmiş perlitin fiziksel özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

-Yoğunluk: 80-150 kg/m³

-Isı iletim katsayısı: 0,04-0,06 W/mK

-Özgül ısısı: 0,9-1,0 kJ/kgK

Genleştirilmiş perlitin diğer mineral malzemelerle karşılaştırması yapıldığında en düşük ısı iletim katsayısı ile tanımlanacağı belirtilmektedir. Genleştirilmiş perlit ile yapılmış olan panellerin yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. İkisinin de ısı yalıtım özellikleri ile aynıdır.

Perlitin ekolojik etkileri incelendiğinde; hammadde olarak perlitin çıkarılmasına, bağlı bulunduğu toprak kalitesi ve zemin suyuna olumsuz etkiler yapabildiği görülmektedir. Alçı ve çimentoya sıva katkısı olarak kullanılmak üzere geri dönüştürülebilmektedir [42].

Çizelge 5.1. İnceleme yapılan kilin kimyasal bileşimi [42].

Bileşimi	Yüzdesi
SiO ₂	%52,09
Al ₂ O ₃	%9,06
Fe ₂ O ₃	%2,27
CaO	%2,44
MgO	%12,11
K ₂ O	%1,75
SO ₄	%0,10

Çizelge 5.1. (devam) İnceleme yapılan kilin kimyasal bileşimi [42].

TiO ₂	%0,27
Na ₂ O	%6,38
A.Z.	%13,68

Burada kullanılan perlitin kimyasal analizi aşağıda Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Perlitin kimyasal analizi.

İçerik	Yüzde
SiO ₂	%71-75
Al ₂ O ₃	%12,5-18
Na ₂ O	%2,9-4
CaO	%0,5-2
MgO	%0,1-1,5
K ₂ O	%4-5
Fe ₂ O ₃	%0,5-1,5
TiO ₂	%0,03-0,2
MnO ₂	%0,03-0,1
SO ₃	%0-0,2
FeO	%0-0,1

Burada kullanılan perlitin kullanma yüzdeleri Çizelge 5.3’te verilmektedir.

Çizelge 5.3. Perlitin iç yapısının analizi.

Reçete	Perlit (Ağırlıkça %)	Kil (ağırlıkça %)
Standart Reçete	0	100
Reçete-1	5	95
Reçete-2	10	90
Reçete-3	15	85

Çizelge 5.3. (devam) Perlitin iç yapısının analizi.

Reçete-4	20	80
Reçete-5	25	75
Reçete-6	30	70
Reçete-7	35	65

Hazırlanan numunelerde kullanılan su oranının %8 olarak sabit olduğu görülmektedir. Burada üretilen karışımın kile ağırlıkça 0,05-0,10-0,15-0,20-0,25-0,30-0,35 oranında genişletilmiş perlit agregası katılarak bir reçete oluşturulmuştur. Burada hazırlanan numunelerin 950 °C’de pişirmeye tabi tutulduğu belirlenmiştir. Pişirilen numunelere hacim küçülmesi, basınç dayanımı, birim ağırlık ölçümü ve ısı iletkenlik deneyleri yapılarak sonuçların irdelendiği görülmüştür.

Reçeteler şeklinde yapılan çalışmanın sonucuna göre; yapılan deneylerden elde edilen sonuçların bileşim özellikleri ilişkileri incelenerek yorumlanmıştır. Perlitsiz numunenin pişirilmesi sonucunda görülen pişme küçülmesinin %5,9 oranında olduğu görülürken, perlitli numunede ise pişme küçülmesinin %6,7 ile %11,36’ya kadar değiştiği görülmektedir. Perlit miktarında artış görüldükçe pişme miktarının yükselmesinin nedeni ise perlitin 900 °C’de özellikle kilden daha fazla hacim küçülmesine maruz kalması olarak belirlenmiştir. Perlit oranının artması ile pişme küçülmesinin artışı arasında doğru orantılı bir değişim bulunduğu ortaya çıkmıştır.

Yapılan çalışmada basınç dayanımı üzerine yapılan ölçüm sonucunda perlitsiz numunenin basınç dayanımının 5,6 N/mm² olduğu görülmektedir. Perlit ilavesi reçetede ki şekilde yapıldıkça basınç değerinin düştüğü görülmektedir. Perlit oranı en yüksek seviyeye geldiğinde basınç dayanım değerinin 2,1 N/mm²’ye ulaştığı belirlenmiştir. Literatürde hafif düşey delikli tuğla duvarlar incelendiğinde bu tuğlaların minimum basma dayanım değerinin 2,4 N/mm² olduğu görülmektedir. Standartlara uygun bir tuğla üretebilmek için reçetede %30 perlit bulunması gerekmektedir. Basınç dayanım değeriyle artan perlit ilavesinin ters orantılı bir şekli olduğu çalışma sonucunda belirlenmiştir.

Birim ağırlık düzeyleri incelendiğinde; perlitsiz numune için birim ağırlığın 1293 gr/cm³ olduğu görülmektedir. Numunelere perlit ilavesi sonucunda ise birim ağırlıkta bir azalma ortaya çıkmaktadır. Yapı malzemelerinin standartlara göre hafif yapı malzemeleri olarak görünmesi gerekmektedir. Bu nedenle ağırlıklarının 1000 gr/cm³'ten küçük olması gerekmektedir. Numuneler incelendiğinde yapılan perlit ilavesiyle birim ağırlıkta bir azalma görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmada perlit ilavesi yapılarak ısı iletkenlik değeri bir düşme görülmektedir. Perlitin 950 °C'de kilden daha fazla oranda pışme küçölmesine tabi olmasından dolayı daha düşük sıcaklıklarda bu tarz reçetelerde sinterleme çalışması yapılması sağlanılmalıdır. Perlitin doğadan elde edildikten sonra kullanılabilmesi için genişleme işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Bu şekilde de maliyetinde yükselme görülmektedir. Bu nedenle perlit izolasyonlu tuğla üretiminde birim maliyetin azalmasının sağlanabilmesi için perlitin daha ucuz genişletilmesinin imkanlarının araştırılması gerekmektedir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Yaptığımız çalışmada Düzce ili 2020 yılı dış ortam ortalama sıcaklık değeri MGM istasyonunun verileri baz alınarak seçilmiştir. İletim, taşınım katsayıları, iç ortam sıcaklık değeri gibi değerler TS 825 Bölüm 2’de belirtilen standartlara uygun olarak alınmıştır. Elde edilen veriler tablo ve grafikler çıkartılarak detaylı olarak incelenmiş analiz edilerek yorumlanmıştır. TS 825 standartlarına göre baz alınan verilere göre iki farklı tuğla modeli oluşturulmuş ve termal analizi yapılmıştır. Tuğla geometrileri solidworks programında, termal analiz ise ansys programında yapılmıştır.

Ansys bilgisayar destekli bir analiz programıdır. Türkiye’de en çok yararlanılan CAE (bilgisayar destekli mühendislik) programlarının ilk sıralarında yer almaktadır. Ansys sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bir analiz elde eder.

Analizde kullanılan denklemler aşağıda belirtilmiştir:

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_o) \quad (6.1)$$

formülü ile bulunur. Bu denklemden U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_o ortalama dış sıcaklığı göstermektedir.

Bu formüldeki toplam ısı transfer katsayısının “U” yalıtımlı bir duvar için Denklem (6.2)’deki gibi hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

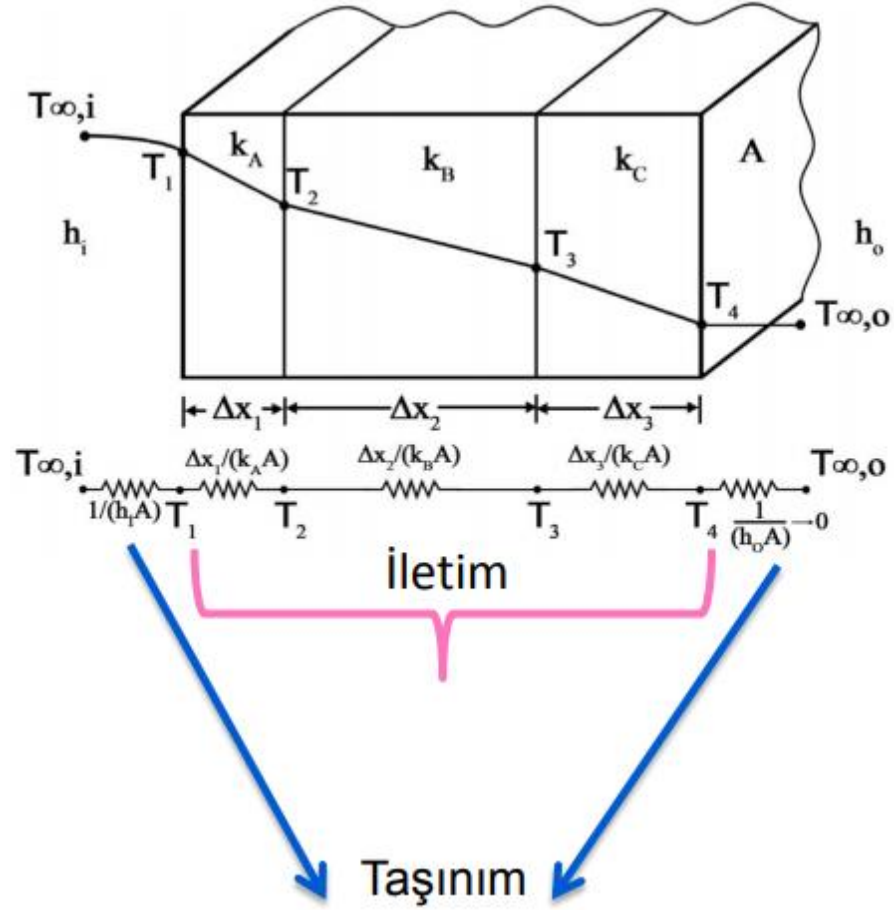
Denklem (6.2)’deki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_o ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

Denklem (6.2)’de kullanılan “ R_{ins} ” yalıtım malzemesinin termal direnci Denklem (6.3)’teki gibi hesaplanır.

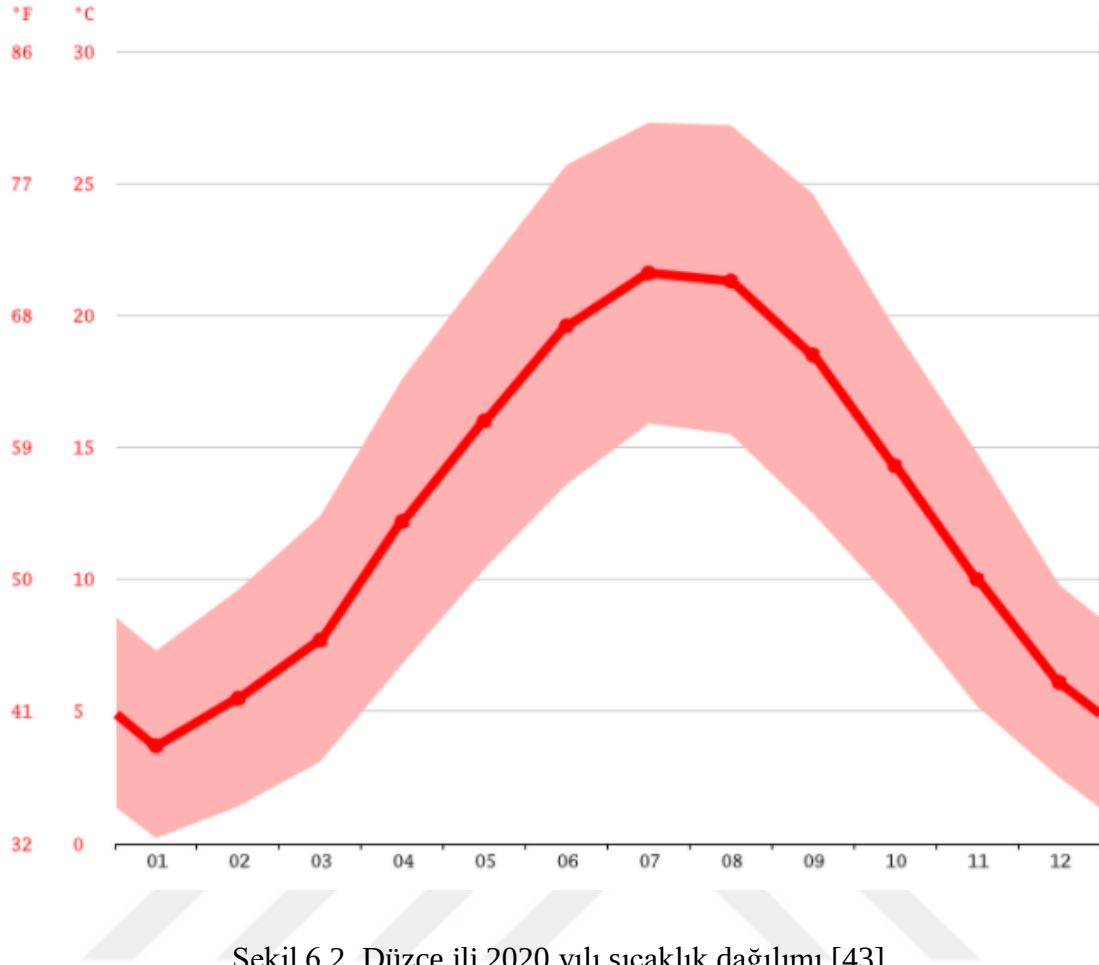
$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6.3)$$

Bu denklemdeki “x” yalıtım malzemesinin kalınlığını “k” ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını belirtmektedir.

Şekil 6.1’de karma sistemlerde ısı transferi görsel olarak açıklanmıştır.

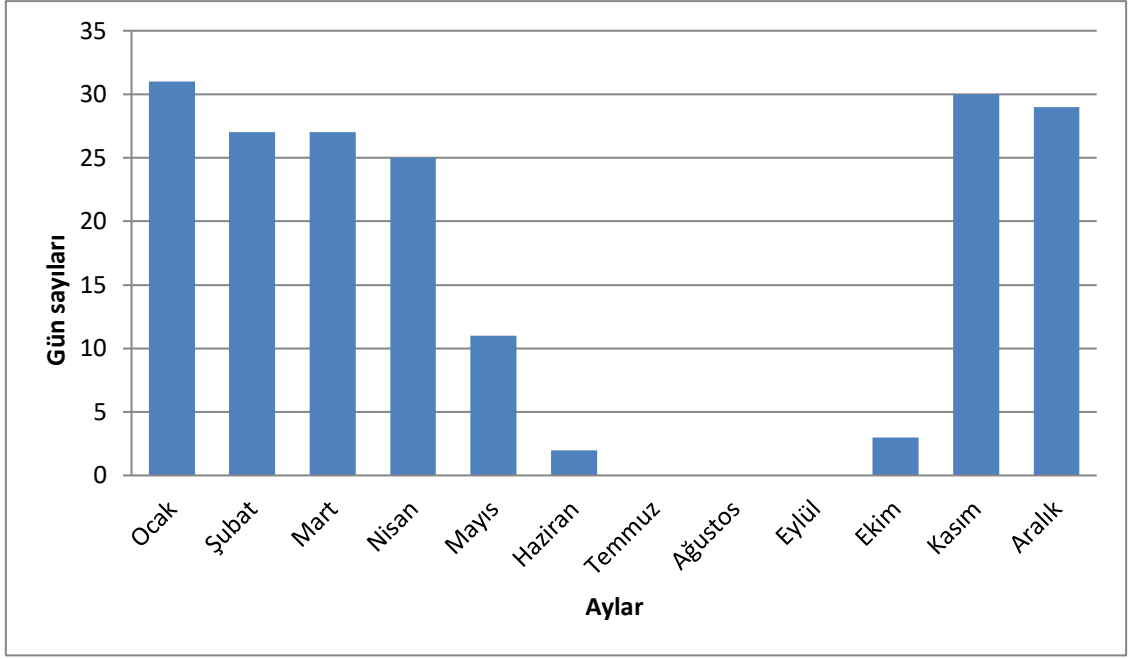


Şekil 6.1. Karma sistemlerde ısı transferi [42].



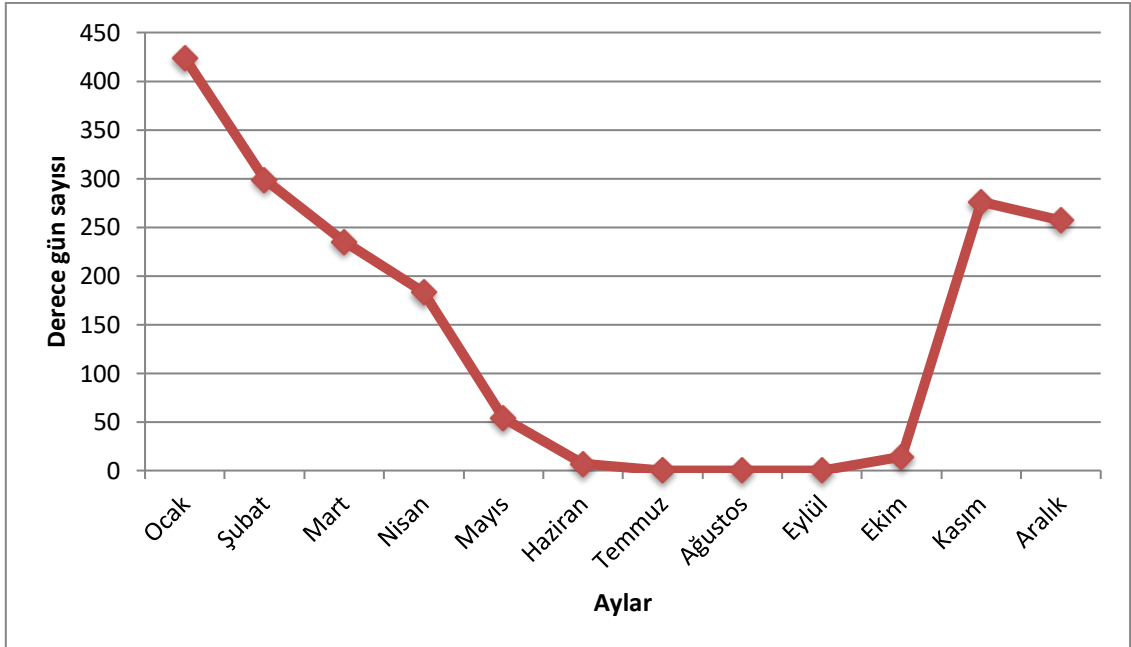
Şekil 6.2. Düzce ili 2020 yılı sıcaklık dağılımı [43].

Düzce ili 2020 yılı sıcaklık ortalaması Şekil 6.2’de belirtildiği gibi Düzce ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 13.0 °C’dir. En düşük Ocak ayında ortalama 3,7 °C en yüksek Temmuz ayında ortalama 21,6 °C olarak ölçülmüştür [43]. Analizde dış ortam sıcaklığı en düşük değer alınarak 3,7 °C olarak girilmiştir. İç ortam sıcaklığı ise Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre 22 °C olarak seçilmiştir ve programa girilmiştir. Havadaki nem değeri sabit kabul edilmiştir.



Şekil 6.3. 2020 yılına göre ortalama sıcaklığı 15 °C'nin altında kalan günler.

15 °C denge sıcaklığı için ısıtma derece gün değerleri hesaplanmış ve Şekil 6.4'te verilmiştir. En fazla ısıtma derece gün değeri 31 ile Ocak ayında en az ısıtma derece gün değeri ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir. Ayrıca ortalama yıllık 1749 ısıtma derece gün değeri bulunmuştur.



Şekil 6.4. 15 °C için ısıtma derece gün değerleri.

MGM istasyonu verilerinden alınan Düzce ili için 2020 yılına ait ısıtma soğutma gün dereceleri kullanılmıştır. Bu çalışmada soğutma gün dereceleri dikkate alınmıştır. Şekil 6.3'te aylara göre ısıtma ve soğutma eşiği sıcaklık değerlerine göre ısıtılan ve soğutulan gün sayıları belirtilmiştir.

Bir alanda, ısıtma derece gün (Heating Degree Days- HDD), değeri ile soğutma derece gün değeri (Cooling Degree Days- CDD)'nin hesaplanması, ısıtma ve soğutma sistemi maliyetinin ve kapasitesinin hesaplanması bakımından önemli bir yere sahiptir. Ortak bir kullanım oluşturmak ve bu değerlerin birbiriyle karşılaştırılması için, Denklem (6.4) ve Denklem (6.5)'in kullanılması Eurostat (Avrupa Birliği İstatistik Ofisi) önerilmektedir [45].

$$HDD=(18\text{ }^{\circ}\text{C}-T_m)\times d \quad T_m\leq 15\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (ısıtma eşiği)}$$

$$HDD=0 \text{ ise } T_m> 15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.4)$$

$$CDD=(T_m-22\text{ }^{\circ}\text{C})\times d \quad T_m\leq 22\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (soğutma eşiği)}$$

$$CDD=0 \text{ ise } T_m>22\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.5)$$

Denklem (6.4) ve (6.5)'te (T_m) günlük ortalama sıcaklık, (d) gün sayısı. Hesaplamalar günlük olarak yapılır. Daha sonra aylık ve yıllık gün derece toplamaları hesaplanır. Soğutma Gün Dereceleri (CDD): Belirli bir zamanda (gün, ay, yıl) dış ortam sıcaklığını hesaba ekleyerek sıcaklığın şiddetini belirtir.

Birim alandan kaybedilen ısı kaybı ise derece gün değerini de kullanarak Denklem (6.6)'daki gibi hesaplanır.

$$q_A= 86400 \times HDD \times U \quad (6.6)$$

Bu denklemde “HDD” derece gün değerini göstermektedir. Yıllık enerji ihtiyacını da birim alandan kaybedilen ısıнын sistemin ısıtma verimine bölünmesi ile bulunmaktadır [46].

$$E_A=\frac{86400\times HDD\times U}{\eta} \quad (6.7)$$

Yapının ısıtılması için ihtiyaç olan yakıtın yıllık maliyeti Denklem (6.8)'de verilmiştir. Buna göre yıllık ısıtma maliyeti, yıllık ısıtma enerji ihtiyacının yakıtın m³ olarak birim maliyeti ile çarpılıp yakıtın alt ısıl değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$C_A = \frac{86400 \times HDD \times C_f \times U}{\eta \times LHV} \quad (6.8)$$

Bu denklemde “C_f” yakıtın maliyetini LHV ise yakıtın alt ısı değeri belirtmektedir.

Yapıların ısıtma giderlerinin toplam değeri belirli süre aralıklarını kapsadığı için günümüz değer faktörü (PWF) değerini bu maliyeti etkileyen faktörlerdendir. Günümüz değer faktörü hesaplanırken gerçek enflasyon oranı (r), faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g) hesaba katılmaktadır. Denklem (6.9), (6.10) ve (6.11)’de günümüz değer faktörünün hesaplanma yöntemi belirtilmektedir [46].

Eğer $i > g$ ise;

$$r = \frac{i - g}{i + g} \quad (6.9)$$

Eğer $i < g$ ise;

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (6.10)$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r \cdot (1 + r)^N} \quad (6.11)$$

Yaptığımız çalışmadaki enflasyon oranı ve faiz oranı değerleri [47]’ ye göre alınmıştır. Denklemdeki “N” değeri yalıtım malzemesinin kullanım ömrünü göstermektedir.

Yalıtım malzemesinin işçilik dahil metrekaare fiyatı ise Denklem (6.12)’de verilmiştir.

$$C_{ins} = C_1 \times x \quad (6.12)$$

Verilen denklemde C₁;yalıtım malzemesinin fiyatını TL/m³ olarak ifade etmektedir. Perlit malzemesinin maliyetinin eklenmesiyle yıllık ısıtma maliyeti Denklem (6.13)’teki halini almaktadır.

$$C_t = \frac{86400 \times HDD \times C_f \times PWF \times U}{\eta \times LHV} + C_1 \times x \quad (6.13)$$

Perlit ilavesi yapıldığından dolayı enerjiden yapılan tasarruf miktarı, Denklem (6.14)’de gösterilmiştir.

$$ES = C_{to} - C_{t_{ins}} \quad (6.14)$$

Denklemdeki “C_{to}” perlitsiz tuğlanın toplam ısıtma maliyetini, “C_{t_{ins}}” ise perlit dolgulu

haldeki toplam ısıtma maliyetini göstermektedir.

Yapılan perlit dolgusu maliyetinin geri ödeme süresi Denklem (6.15)'teki gibi hesaplanmaktadır [48].

$$GeriÖdemeSüresi = \frac{C_{ins}}{ES} \quad (6.15)$$

Yakıt olarak doğalgazlı yoğuşmalı cihaz kabul edilmiştir ve verim 1 olarak alınmıştır.

Doğalgaz yakıt alt ısı değeri 8250 kcal/m³'tür.

Yapılan çalışmada, uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin maliyet analizleri de yer almaktadır. Maliyet analizleri yapılırken, çalışmanın gerçekçi olması açısından 2020 yılı güncel piyasa fiyatları kullanılmıştır.

Abone ve serbest tüketici satış tarifesi üzerinden Aksa Doğalgaz Düzce Ereğli Bölgesi 2021 yılı güncellenen fiyatlara göre doğalgaz perakende satış fiyatı KDV hariç 1,599715 TL/m³ olarak hesaplanmıştır.

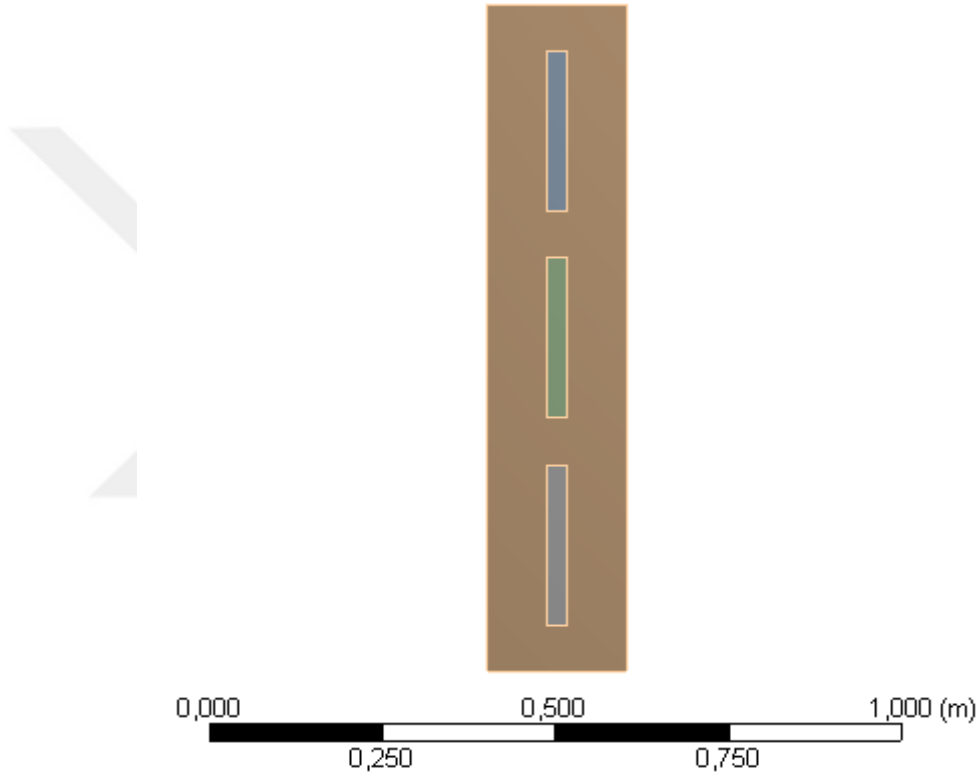
Tarım ve Orman Bakanlığı birim fiyatları pozuna göre perlitin m³ fiyatı güncellenen oranlara göre 120 TL olarak kabul edilmiştir.



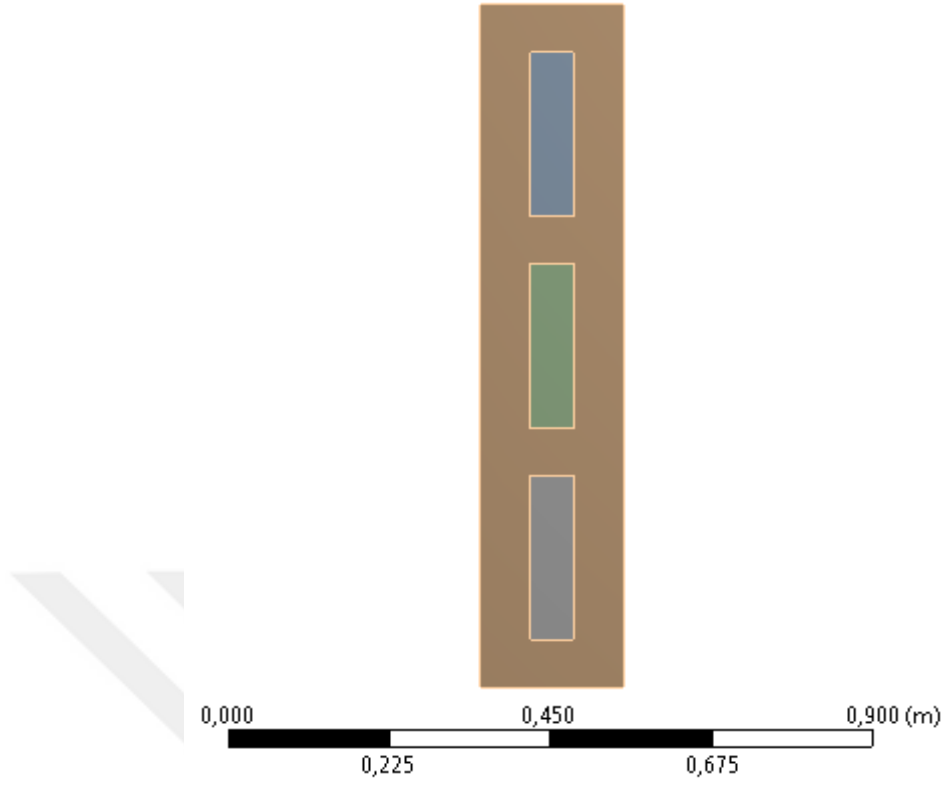
7. UYGULAMA

7.1. PERLİT VE HAVA DOLGULU TUĞLANIN TERMAL ANALİZİ

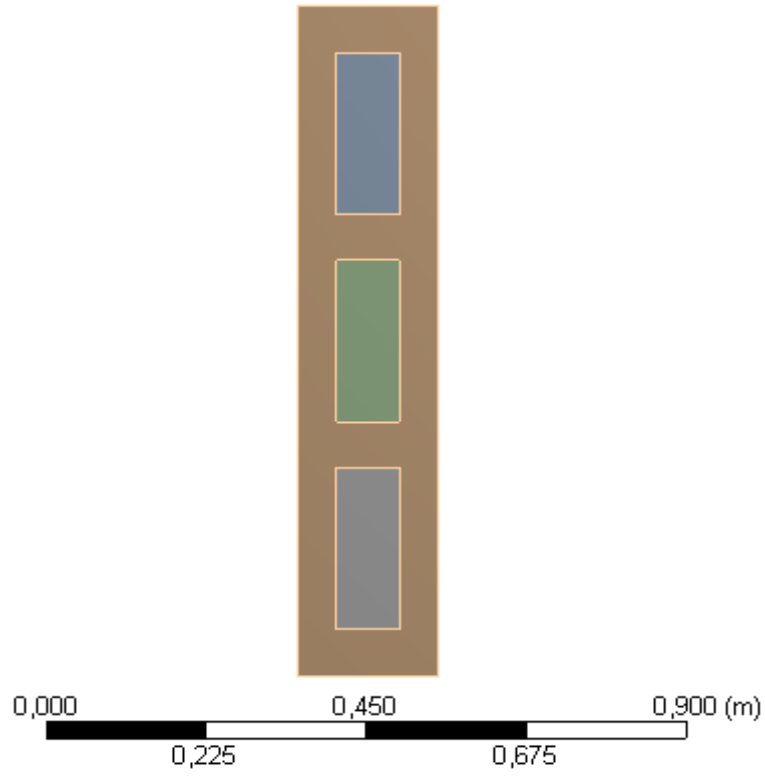
Bu bölümde 6 model tuğla oluşturulmuştur. Oluşturulan tuğla modellerine perlit ve hava doldurularak modellerin termal analizi ve buna bağlı sayısal yaklaşımı incelenmiştir.



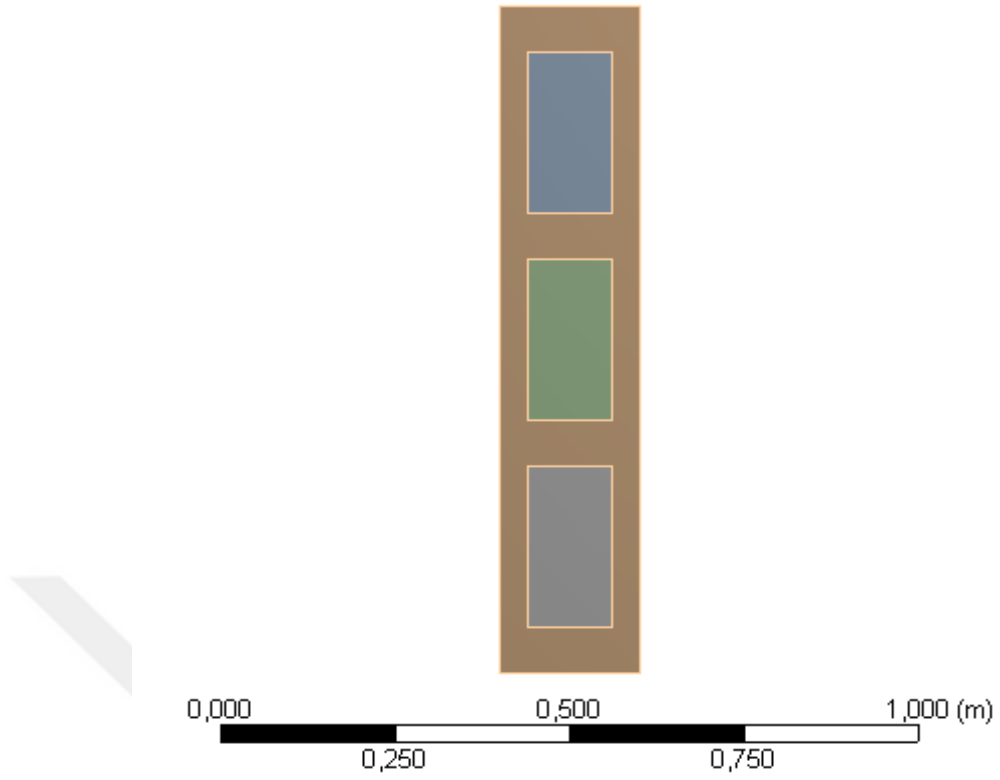
Şekil 7.1. 3 cm Tuğla modeli.



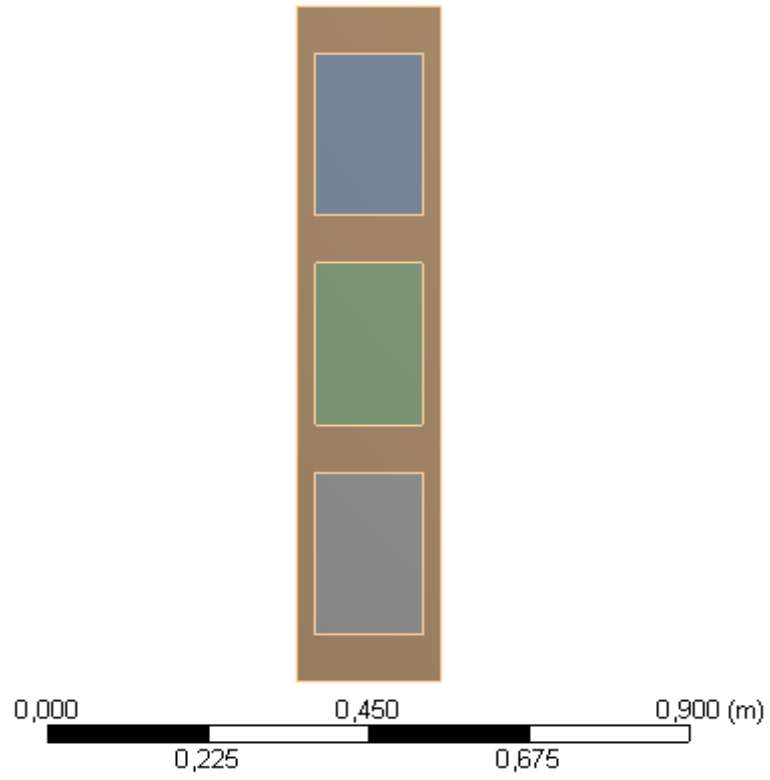
Şekil 7.2. 6 cm Tuğla modeli.



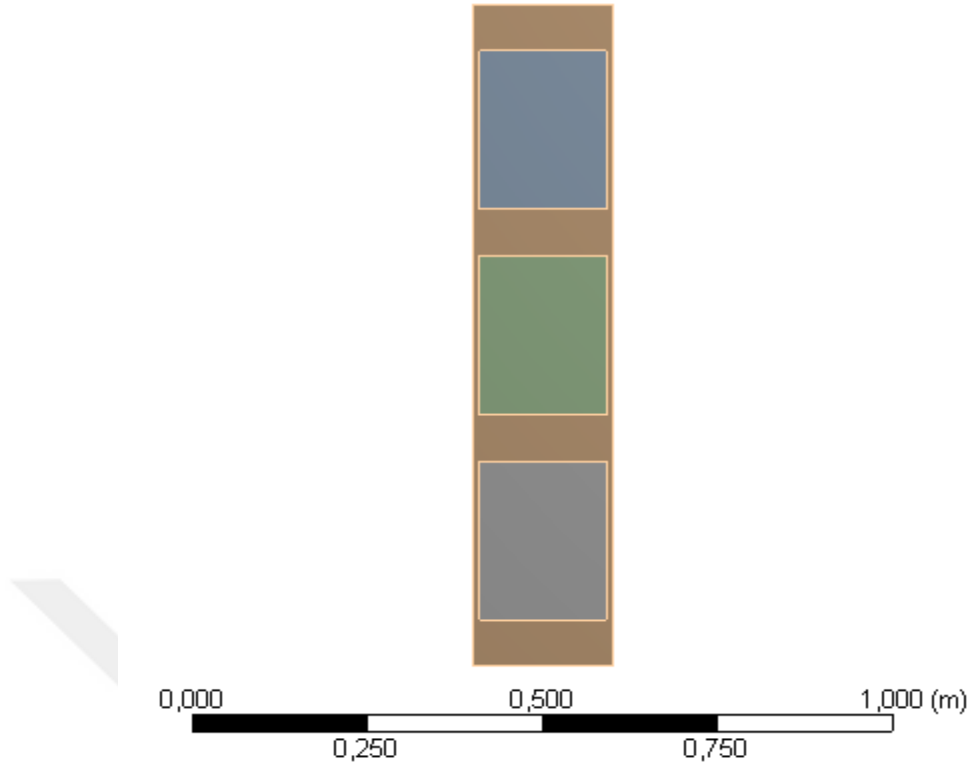
Şekil 7.3. 9 cm Tuğla modeli.



Şekil 7.4. 12 cm Tuğla modeli.



Şekil 7.5. 15 cm Tuğla modeli.



Şekil 7.6. 18 cm Tuğla modeli.

Oluşturulan tuğlaların iki yüzeyine iç ve dış ortam tanımlanmıştır. Üst ve alt yüzeyler adyabatik ortam olarak alınmıştır. Analizlerde iç ortam 22 °C, dış ortam 3,7 °C seçilmiştir. Tuğla ölçüleri 20x100x100 cm olarak alınmıştır. Modellerde tuğla boşluk ölçüleri değiştirilmiştir. A modelinde tuğla kalınlığı 3 cm, B modelinde ise 6 cm, C modelinde 9 cm, D modelinde 12 cm, E modelinde 15 cm, F modelinde 18 cm seçilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan malzeme özellikleri şu şekildedir:

İç ve dış ortam hava taşınım katsayısı $h = 11,3-55 \text{ W/m}^2\text{K}$ (hareketli hava için iç ve dış sıcaklıklarına göre değerler alınmıştır.)

Tuğla ısı iletim katsayısı $k = 0,72 \text{ W/mK}$ (oda sıcaklığında standart delikli tuğla)

Perlit ısı iletim katsayısı $k = 0,04-0,06 \text{ W/mK}$

Tuğla boşluklarındaki hava (durgun hava) ısı taşınım katsayısı $k = 2,8-23 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerleri arasındadır.

Bu verilere göre analizde alınan değerler:

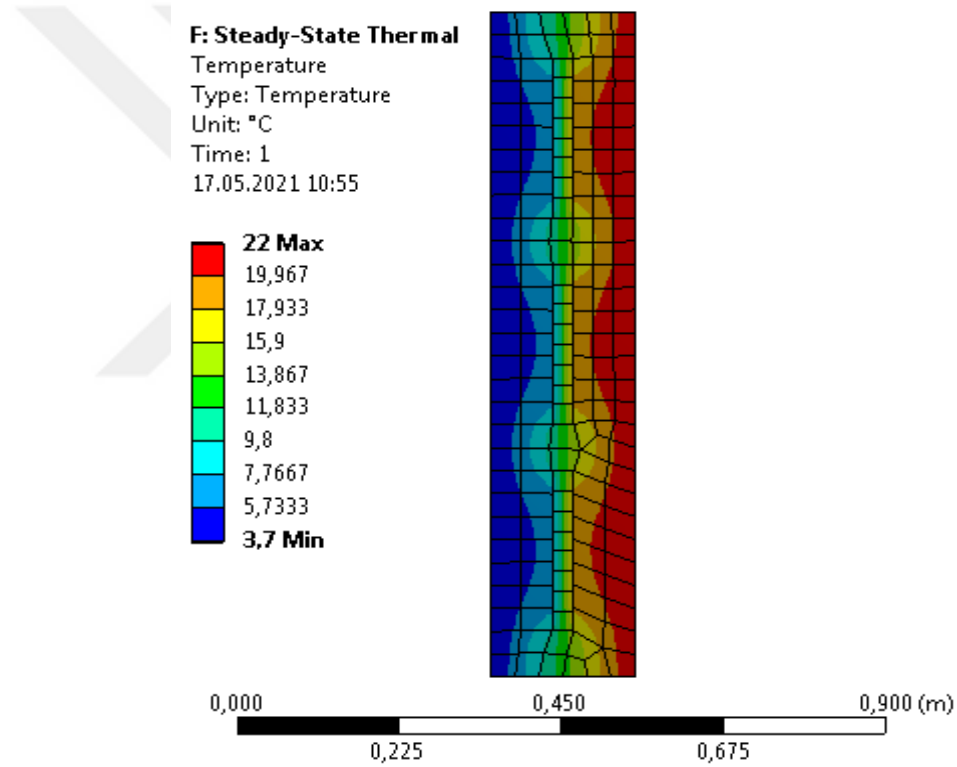
- $k_{\text{perlit}} = 0,04 \text{ W/mK}$ (min değer seçilmiştir.)

- $h_{\text{durgunhava}} = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ortalama değer seçilmiştir.)
- $h_{\text{dış ortam}} = 34 \text{ W/m}^2\text{K}$ (3,7 °C'ye göre ortalama değer seçilmiştir.)
- $h_{\text{iç ortam}} = 43 \text{ W/m}^2\text{K}$ (22 °C'ye göre ortalama değer seçilmiştir.)

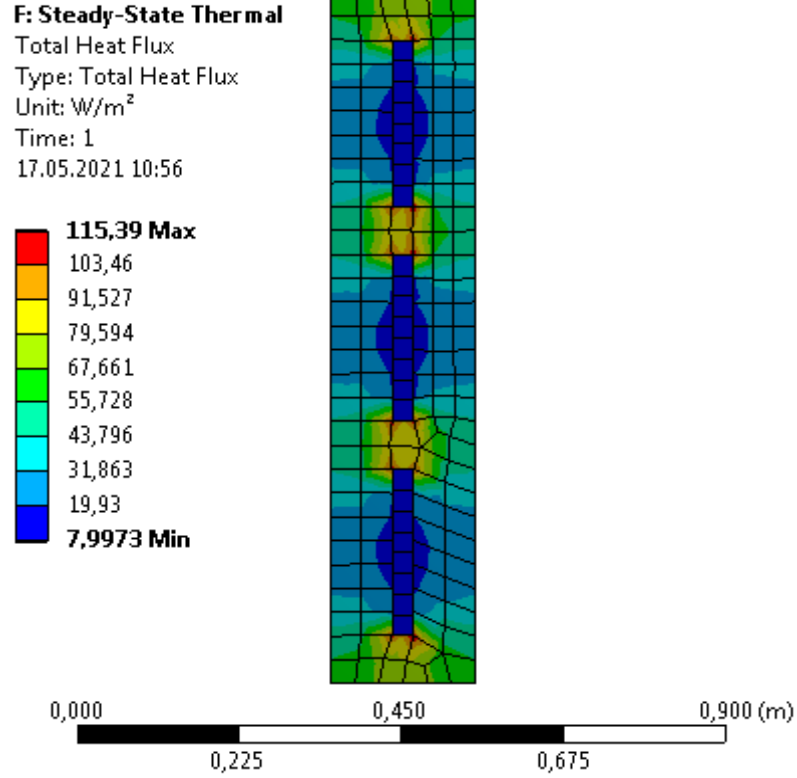
7.1.1. Model A'nın Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.1.1. Model A1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınımla ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla ve perlit için ısı transfer katsayıları sırasıyla 0,72 W/mK ve 0,04 W/m²K girilmiştir. Termal analiz sonuçları için 'Temperature' ve 'Total Heat Flux' seçenekleri bizim için yeterlidir.



şekil 7.7. Model A1 (3 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.8. Model A1 (3 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

Termal analizi yapılan perlit dolgulu tuğlanın sayısal sonuçları için taşınım ve iletimle ısı transferi denklemlerinden yararlanılmıştır.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_0) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_0 ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdeki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_0}} \quad (6.2)$$

Denklemdeki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_0 ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

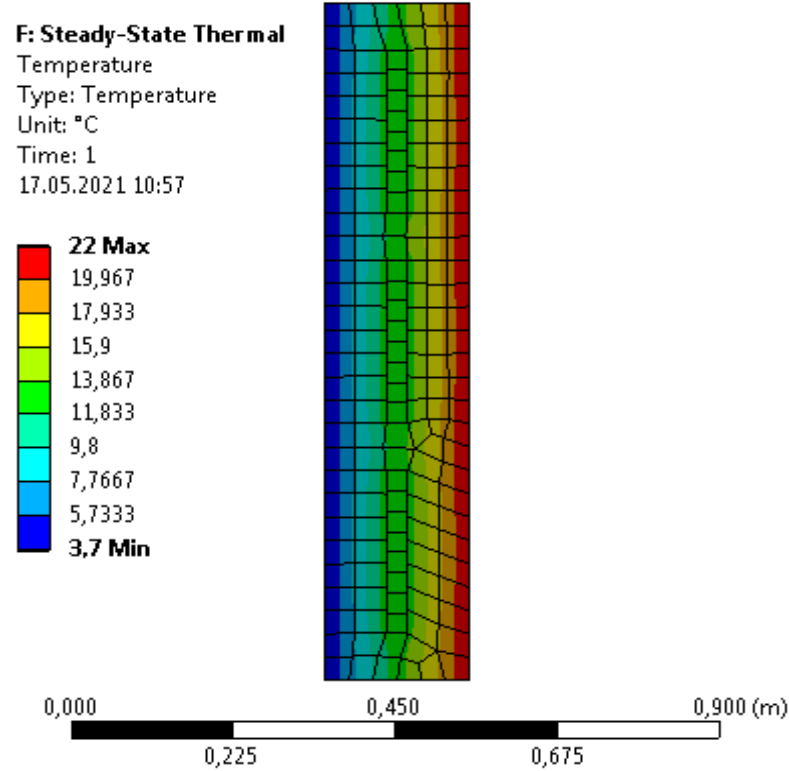
Denklemden kullanılan “ R_{ins} ” yalıtım malzemesinin termal direnci aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6.3)$$

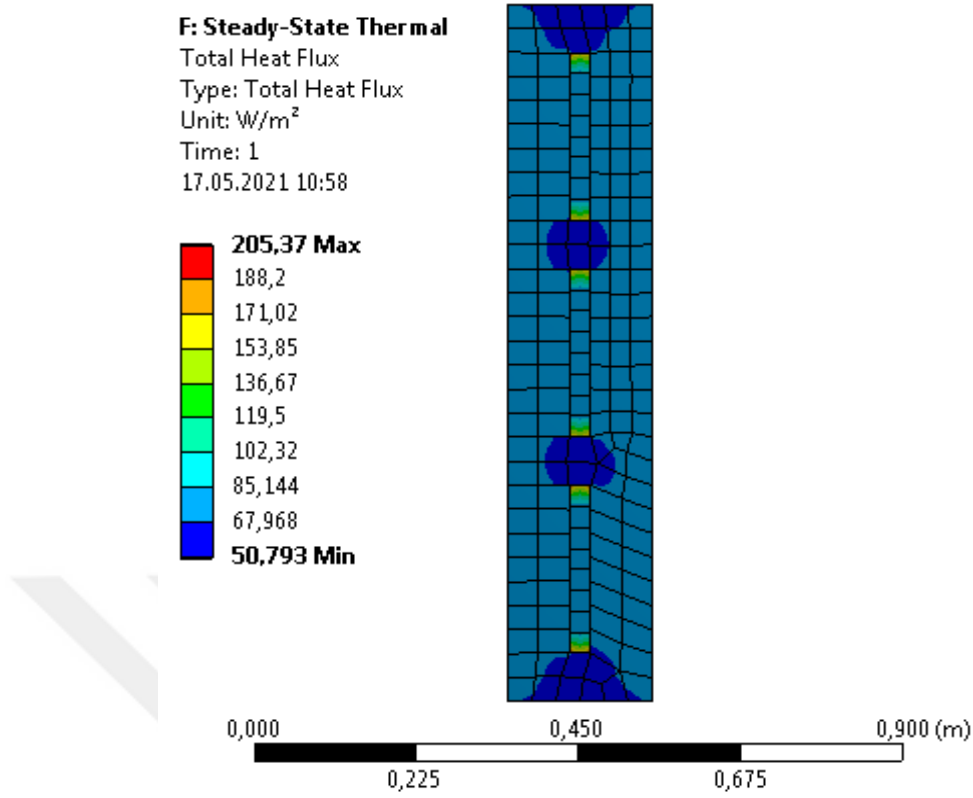
Bu denklemdeki “ x ” yalıtım malzemesinin kalınlığını “ k ” ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

7.1.1.2. Model A2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla ve hava için ısı transfer katsayıları sırasıyla 0,72 W/mK ve 13 W/m²K girilmiştir. Termal analiz sonuçları için ‘Temperature’ ve ‘Total Heat Flux’ seçenekleri bizim için yeterlidir.



Şekil 7.9. Model A2 (3 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.10. Model A2 (3 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_0) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_0 ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdeki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_0}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_0 ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

Denklemden kullanılan “ R_{ins} ” yalıtım malzemesinin termal direnci aşağıdaki formülle hesaplanır.

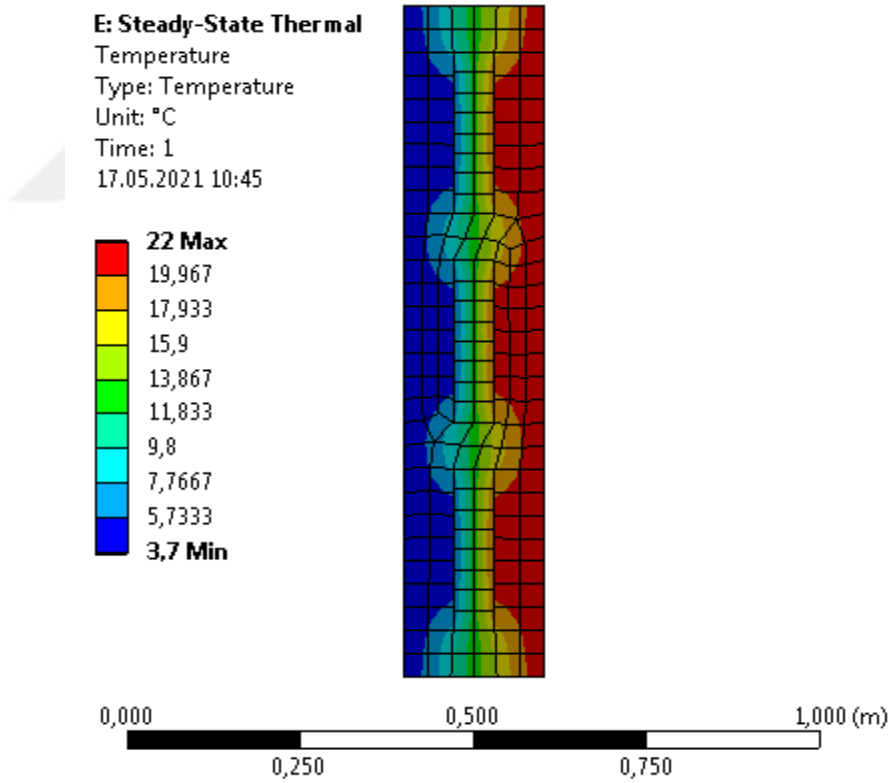
$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6.3)$$

Bu denklemdeki “ x ” yalıtım malzemesinin kalınlığını “ k ” ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

7.1.2. Model B’nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.2.1. Model B1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla ve perlit için ısı transfer katsayıları sırasıyla 0,72 W/mK ve 0,04 W/m²K girilmiştir. Termal analiz sonuçları için ‘Temperature’ ve ‘Total Heat Flux’ seçenekleri bizim için yeterlidir.



Şekil 7.11. Model B1 (6 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

E: Steady-State Thermal

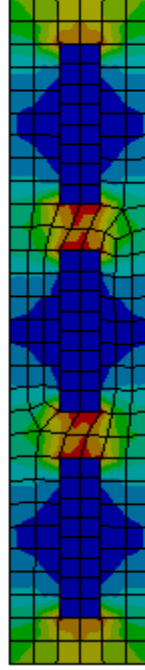
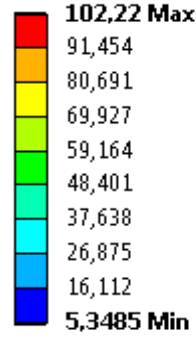
Total Heat Flux

Type: Total Heat Flux

Unit: W/m²

Time: 1

17.05.2021 10:46



Şekil 7.12. Model B1 (6 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_0) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_0 ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdeki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_0}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_0 ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

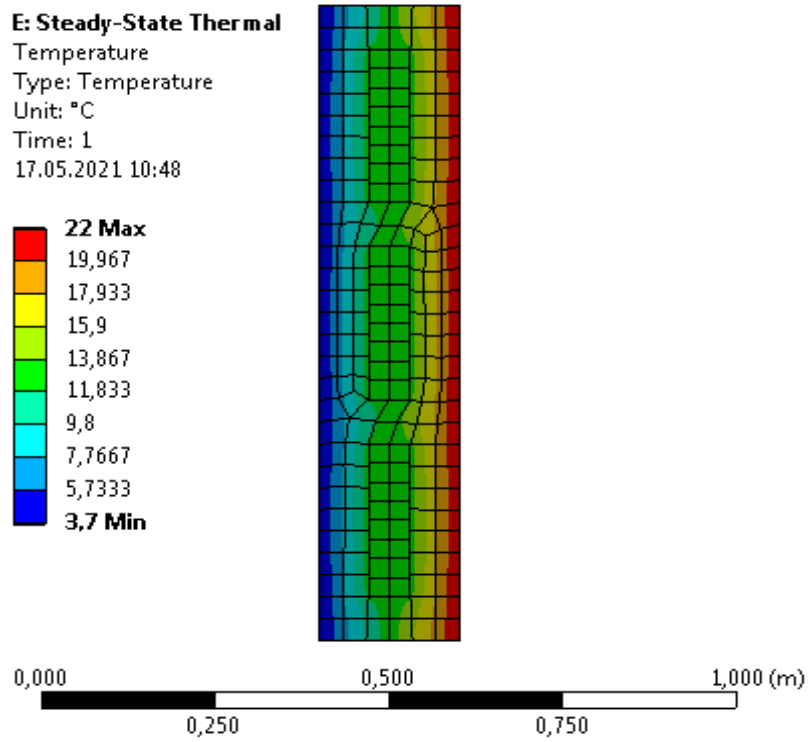
Denkleimde kullanılan “ R_{ins} ” yalıtım malzemesinin termal direnci aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6.3)$$

Bu eşitlikteki “ x ” yalıtım malzemesinin kalınlığını “ k ” ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

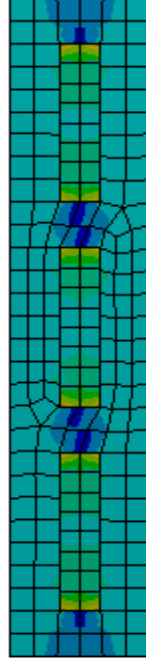
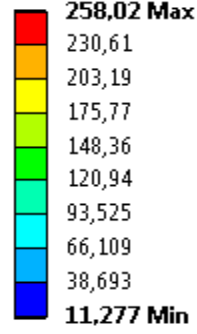
7.1.2.2. Model B2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla ve hava için ısı transfer katsayıları sırasıyla 0,72 W/mK ve 10 W/mK girilmiştir. Termal analiz sonuçları için ‘Temperature’ ve ‘Total Heat Flux’ seçenekleri bizim için yeterlidir.



Şekil 7.13. Model B2 (6 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

E: Steady-State Thermal
 Total Heat Flux
 Type: Total Heat Flux
 Unit: W/m²
 Time: 1
 17.05.2021 10:48



Şekil 7.14. Model B2 (6 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_o) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_o ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdeki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

Denklemdeki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_o ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

Denkleimde kullanılan “ R_{ins} ” yalıtım malzemesinin termal direnci aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır.

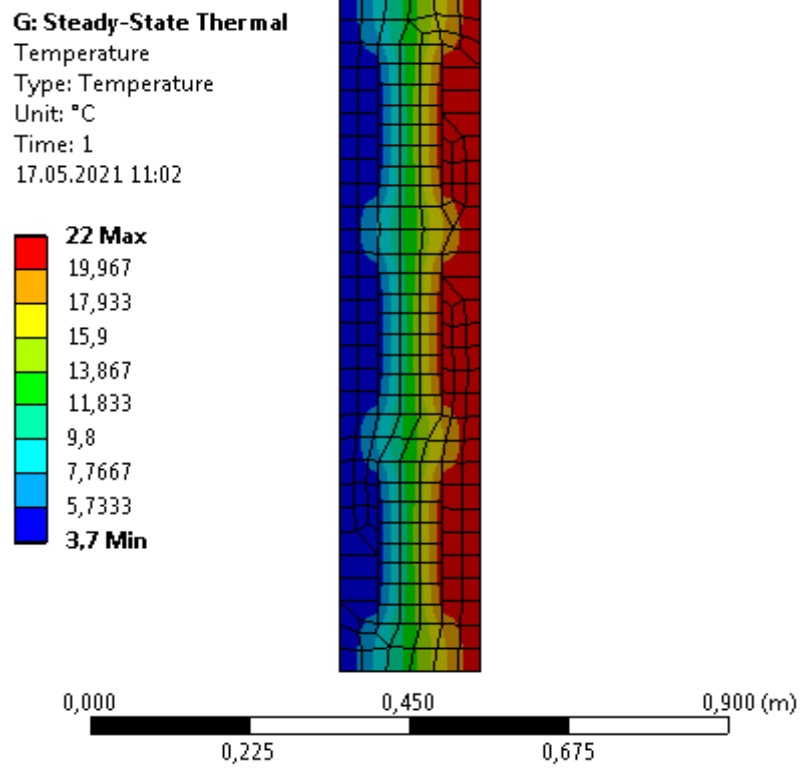
$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6.3)$$

Bu denklemdeki “ x ” yalıtım malzemesinin kalınlığını “ k ” ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

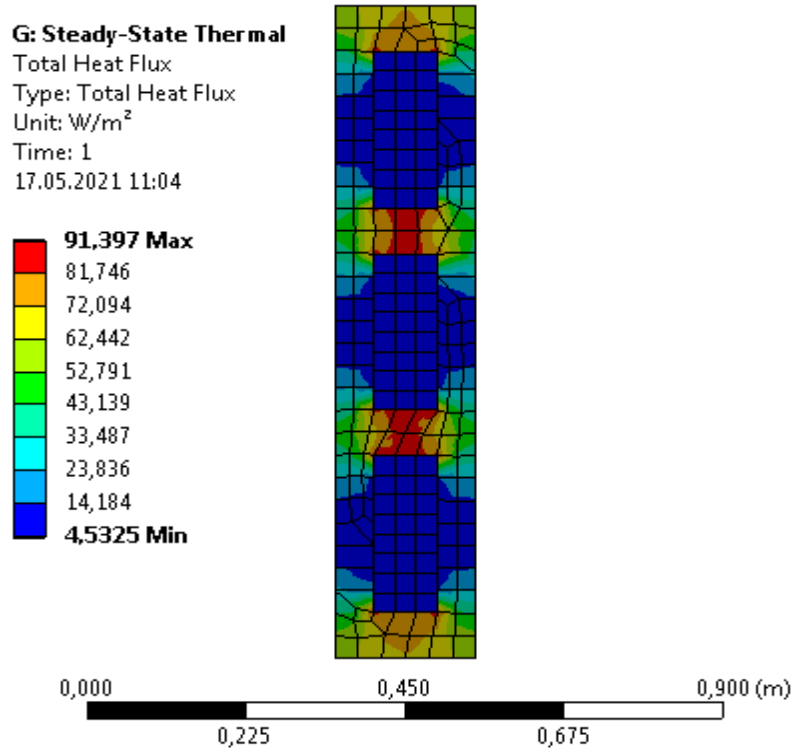
7.1.3. Model C’nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.3.1. Model C1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla için ısı transfer katsayısı 0,72 W/mK girilmiştir.

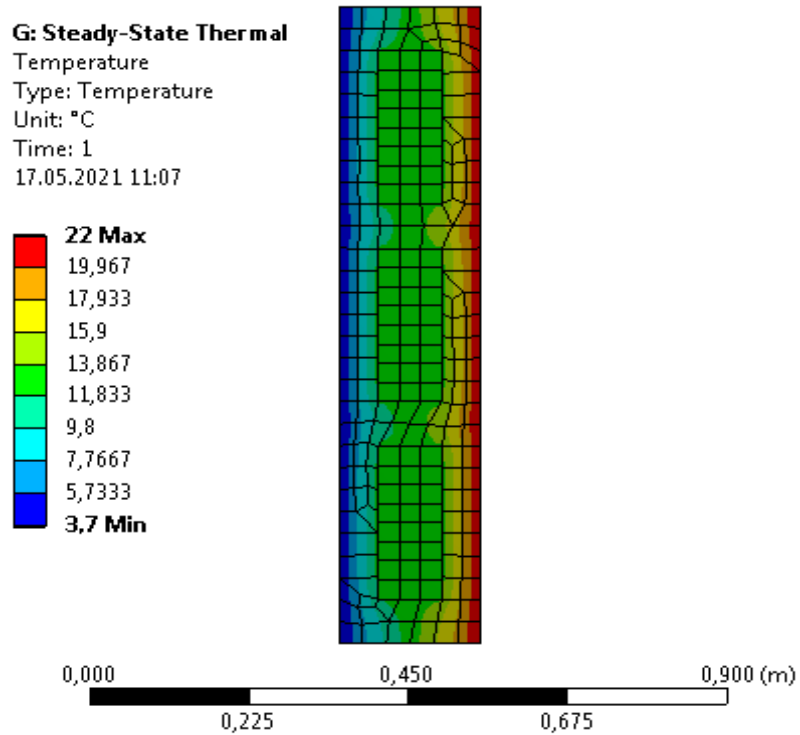


Şekil 7.15. Model C1 (9 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.16. Model C1 (9 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

7.1.3.2. Model C2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi



Şekil 7.17. Model C2 (9 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

G: Steady-State Thermal

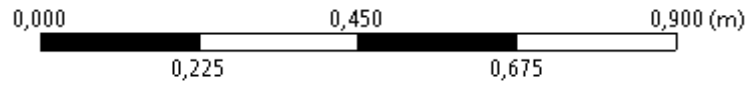
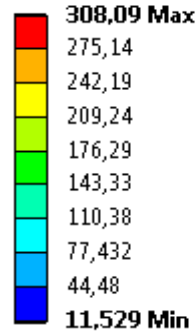
Total Heat Flux

Type: Total Heat Flux

Unit: W/m²

Time: 1

17.05.2021 11:07



Şekil 7.18. Model C2 (9 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_o) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu formülde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_o ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdaki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

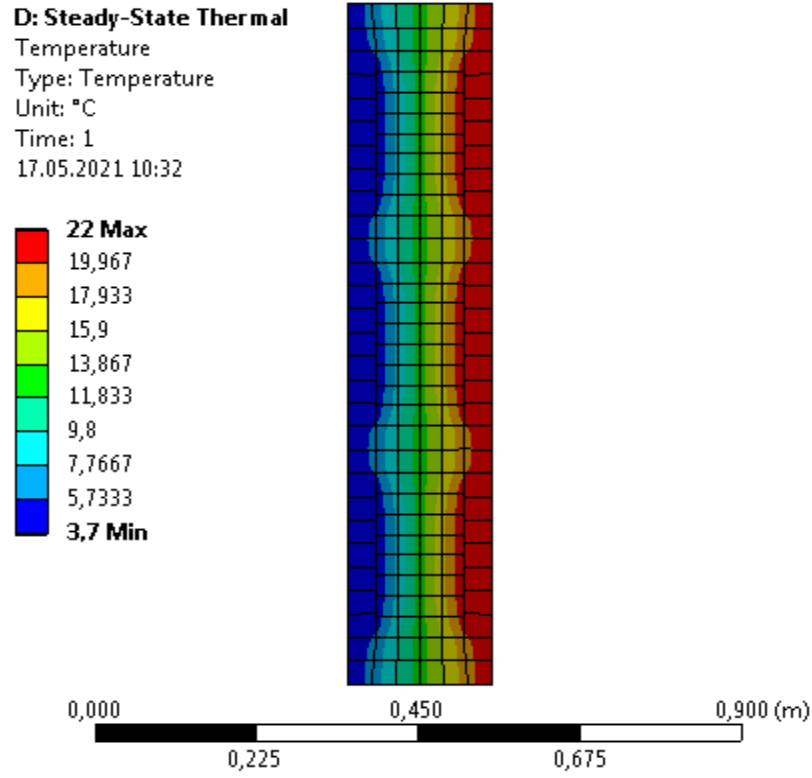
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_o ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

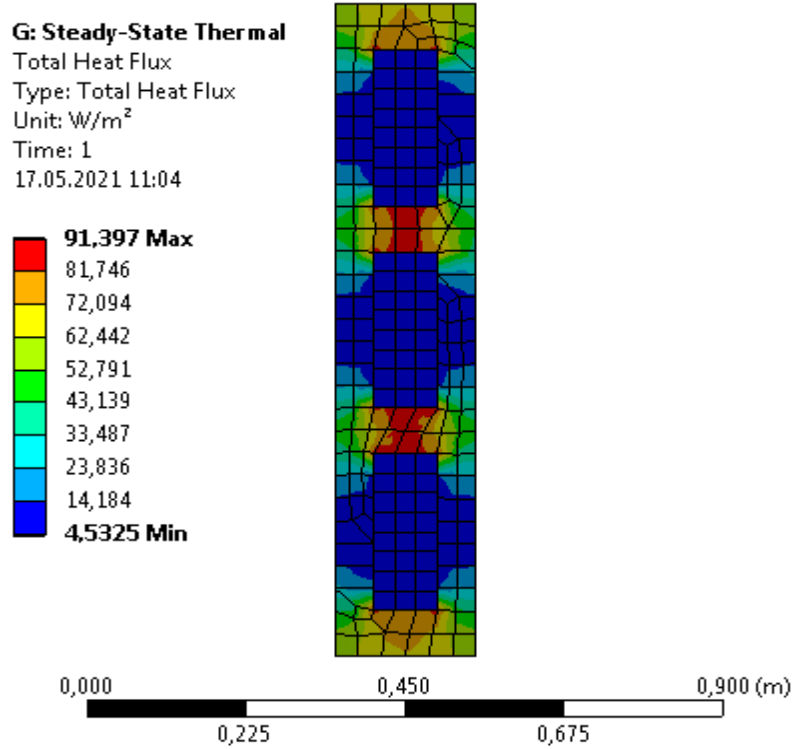
7.1.4. Model D'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.4.1. Model D1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla için ısı transfer katsayısı 0,72 W/mK girilmiştir.

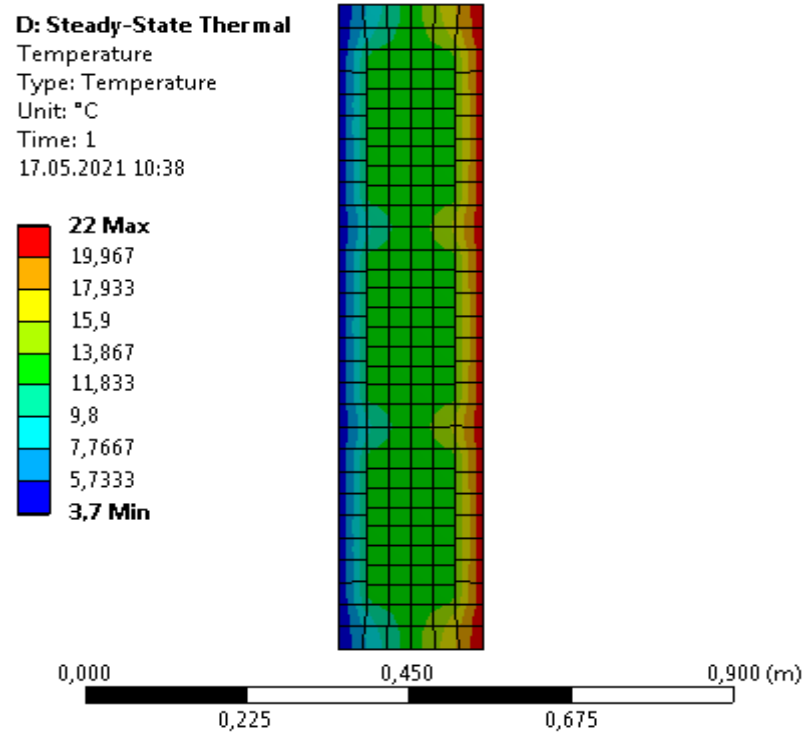


Şekil 7.19. Model D1 (12 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.20. Model D1 (12 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

7.1.4.2. Model D2 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi



Şekil 7.21. Model D2 (12 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

D: Steady-State Thermal

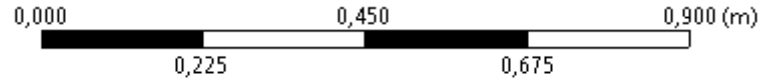
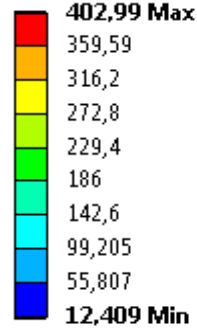
Total Heat Flux

Type: Total Heat Flux

Unit: W/m²

Time: 1

17.05.2021 10:39



Şekil 7.22. Model D2 (12 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_o) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu formülde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_o ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdaki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

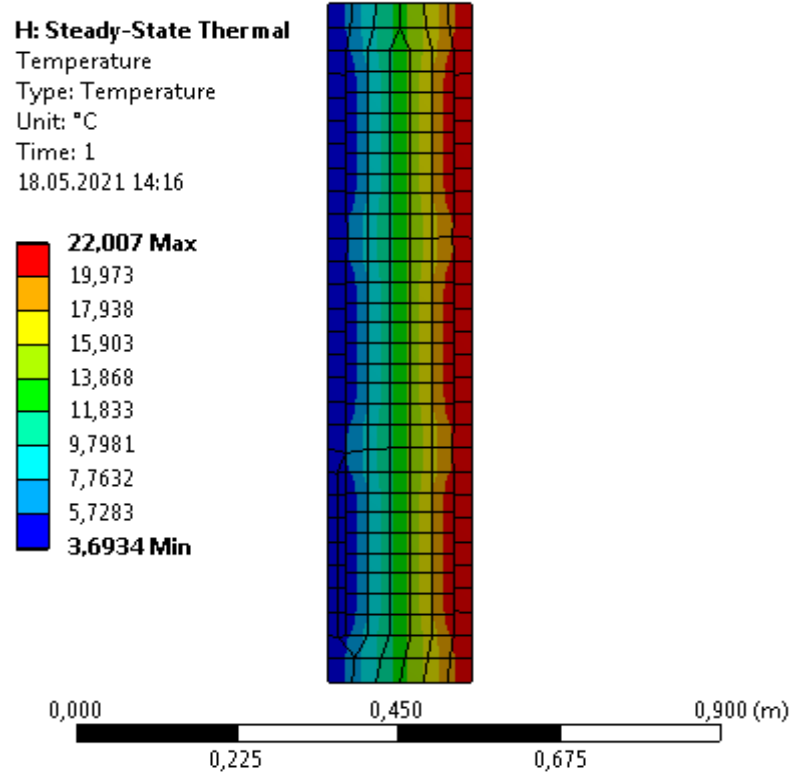
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_o ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

7.1.5. Model E'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.5.1. Model E1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla için ısı transfer katsayısı 0,72 W/mK girilmiştir.



Şekil 7.23. Model E1 (15 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

H: Steady-State Thermal

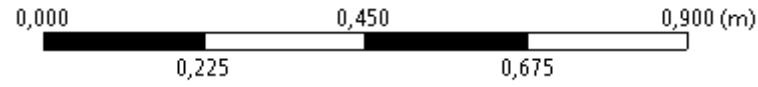
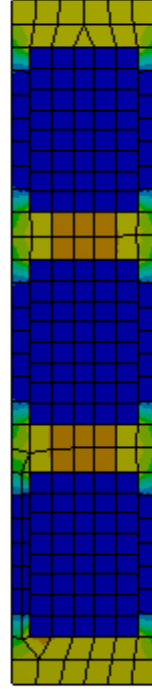
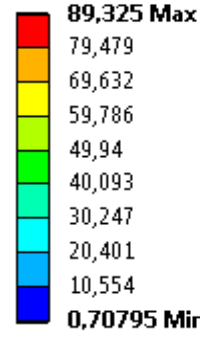
Total Heat Flux

Type: Total Heat Flux

Unit: W/m²

Time: 1

18.05.2021 14:16



Şekil 7.24. Model E1 (15 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

7.1.5.2. Model E2 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

H: Steady-State Thermal

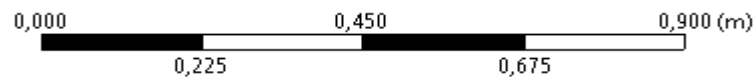
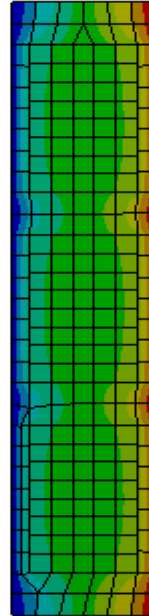
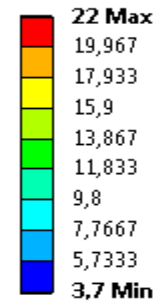
Temperature

Type: Temperature

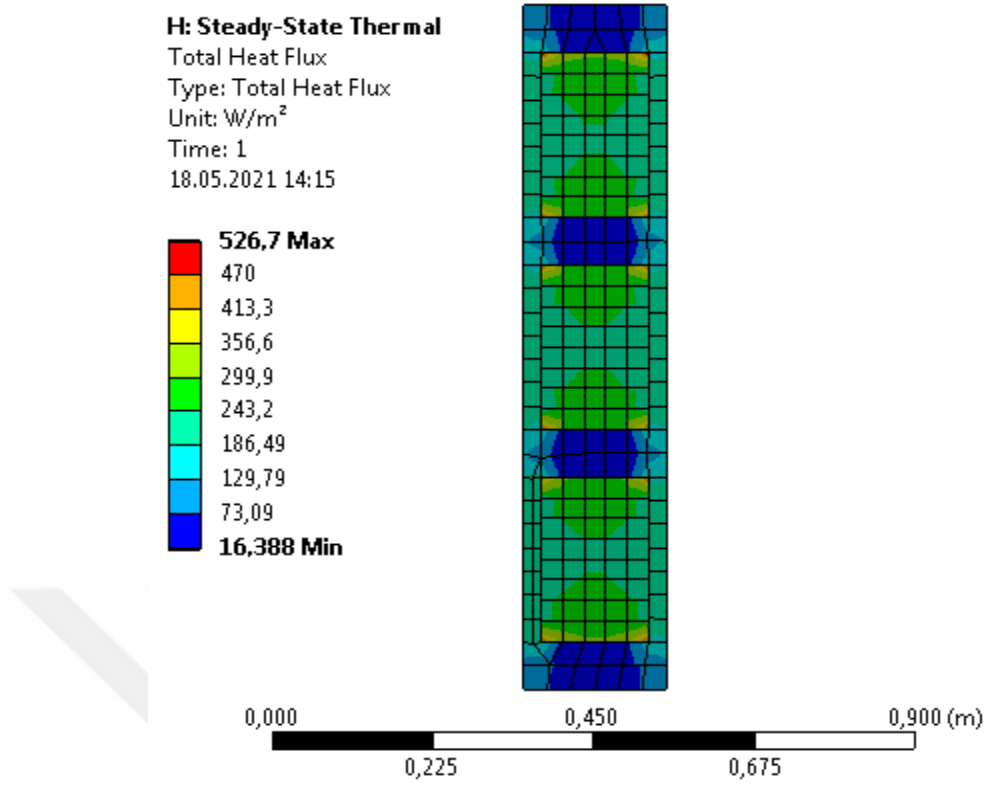
Unit: °C

Time: 1

18.05.2021 14:14



Şekil 7.25. Model E2 (15 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.26. Model E2 (15 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_0) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu formülde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_0 ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdaki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

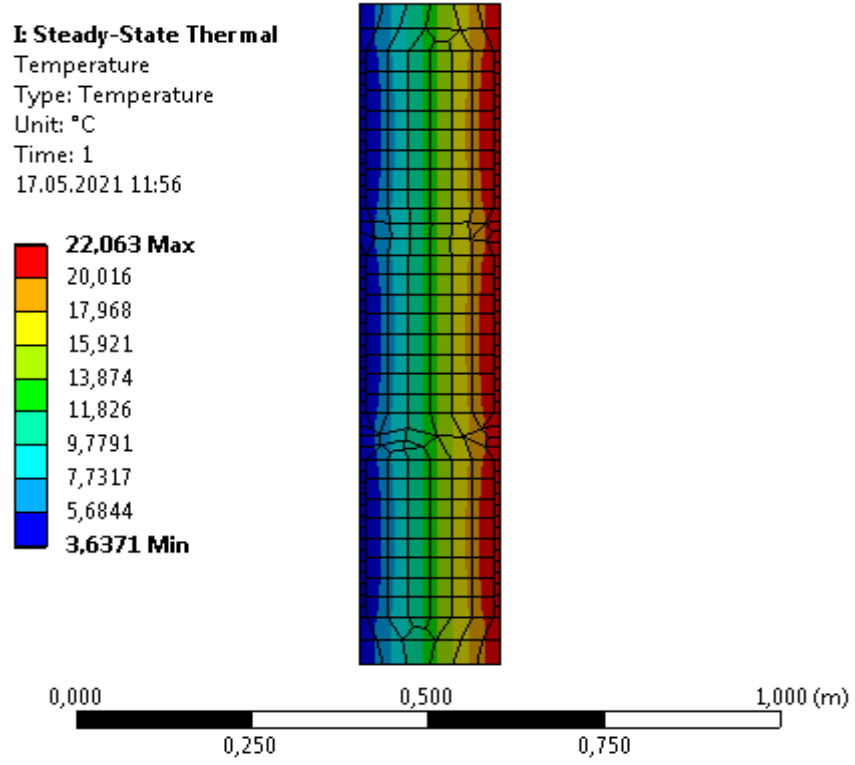
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_0}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_0 ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

7.1.6. Model F'nin Termal Analizi ve Sayısal Yaklaşımı

7.1.6.1. Model F1 Perlit Dolgulu Tuğlanın Analizi

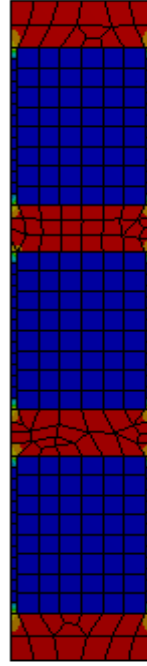
Modelin iç ortam hava sıcaklığı 22 °C, dış ortam hava sıcaklığı 3,7 °C girilmiştir. Tuğlada iletimle, ortamda ise taşınım ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Tuğla için ısı transfer katsayısı 0,72 W/mK girilmiştir.



Şekil 7.27. Model F1 (18 cm) perlit dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.

I: Steady-State Thermal
 Total Heat Flux
 Type: Total Heat Flux
 Unit: W/m²
 Time: 1
 17.05.2021 11:59

67,176 Max
 60,027
 52,878
 45,729
 38,58
 31,431
 24,282
 17,133
 9,9834
2,8343 Min



0,000 0,250 0,500 0,750 1,000 (m)

Şekil 7.28. Model F1 (18 cm) perlit dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

7.1.6.2. Model F2 Hava Dolgulu Tuğlanın Analizi

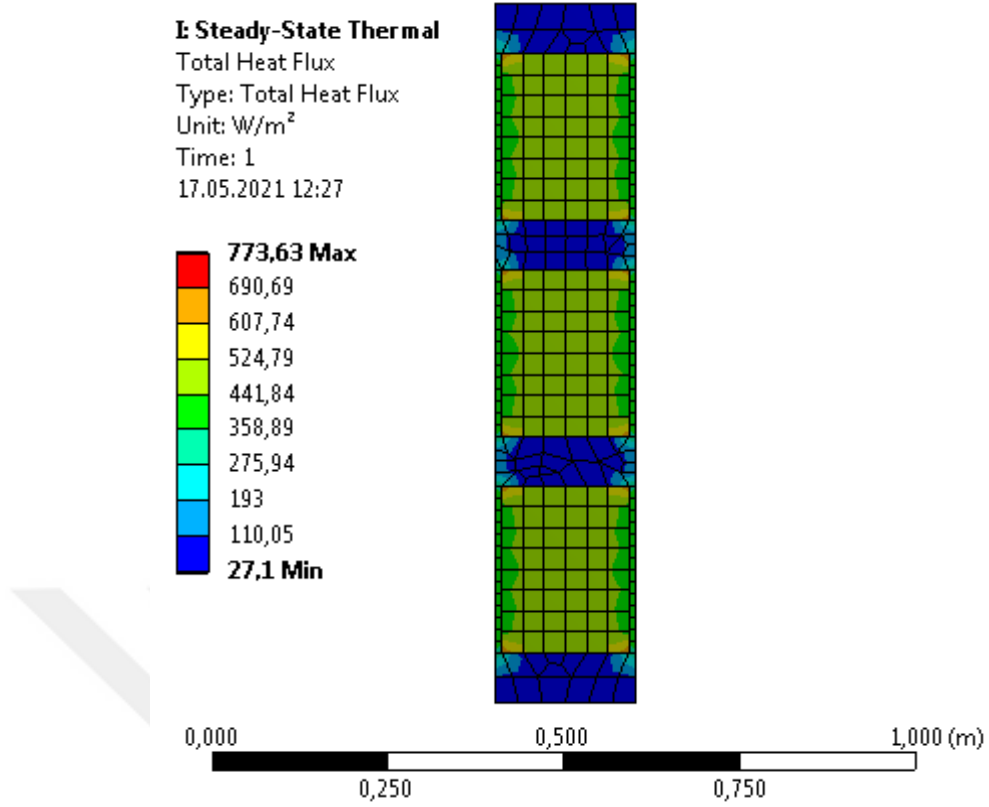
I: Steady-State Thermal
 Temperature
 Type: Temperature
 Unit: °C
 Time: 1
 17.05.2021 12:26

22 Max
 19,967
 17,933
 15,9
 13,867
 11,833
 9,8
 7,7667
 5,7333
3,7 Min



0,000 0,250 0,500 0,750 1,000 (m)

Şekil 7.29. Model F2 (18 cm) hava dolgulu tuğlanın sıcaklık analizi.



Şekil 7.30. Model F2 (18 cm) hava dolgulu tuğlanın ısı iletkenlik analizi.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_i - T_o) \quad (6.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu formülde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_i iç sıcaklığı T_o ortalama dış sıcaklığı vermektedir.

Bu denklemdaki toplam ısı transfer katsayısı “U” yalıtımlı bir duvar için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

Denklemdaki “ h_i ” iç hava ısı transfer katsayısını, “ h_o ” dış hava ısı transfer katsayısını, “ R_w ” duvarın toplam ısı direncini, “ R_{ins} ” ise yalıtım malzemesinin termal direncini göstermektedir.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. MODELLERİN ISI KAYIPLARI SONUÇLARI

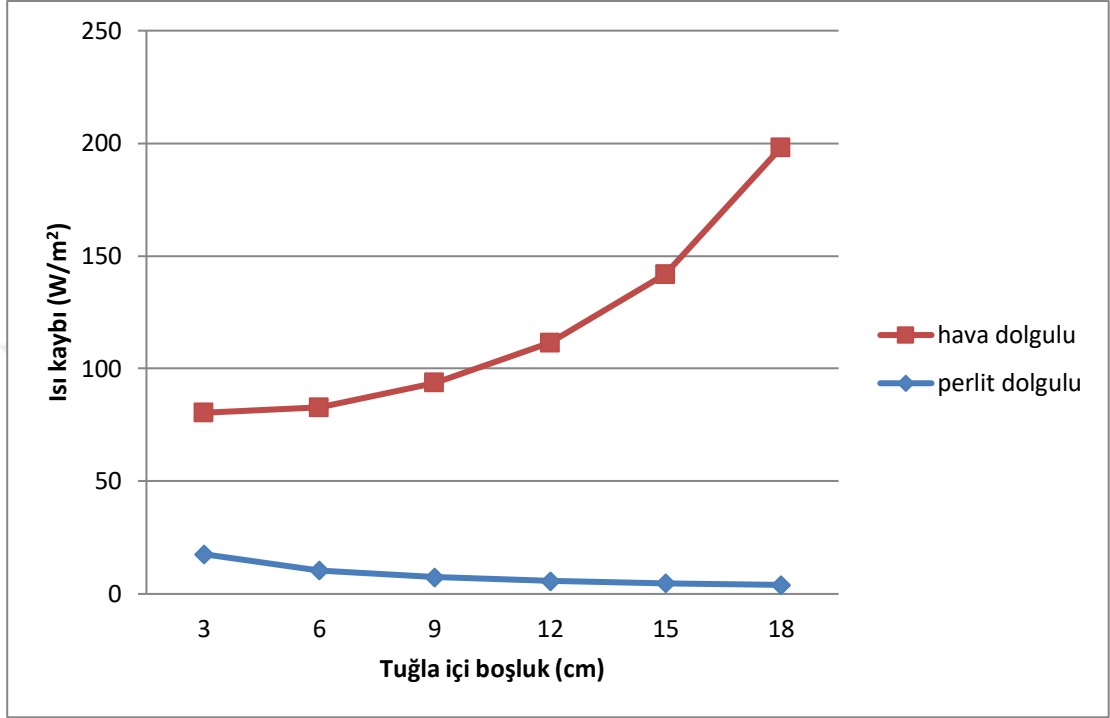
Perlit dolgulu ve dolgusuz tüm tuğlalar için materyal yöntem bölümünde verilen formüllere göre yapılan ısı kaybı hesaplamalarının sonuçları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Isı kayıpları sonuçları.

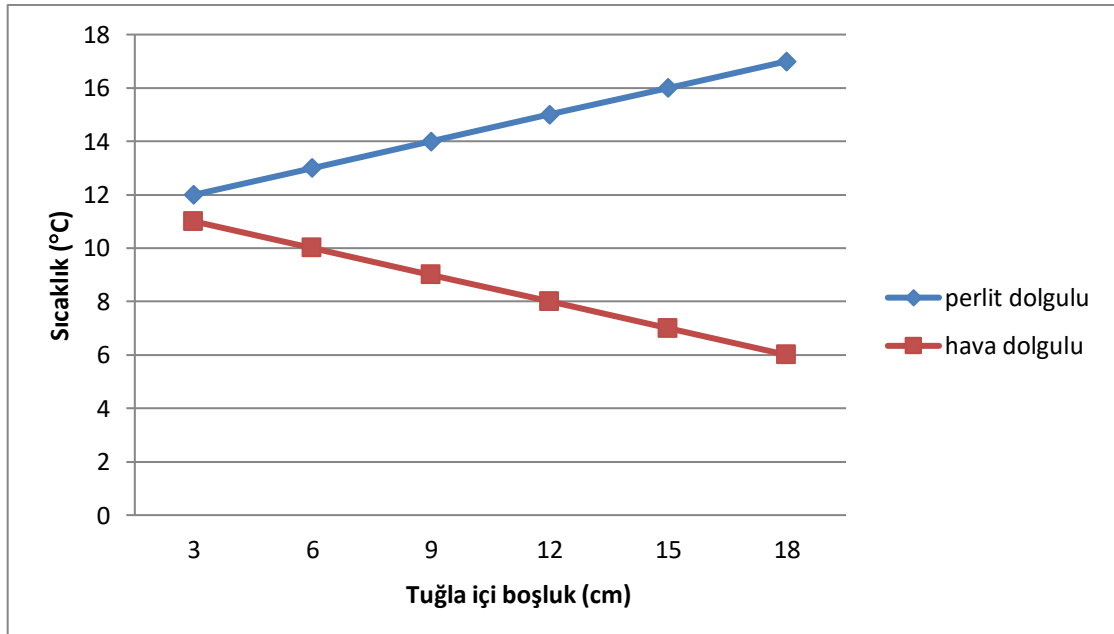
Modeller	Isı kayıpları(W/m ²) (1) ve (2)	Perlit dolgulu (1)	Hava dolgulu (2)
Model A1-A2	q _A	17,6	62,8
Model B1-B2	q _B	10,4	72,7
Model C1-C2	q _C	7,4	86,2
Model D1-D2	q _D	5,8	105,8
Model E1-E2	q _E	4,8	137
Model F1-F2	q _F	4	194

Çizelge 8.1’de verilen sonuçlara göre en az ısı kaybı Model A1 perlit dolgulu tuğlada yaşanmıştır. En fazla kayıp ise Model F2 hava dolgulu tuğlada olmuştur.

Perlit ve hava dolgulu tüm modellerinin ısı kaybı analizi Şekil 8.1’de, sıcaklık değişimi ise Şekil 8.2’de verilen grafikte gösterilmiştir.

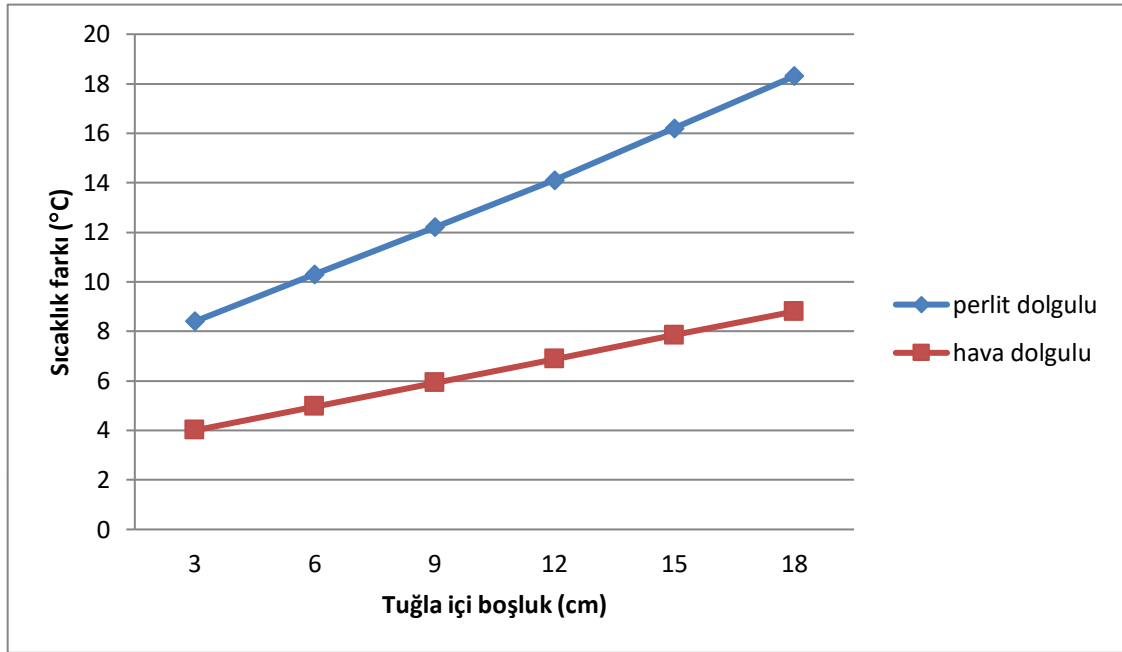


Şekil 8.1. Tüm modellerin ısı kayıpları grafiği.



Şekil 8.2. Tüm modellerin sıcaklık değişim grafiği.

Şekil 8.2’de verilen grafikte perlit dolgulu ve hava dolgulu tuğlaların kalınlığa bağlı orta noktalarından alınan sıcaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 8.3. Modellerin giriş-çıkış sıcaklık farkı grafiği.

Şekil 8.3’te verilen grafikte tuğla kalınlığına bağlı olarak giriş-çıkış sıcaklık farkları değişkenlik göstermektedir. Perlit dolgulu tuğlada 3 cm ile 18 cm boşluklu tuğla arasındaki fark daha fazladır. Bu da bize perlitin havaya göre girişte soğuk olan havayı daha iyi hapsederek çıkışa daha az iletmediğini göstermektedir.

8.2. MODELLERİN MALİYET HESABI SONUÇLARI

Tuğla modelleri için perlit dolgulu ve dolgusuz olarak materyal metod bölümünde verilen formüllere göre yapılan maliyet hesaplamalarının sonuçları Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Maliyet hesabı sonuçları.

Model	İzolasyon malzemesi	Ortalama HDD (°C/Gün)	Yıllık ısıtma maliyeti (tl/m ²)	Tasarruf miktarı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Geri ödeme süresi (ay)
Model A1	Perlit dolgulu	1749	8.440,62	2,31	0,5	6
Model A2	İzolasyon yok	1749	13.605,43	-	-	-

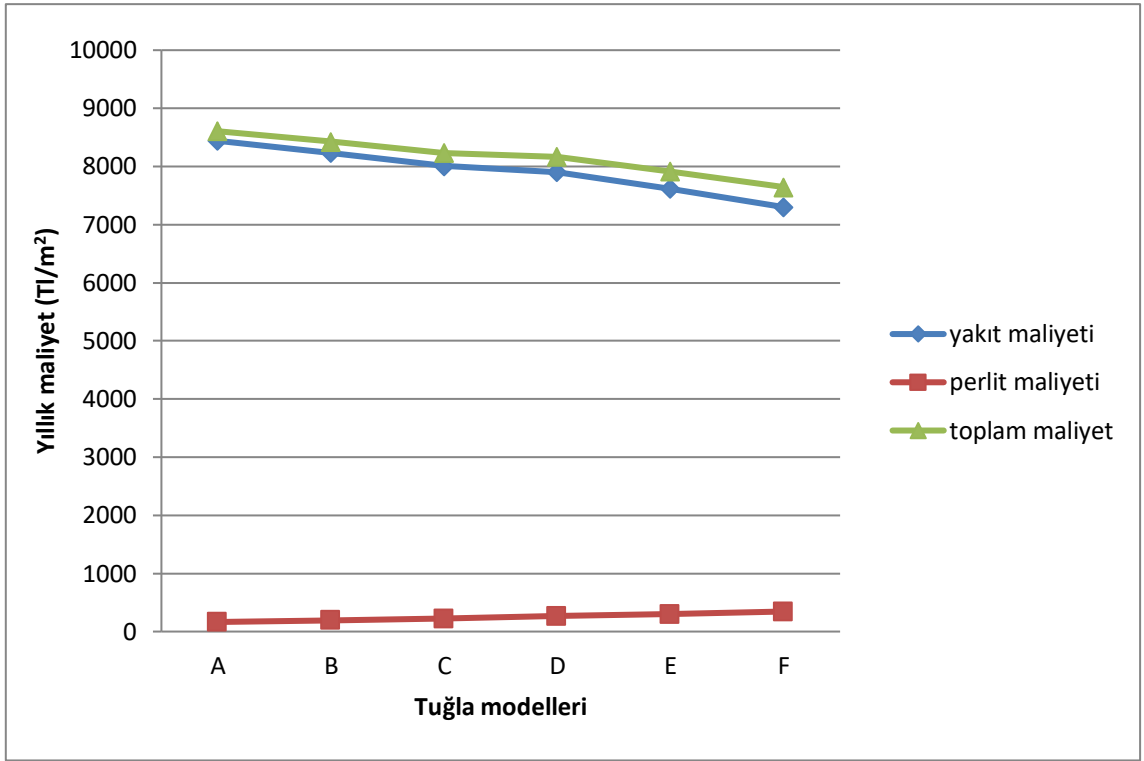
Çizelge 8.2. (devam) Maliyet hesabı sonuçları.

Model B1	Perlit dolgulu	1749	8.232,87	2,92	0,6	7,2
Model B2	İzolasyon yok	1749	13.975,50	-	-	-
Model C1	Perlit dolgulu	1749	8.010,20	3,75	0,7	8,4
Model C2	İzolasyon yok	1749	14.105,22	-	-	-
Model D1	Perlit dolgulu	1749	7.905,87	4,13	0,8	9,6
Model D2	İzolasyon yok	1749	14.299,20	-	-	-
Model E1	Perlit dolgulu	1749	7.615,52	5,20	0,9	10,8
Model E2	İzolasyon yok	1749	14.554,82	-	-	-
Model F1	Perlit dolgulu	1749	7.301,45	6,33	1	12
Model F2	İzolasyon yok	1749	14.902,32	-	-	-

Malzeme ömrü, enflasyon ve faiz oranları da hesaba katılmıştır.

Modellerin hava boşluğu ile dolu olması halinde yıllık ısıtma maliyeti perlit dolguya göre fazla hesaplanmıştır.

Perlit dolgulu modellerin maliyet analizi Şekil 8.4'te verilen grafikte gösterilmiştir. Grafiğe göre perlit kullanımı artıkça yakıt maliyeti düşmektedir.



Şekil 8.4. Modellerin maliyet sonuçlarını gösteren grafik.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu analizlerde; bütün modellerde tuğla ölçüleri sabit tutulmuştur ancak tuğla boşluk ölçüleri ve atanan malzemeler değiştirilerek sayısal ve termal analizler yapılmıştır. Modellere atanan iç ve dış ortam sıcaklıkları için MGM istasyonu verileri baz alınmıştır.

Model A'da dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model B'de dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model C'de dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model D'de dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model E'de dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model F'de dış ortam sıcaklığı 3,7 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C alınarak tuğlanın boşluklarına ilk önce perlit daha sonra durgun hava tanımlanmıştır. Perlit dolgulu tuğladaki taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kaybı hava dolgulu tuğlaya göre daha az çıkmıştır.

Model A'da tuğla boşluk ölçüsü en küçük Model F'de en büyük çizilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında Model F'de boşluklara perlit ilavesi yapılıncı ısı kaybı daha az olmuştur. Ancak boşluklara durgun hava tanımlandığında ısı kaybı fazla olmuştur. Perlit ilavesi ısı kaybını düşürürken durgun hava ilavesi ısı kaybını artırmaktadır.

Elde edilen termal analizler ve sayısal veriler incelendiğinde perlit ilavesiyle birlikte ortam sıcaklık farkının azalması ısı kaybını azaltmaktadır. Isı kaybı ile ısı iletim katsayısı k değeri arasında doğru orantı olduğu saptanmıştır.

Elde edilen ısı kayıpları sonuçlarına göre maliyet hesabı yapılarak perlit kullanımıyla elde edilen tasarruf miktarı, geri ödeme süresi, toplam yakıt miktarı gibi veriler incelenmiştir.

Düzce ili 2020 yılı ısıtma derece gün değerlerinin ortalaması 1749 olarak bulunmuştur. Ayrıca yine yıllık verilerin ortalaması alındığında yılın 365 gününün ortalama 185 günü ısıtma ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

Derece gün değeri hesabına göre yapılan maliyet analizinde perlit dolgulu tuğlalar yalıtımsız tuğlaya göre belirli bir geri ödeme süresinden sonra enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Elde edilen ısı kayıpları ve maliyet hesapları incelendiğinde perlit dolgulu izolasyon tuğlasının ısı kaybını önemli ölçüde engellediği ve yalıtımsız tuğlada yakılan yakıt miktarına göre kendini amorti etme süresinin düşük çıktığı kanıtlanmıştır.

Binalarımızın dış cephesinde perlit dolgulu izolasyon tuğlası kullanımını arttırmak yaşanan ısı kaybı ve bunun sonucunda ortaya çıkan enerji ihtiyacını azaltmak açısından önemlidir. Perlit dolgulu izolasyon tuğlası dört mevsim konutlarımızda daha konforlu bir yaşam alanı oluşturacağı yapılan çalışmalarla doğrulanmıştır. Yaşadığımız bölgeye göre tuğla kalınlığı buna bağlı perlit ilavesi oranları belirlenerek yaşanan ısı kaybı oranı en aza indirilebilir.

10. KAYNAKLAR

- [1] O. Orhun, “Perlit,” *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 8, sayı 4, ss. 213-222, 1969.
- [2] Anonim, (2021, 10 Şubat). *Türkiye madenciler derneği*. [Online]. Erişim: https://tmder.org.tr/modules/faq/datafiles/FILE_8F6E75-89DEEA-C46041-9C05D6-133C62-0074D1.pdf.
- [3] M. Doğan, “Sulu ortamda perlitin yüzey yükünün ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2001.
- [4] V. Bektaş, A. Çerçevik, ve S. Kandemir, “Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı 1, ss. 36-42, 2017.
- [5] S. Yalgın, “Isı yalıtımında genleşmiş perlit ve genleşmiş perlit ürünleri kullanımı,” *Türkiye Mühendislik Haberleri*, ss. 314-321, 1985.
- [6] F. Kalaycı, “Perlit esaslı ısı yalıtım malzemesi üretimi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2016.
- [7] S. Azizi, “Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [8] G. Bayer, “Binalarda uygulanan ısı yalıtım sistemleri ve örnek bir projede ısı yalıtım maliyet analizi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [9] T. Kotan, İ. Fırat, M. Kaya, ve İ. Ulusu, “Binalarda kullanılan farklı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının Erzincan ili şartlarında termokupl ve termal kamera ile incelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 23, sayı 2, 2018.
- [10] H. Sayeban, “Düzce ili için derece zaman ve sıcaklık analizine göre farklı duvar tiplerinde yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [11] H. Kırimer, “Perlit,” *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c.15, sayı 6, ss. 37-44, 1976.
- [12] E. S. Kaya, “Ham perlit ve genleştirilmiş perlitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2019.
- [13] Anonim, (2021, 12 Şubat). *Doğusan boru ticaret* [Online]. Erişim: <http://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf>.
- [14] Türkiye Büyük Millet Meclisi, “S. B. Y. K. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu,” Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III Çalışma Grubu, Türkiye, Rap 3, 2001.

- [15] A. Elmas, “Çinkonun perlit ve kitosanmodifiye perlit ile adsorpsiyonu ve adsorpsiyon özelliklerinin karşılaştırılması,” Doktora tezi, Kimya mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [16] F. Ö. Gökmen, “SiO₂ içeren nanokompozit hidrojenlerin hazırlanması, karakterizasyonu ve çeşitli uygulamalarda kullanılması,” Doktora tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
- [17] Ö. Yaman, Ö. Şengül, H. Selçuk, O. Çalikuş, İ. Kara, ve Ş. Erdem, “Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri,” *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 487, sayı 4, ss. 62-75, 2015.
- [18] S. Mutlu, “Yapılarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri,” *İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu*, ss. 347-462, 2015.
- [19] Anonim, (2020, 6 Nisan). *Isı iletimi*, [Online]. Erişim: <http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/kimyamuh/Dosyalar/KMLI-D1.pdf>.
- [20] Anonim, (2020, 7 Nisan). *Isı transferi*, [Online]. Erişim: <http://www.adeva.com.tr/document/teknik/yangin/Isi-Transferi.pdf>.
- [21] Anonim, (2020, 7 Nisan). *Giriş ve temel kavramlar*, [Online]. Erişim: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/72277/mod_resource/content/0/HA_FTA_2.pdf.
- [22] Anonim, (2020, 7 Nisan). *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü ısı transferi dersi*, 2006 [Online]. Erişim: <http://eng.ege.edu.tr/~gunerhan/IsiTransferiOZET01.pdf>.
- [23] Enerji Verimliliği Derneği, *Isı Yalıtım Yol Haritası (Firmalar için), Binalarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması İçin Teknik Yardım Projesi*, İstanbul, Türkiye: Niras Yayınları, 2017.
- [24] K. Altınışık, *Isı Yalıtımı*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2006.
- [25] Anonim, (2021, 10 Nisan). *İnşaat uygulamaları*, [Online]. Erişim: <https://arge7.com/detay.php?id=754>.
- [26] A. Özenç, “Edirne’deki ısı yalıtım uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2007.
- [27] B. Isıkan, ve O. İnan, “Isı yalıtım uygulamalarının üç bölge için enerji verimliliği açısından incelenmesi,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c.3, ss.1-9, 2006.
- [28] H. Gemci, R. Küçükönder, ve A. Solak, “Pamuk atığı, uçucu kül ve barit ile üretilen sunta panellerin ısı, ses ve radyasyon geçirgenliği özellikleri,” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, sayı 1, ss. 16-25, 2012.
- [29] B. Bradan, H. Yazıcı, ve S. Aydın, *Beton*, 2. baskı, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2015, ss. 17-18.
- [30] D. Myers, *Surfactant Science and Thecnology*, U.S.A: John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [31] A. W. Amiry, “Yüksek sıcaklığın hava sürüklenmiş betonun basınç dayanımına etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye, 2017.

- [32] J.R. Mumaw, *Heat transmission measurements in thermal insulations*, 1.baskı, West Conshohocken, USA: ASTM, 1974, ss. 193-211.
- [33] J.R. Mumaw, *Thermal insulation performance*, 1.baskı, West Conshohocken, USA: ASTM, 1980, ss. 195-207.
- [34] E. Kırbıyık, “Ses ve ısı yalıtımlı ekolojik yapı malzemelerinin incelenmesi ve Trakya bölgesinde yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin yalıtım malzemesi olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2012.
- [35] R. Maderuelo-San, A. V. Nadal-Gisbert, J. E. Crespo-Amorós, J. M. Barrigón Morillas, F. Parres-García, ve E. JuliáSanchis, “Influence of themicrostructure in theacousticalperformance of consolidated light weight granular materials,” *Acoustics Australia*, c. 44, ss. 149–157, 2016.
- [36] R. Maderuelo, J. G. Segura, A. Nadal, E. Julia, J. E. Crespo, ve J. M. Gadea, “Acousticalproperties of porousabsorbersmade from perlite”, *International Conference Sustainable Materials Science and Technology*, ss. 22-25, 2015.
- [37] *Acoustics – rating of soundinsulation in buildingsand of buildingelements – Part 1: Air borne sound insulation*, International Organization for Standardization, ISO 717-1, 2013.
- [38] T. Kimmins, S. Harrison, ve P. Harrison, *Green Building Handbook*, 1.baskı, Manchester, England: Spon Press, 2005.
- [39] Anonim, (2020, 16 Şubat). *Izoder ısı yalıtımı genel bilgileri* [Online]. Erişim: http://www.yapi.com.tr/haberler/izoderden-10-maddede-isi-yalitimi-ile-ilgili-bilinmesi-gerekenler_162296.html.
- [40] Y. He, “Rapid thermal conductivity measurement with a hot disk sensor Part 1. Theoreticalconsiderations,” *ThermochimicaActa*, c. 436, ss.122–129, 2005.
- [41] O. Uluer, İ. Karaağaç, M. Aktaş, G. Durmuş, Ü. Ağbulut, ve D. N. Çelik, “Genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım teknolojilerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, sayı 1, ss. 36-42, 2018.
- [42] K. Tatematsu, T. Hirota, H. Suzuki, M Taniguchi, Y. Nunoi, ve T. Uzawa, “Influence of temperature and moisture on aging of glasswool,” *Journal of Environmental Engineering*, c.79, ss. 753–62, 2014.
- [43] Anonim, (2021, 1 Şubat). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, [Online]. Erişim: <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/duezce/duezce-187/>
- [44] Anonim, (2021, 27 Ocak). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü* [Online]. Erişim: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece>.
- [45] Ö. Kaynaklı, S. Özdemir, ve M. İ. Karamangil, “Güneş ışıınımı ve duvar yönü dikkate alınarak optimum ısı yalıtım kalınlığının belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, sayı 2, ss. 367-374, 2012.
- [46] B. B. Ekici, A. Gülten, ve 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*, c. 92, ss. 211-217, 2012.

- [47] Anonim, (2021, 9 Şubat). *T.C. Merkez Bankası* [Online]. Erişim: <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/>.
- [48] Ö. Kaynaklı, “Optimum thermal insulation thicknesses and payback periods for building walls in Turkey,” *Journal of Thermal Science and Technology*, c. 33, ss. 45-55, 2013.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gözde EKİN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Makine Mühendisliği	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2015
Lise		Ankara Alparslan Anadolu Lisesi	2011

YAYINLAR

G. Ekin ve E. Toklu, “Analysis of heat transfer properties and advantages of perlite-filled insulation bricks,” *Journal of Engineering Research and Applied Science*, c. 9, sayı 2, ss. 1588-1596, 2020.