



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI TÜRDEKİ YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA
ENERJİ PERFORMANSI VE ISINMA MALİYETİNE ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

KÜBRA KURTOĞLU SONTAY

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU

BARTIN-2019



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI TÜRDEKİ YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ
PERFORMANSI VE ISINMA MALİYETİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Kübra KURTOĞLU SONTAY

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Osman GENÇEL - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Kübra KURTOĞLU SONTAY tarafından hazırlanan “FARKLI TÜRDEKİ YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSI VE ISINMA MALİYETİNE ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 06.08.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU
(Danışman)



Üye : Prof. Dr. Osman GENÇEL



Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK



Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “FARKLI TÜRDEKİ YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSI VE ISINMA MALİYETİNE ETKİSİ ” başlıklı Makine Mühendisliği tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

06.08.2019

Kübra KURTOĞLU SONTAY



ÖNSÖZ

“Farklı Türdeki Yapı ve Isı Yalıtım Malzemelerinin Bina Enerji Performansı ve Isınma Maliyetine Etkisi” isimli bu bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yardımını esirgmeden bana her zaman destek olan, değerli bilgileri ile bana ışık tutan ve kullandığı her kelimenin önemini hayatım boyunca unutmayacağım danışmanlığımı üstlenen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU’na öncelikli olarak en derin saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Osman GENÇEL’e ve Dr. Öğr. Üyesi Ali YARAŞ’a yardımlarını esirgemediği için teşekkür ederim. Hayatım boyunca her an yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana çalışma azmi kazandıran sevgili aileme ve çalışmalarım süresince desteğini sürekli hissettiğim sevgili eşime sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Kübra KURTOĞLU SONTAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI TÜRDEKİ YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSI VE ISINMA MALİYETİNE ETKİSİ

Kübra KURTOĞLU SONTAY

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU

Bartın-2019, sayfa: 67

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından biridir ve yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Tarım, sanayi, ulaşım ve inşaat alanlarındaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, enerji ihtiyacı da önemli ölçüde artmıştır. Enerji tüketimindeki önemli artış, temel enerji kaynaklarının hızla azalmasına sebep olurken; küresel ısınmanın etkisini, sera gazı emisyonu seviyesini, yakıt maliyetleri ve çevre kirliliğini arttırmayı hızlandırmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji sorununu çözmek için iki önemli konuya odaklanmıştır. Bunlardan ilki enerji tasarrufu ve sistemlerin verimliliğini arttırmaktır. İkincisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir. Enerji tüketim sektörü binalar, sanayi, ulaşım ve tarım olmak üzere dört ana alana ayrılabilir. Binalardaki enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %30'una ulaşmakta ve bu enerji tüketiminin yaklaşık %60'ı bina yüzeylerindeki alan ısıtma ve soğutmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla binalardan kaynaklanan enerji kayıpları, enerjinin korunumu ve enerji tüketimi açısından büyük bir önem teşkil etmektedir. Bu sebeple, son zamanlarda yapı sektörlerinde de yenilenebilir enerji ve enerji tasarruf teknolojilerinin yayılması için uyarıcı önlemler kullanılmaktadır. Uygun bir tasarım ve yapı bileşenlerinin seçimi ile enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir. Böylece duvar ve çatıdaki ısı yalıtımında %77'ye kadar enerji tasarrufu sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında, TSE 825 yönetmeliğindeki açıklamalar ve bilimsel çalışmalar referans alınarak incelenen bir konut binasında, ısıtma ve soğutmadan kaynaklanan enerji kayıplarının en aza indirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, referans binada tüketilen enerji miktarı ve buna bağlı yakıt maliyetlerini en aza indirmek amacı ile farklı yalıtım ve yapı malzemeleri kullanılarak çözüm önerileri aranmıştır. İlk olarak literatür araştırması yapılarak piyasada var olan yalıtım ve yapı malzemeleri ile bunların teknik özellikleri incelenmiştir. Çalışma iki ayrı koldan yürütülmüştür. Öncelikle PMS katkılı poliüretan malzeme için enerji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Daha sonra aynı bina için vermikülit oranları farklı beton (yapı malzemesi) kullanılarak analizler elde edilmiştir. Çalışmanın temel amaçlarından biri de binanın bulunduğu iklim koşullarının önemini vurgulamaktır. Bu sebeple tüm bu analizler aynı bina kabuğu için, dört farklı iklim bölgesindeki, dört ayrı şehir için yapılmıştır. Yapılan nümerik analizler EES programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir ve kullanılan her malzeme için enerji tüketim miktarı ve yakıt maliyeti miktarları karşılaştırılmıştır. Ayrıca tüm alternatifler için ekonomik etkenler göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak ise, önerilen malzemeler için elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Standart poliüretan malzeme yerine, PMS katkılı poliüretan yalıtım malzemesi kullanıldığında tüm bölgelerde neredeyse yarıya kadar yalıtım malzemesi kalınlığının azaldığı gözlenmiştir. Böylece yalıtım malzemesi maliyeti de azalmıştır. Isı ihtiyacı farkı 1.bölgede 4.15 kWh/m² iken bu değer 4.bölgede 13.6 kWh/m²'ye çıkmaktadır. Yakıtlardan sağlanan yıllık tasarruf miktarı incelendiğinde en çok tasarrufun LPG yakıtında gerçekleştiği ve bunun da 1.bölgede 0.44 \$/m² iken 4.bölgede 1.456 \$/m²'ye ulaştığı gözlenmiştir. Doğalgaz yakıtından sağlanan tasarruf 1.bölgede 0.07 \$/m² iken 4.bölgede 0.23 \$/m²'ye ulaşmıştır. Kömür yakıtından sağlanan tasarruf miktarı da 0.14 \$/m²'den 0.46 \$/m²'ye ulaşmıştır. Ayrıca poliüretan malzemenin yalıtım kalınlığına bağlı atmosfere salınan karbondioksit gazı miktarının hangi ölçüde azaltıldığı araştırılmıştır. Sonucunda ise en çok azalmanın kömür yakıtında olduğu gözlenmiştir. Bu azalma 1.bölgede 0.115 kg.m²/yıl iken 4.bölgede 0.378 kg.m²/yıl değerine ulaşmıştır. Vermikülit katkılı betondan elde edeceğimiz sonuçlara bakacak olursak, 0.2041 m beton kalınlığı için, 1.bölgede standart beton yerine %37.2 gözenekliliğe sahip beton kullanıldığında, bir yıllık toplam ısı ihtiyacı 26.21 kWh/m²'den 24.48 kWh/m²'ye düşmüştür. Yine bu değer 4.iklim bölgesi için 101.9 kWh/m²'den, 96.18 kWh/m²'ye düşmüştür. LPG yakıtından sağlanan yıllık tasarruf miktarı 1.bölgede 0.18 \$/m² iken 4.bölgede 0.62 \$/m²'ye ulaşmıştır. Doğalgaz yakıtından sağlanan yıllık tasarruf miktarı 0.03 \$/m²'den 0.1 \$/m²'ye çıkmıştır. Son olarak, standart beton yerine

%37.2 gözenekliliğe sahip katkılı beton kullanıldığında, kömürden sağlanan yakıt tasarrufu 0.06 \$/m²'den, 0.19 \$/m²'ye yükselmiştir. Tüm bu sonuçlar binanın toplam alanı için hesaplandığında göz ardı edilemeyecek miktarda enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı; enerji tasarrufu; termal performans; enerji analizi; maliyet analizi; yakıt maliyeti.

Bilim Kodu: 625.04.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF BUILDING AND HEAT INSULATION MATERIALS ON BUILDING ENERGY PERFORMANCE AND HEATING COST

Kübra KURTOĞLU SONTAY

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Abid USTAOĞLU

Bartın-2019, pp: 67

Energy is one of the cornerstones of economic and social development and plays a vital role in raising living standards. In parallel with the technological developments in agriculture, industry, transportation and construction, energy demand has increased significantly. A significant increase in energy consumption leads to a rapid decrease in basic energy resources; accelerated the impact of global warming, greenhouse gas emissions, fuel costs and environmental pollution. Developed and developing countries have focused on two important issues to solve the energy problem. The first is to save energy and increase the efficiency of the systems. The second is to focus on renewable energy sources. The energy consumption sector can be divided into four main areas: buildings, industry, transportation and agriculture. Energy consumption in buildings reaches approximately 30% of total energy consumption, and about 60% of this energy consumption results from space heating and cooling on building surfaces. Therefore, energy losses from buildings are of great importance in terms of energy conservation and energy consumption. For this reason, stimulatory measures have been used recently in the construction sectors for the dissemination of renewable energy and energy saving technologies. Energy consumption can be significantly reduced by selecting a suitable design and building components. Thus, up to 77% energy savings can be achieved in thermal insulation on walls and roofs. In this

thesis, it is aimed to minimize energy losses due to heating and cooling in a residential building which is examined with reference to the explanations and scientific studies in TSE 825 regulation. In this context, in order to minimize the amount of energy consumed in the reference building and the associated fuel costs, solutions were sought using different insulation and construction materials. First of all, the literature is searched and the existing insulation and construction materials and their technical properties are examined. The study was conducted in two separate branches. Firstly, energy and cost analyzes were made for PMS doped polyurethane material. Then, vermiculite ratios for the same building were analyzed using different concrete (building material). One of the main objectives of the study is to emphasize the importance of the climatic conditions of the building. Therefore, all these analyzes were conducted for the same building shell, for four different cities in four different climatic zones. Numerical analyzes were performed with the help of EES program and energy consumption and fuel cost amounts were compared for each material used. In addition, economic factors were considered for all alternatives. As a result, the results obtained for the proposed materials have been evaluated and it has been observed that a considerable amount of savings has been achieved. It is observed that the thickness of the insulation material is reduced by almost half in all regions when PMS reinforced polyurethane insulation material is used instead of standard polyurethane material. Thus, the cost of insulation material is reduced. While the difference in heat requirement is 4.15 kWh/m² in the 1st region, this value increases to 13.6 kWh/m² in the 4th region. When the annual savings amount obtained from fuels is analyzed, it is observed that the highest saving is realized in LPG fuel and this amount reached to 1.456/m² in the 4th region from 0.44 \$/m² in the first region. Savings from natural gas fuel increased from 0.07 \$/m² in zone 1 to 0.23 \$/m² in zone 4. The amount of savings from coal fuel increased from 0.14 \$/m² to 0.46 \$/m². In addition, the amount of carbon dioxide gas released into the atmosphere due to the insulation thickness of the polyurethane material has been investigated. As a result, the most decrease was observed in coal fuel. This decrease was 0.115 kg.m²/year in the 1st region and 0.378 kg.m²/year in the 4th region. When we look at the results obtained from vermiculite reinforced concrete, for the concrete thickness of 0.2041 m, when the concrete having 37.2% porosity was used instead of standard concrete in the first zone, the total heat requirement for one year decreased from 26.21 kWh/m² to 24.48 kWh/m². Again, this value decreased from 101.9 kWh/m² to 96.18 kWh/m² for the 4th climate zone. The annual savings from LPG fuel reached 0.62 \$/m² in zone 4, compared to 0.18 \$/m² in zone 1. The annual savings

from natural gas fuel increased from 0.03 \$/m² to 0.1 \$/m². Finally, when using reinforced concrete with a porosity of 37.2% instead of standard concrete, the fuel savings from coal increased from 0.06 \$/m² to 0.19 \$/m². When all these results are calculated for the total area of the building, it is concluded that energy savings cannot be ignored.

Keywords: Thermal insulation; energy saving; thermal performance; energy analysis; cost analysis; fuel cost.

Science Code: 625.04.02

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	ivi
ÖZET	vi
ABSTRACT	ix
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Enerji ve enerji verimliliği	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.2 Isı yalıtımı	2
1.3 Isı yalıtımının faydaları.....	4
1.4 Yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri.....	6
1.4.1 Camyünü	7
1.4.2 Taşyünü	7
1.4.3 Ekstrüde polistren köpük (XPS).....	8
1.4.4 Ekspande polistren köpük (EPS).....	9
1.4.5 Poliüretan köpük	9
1.5 Yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri	10
1.6 Isı yalıtımı malzemesi seçim kriterleri.....	11
1.7 Literatür özeti.....	12
1.8 Çalışmanın amacı.....	18
BÖLÜM 2 MATERYAL VE METOT	199
2.1 Poliüretan özellikleri.....	199
2.2 Poliüretan köpük üretimi	199
2.3. Poliüretan köpük eklenmiş PMS'nin SEM analizi.....	20

2.4. Betonun özellikleri.....	23
2.5. Enerji performans analizi.....	255
2.5.1 Analiz edilen bina ve bölgeler.....	255
2.5.2 Binadan toplam ısı kaybı hesabı	288
2.5.2.1 Binanın özgül ısı kaybı.....	29
2.5.2.2 Duvarlardan kaynaklı ısı kaybı	30
2.5.2.3 Pencereleden kaynaklanan ısı kaybı	32
2.5.2.4 Tavan ve çatıdan kaynaklanan ısı kaybı.....	33
2.5.2.5 Döşemeden kaynaklanan ısı kaybı	36
2.5.2.6 Kapılardan kaynaklanan ısı kaybı	36
2.5.3 Toplam ısı kazançları	377
2.5.3.1 Aylık ortalama güneş enerji kazançları.....	37
2.5.3.2 Aylık iç enerji kazançları	37
2.5.4 Toplam ısı ihtiyacı.....	388
2.5.5 Ekonomik analiz.....	399
2.5.6 Karbondioksit emisyonu hesabı	399
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	41
3.1 Yalıtım Malzemesi Olarak PMS Katkılı Poliüretan Kullanılan Binalarda Enerji Analizi.....	41
3.2 Yalıtım Malzemesi Olarak PMS Katkılı Poliüretan Kullanılan Binalarda Maliyet Analizi.....	455
3.3 Yapı Malzemesi Olarak Vermikülit Katkılı Beton Kullanılmış Binalarda Enerji Analizi.....	51
3.4 Yapı Malzemesi Olarak Vermikülit Katkılı Beton Kullanılmış Binalarda Maliyet Analizi.....	53
BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER	577
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	666

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Binalarda ısı geçişlerinin olabileceği alanlar	4
1.2: Cam yünü	7
1.3: Taş yünü	8
1.4: XPS levha.....	8
1.5: EPS levha	9
1.6: Poliüretan köpük uygulaması	10
2.1: Poliüretan köpük üretim prosesi	20
2.2: PMS' nin SEM görüntüsü	21
2.3: Katkısız (a), %1 PMS (b), %2 PMS (c) ve %3 PMS (d) katkılı poliüretan köpüklerinin SEM görüntüleri	22
2.4: PMS ile poliüretan köpüğün, termal iletkenlik ve gözeneklilik arasındaki ilişki Binalarda ısı geçişlerinin olabileceği alanlar	23
2.5: Türkiye' nin DD'ye göre seçilen bölge ve illeri	26
2.6: Yıl boyunca aylık ortalama saatlik güneş radyasyonu yoğunluğu	27
2.7: Yıl boyunca aylık ortalama günlük ortam sıcaklığı	27
2.8: Duvar yapısının ısı transfer mekanizması	31
2.9: Tavan ve çatının yapısı	34
3.1: Yalıtım kalınlığına bağlı toplam ısı ihtiyacı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3. iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi	42
3.2: Standart bir poliüretan ile PMS içermeyen ve katkılı poliüretanlar arasındaki ısı ihtiyacı farkı ve ısı ihtiyacında azalma.....	44
3.3: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak farklı yakıtlar için yıllık tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi	45
3.4: Farklı iklim bölgeleri için yıllık tasarruf XPS levha.....	46
3.5: Farklı miktarda PMS katkılı poliüretanlar için yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı [(a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi]	47
3.6: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak farklı PMS katkılı poliüretanlar için yıllık doğalgaz yakıt miktarı tasarrufundaki değişim [1.iklim bölgesi (a), 2.iklim bölgesi (b), 3.iklim bölgesi (c) ve 4.iklim bölgesi (d)]	48

3.7: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık tasarrufta (kömür) değişim [a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi]	49
3.8: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık CO ₂ emisyonu değişim a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi	50
3.9: Beton kalınlığına bağlı toplam ısı ihtiyacı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.bölgesi	52
3.10: Beton kalınlığına bağlı olarak farklı yakıtlar için yıllık tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi	53
3.11: Farklı miktarda vermikülit katkılı betonlar için beton kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi	54
3.12: Beton kalınlığına bağlı olarak farklı miktarda vermikülit katkılı betonlar için yıllık doğalgaz yakıt miktarı tasarrufundaki değişim 1.iklim bölgesi (a), 2.iklim bölgesi (b), 3.iklim bölgesi (c) ve 4.iklim bölgesi (d).	55
3.13: Beton kalınlığına bağlı olarak yıllık tasarrufta (kömür) değişim (a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi	56

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Konutların aydınlatma ve ısıtma amaçlı yakıt tüketimi	6
1.2: Yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin genel fiziksel özellikleri	10
2.1: PMS' nin bazı özellikleri.....	20
2.2: Poliüretan köpüklerin ısı iletkenlik değerleri.....	22
2.3: Çimentonun kimyasal özellikleri	23
2.4: Genleşmiş vermikülit'in özellikleri.....	24
2.5: Uçucu külün kimyasal bileşimi.....	24
2.6: Karışım oranları ve üretilen betonun bazı özellikleri.....	25
2.7: İklim bölgesi ve seçilen şehirler için belirli veriler.....	26
2.8: Çatı ve tavan yapısının hesaplanmasında kullanılan parametreler	34
2.9: Ekonomik analiz için kullanılan yakıt miktarının kalorifik değeri, verimi ve maliyeti.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
kWh	: kilowatt saat
\$: dolar

KISALTMALAR

DD	: Derece gün
DG	: Doğalgaz
EL	: Elektrik
EPS	: Genleşmiş polistren
FC	: Fiber betonarme
FO	: Fuel oil
KÖ	: Kömür
PR	: Gözeneklilik
RUC	: Kauçuklaştırılmış beton
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SFFRuC	: Çelik elyaf takviyeli kauçuk beton
STD	: Standart
TESA	: Isıl enerji depolama agregaları
TESC	: Isıl enerji depolama betonu
UCS	: Havalandırılmış betonarme döşeme
VIP	: Vakum yalıtım panelleri
WTR	: Atık lastik kauçuğu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Artan enerji ihtiyaçlarına paralel olarak, tüm dünya son yıllarda ciddi bir küresel ısınma tehdidiyle karşı karşıya kalmıştır. Fosil yakıtların kullanım ömürlerinin kısıtlı olduğundan, alternatif enerji kaynaklarına yönelmek ve mevcut fosil yakıt kullanımını derhal sonlandırmak gerekmektedir. Çevre ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre binalar, en önemli enerji tüketen unsurlardan biridir ve dünyada toplamda kullanılan elektriğin yarısını, doğalgazın ise üçte birini tüketmektedir. Ayrıca, toplamda atmosfere salınan sera gazlarının da üçte biri yine binalardan kaynaklanmaktadır (Yılmaz, 2009). Son zamanlarda binalardan kaynaklanan enerji tüketimine bağlı işletme maliyetleri ve sera gazları emisyonlarını düşürme amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Türkiye de dahil birçok dünya ülkesinde konu ile ilgili denetleme ve sınırlandırmaları içeren yönetmelikler, standartlar gibi mevzuatlar yürürlüğe girmiştir. Sürdürülebilir bir çevre için mevcut fosil yakıt tüketen sistemlerin derhal sonlandırılması gerekmektedir. Bunun yerine alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır. Bu kaynakların sürdürülebilirlikleri çok yüksek ve dolayısıyla neden oldukları karbondioksit salınımları çok düşük veya sıfırdır. Binalarda en uygun bina tasarımı yapabilmek, işletme ve enerji giderlerini en aza indirmek, en uygun konfor şartlarını yakalamak, sürdürülebilir bir çevre ve kaynaklara katkıda bulunmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada da binalardan kaynaklanan kayıpları en aza indirmek, enerji ve maliyet bakımından tasarruf elde edilmeye çalışılmıştır. Binanın enerji performansına karar vermek için, örnek bir yapıya yeni bir poliüretan ve beton malzeme uygulanmıştır. Ayrıca atık probleminin çözümüne yeni bir bakış açısı ve yaklaşım sunulmuştur.

1.1 Enerji ve enerji verimliliği

Enerji genellikle iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır ve ekonomik, sosyal kalkınmanın temel öğelerinden biridir. Bu sebeple enerji, bir toplumun yaşam standardının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerdeki artan nüfus ve sanayileşme, enerji talebinin hızla artmasına sebep olmaktadır. Fakat enerji kaynaklarının

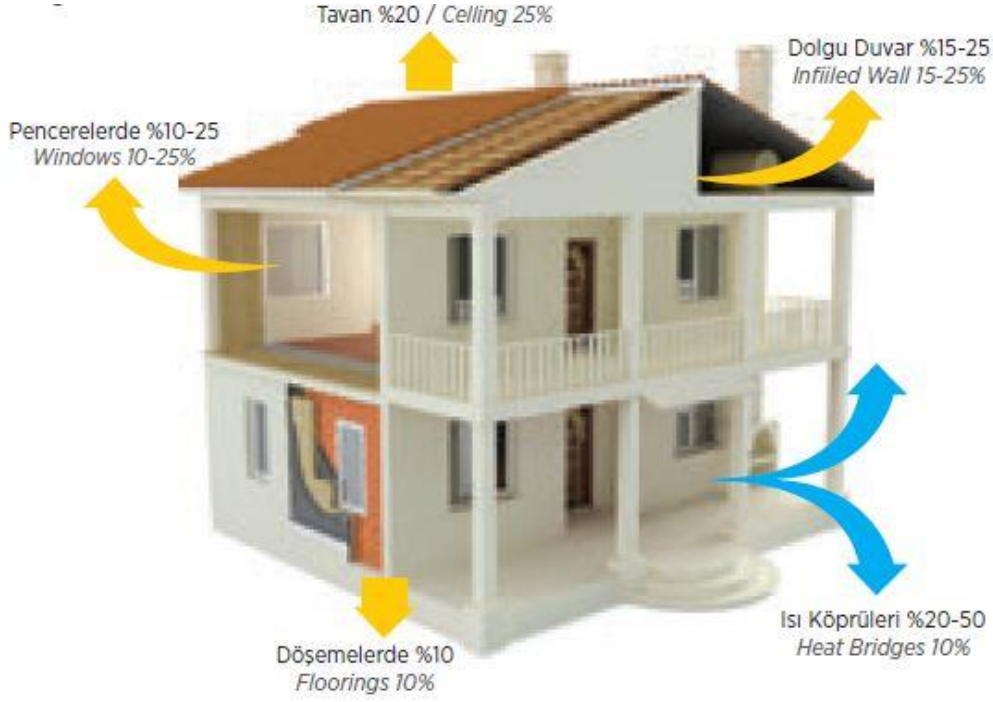
temelini oluşturan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların hızla tükenmesi ve bu kaynakların neden olduğu çevresel sorunlar enerji tasarrufu ve enerji verimliliğini gündeme getirmektedir (Yumurtacı ve Sarıgül, 2011).

Enerji verimliliği; üretim kalitesi, hayat standardı ve işletme karını düşürmeden enerji tüketimini en aza indirmektir. Enerji kaynaklarının üretimden tüketime son aşamaya kadar en verimli şekilde kullanılmasını ifade etmektedir (Çengel, 2018). Enerji verimliliğini daha geniş bir şekilde açıklayacak olursak; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri dönüşümü ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini azaltması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür. Enerji verimliliğinde en önemli faktör enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu, enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenerek tüketilen enerji miktarının, kalite ve performansı düşürmeden en aza indirilmesidir. Enerji tasarrufu iki biçimde gerçekleştirilmektedir. İlki, doğrudan enerji tasarruf edilebilecek ev, araba ve diğer son teknolojileri kullanmaktır. Yani alışkanlıkların ve günlük davranışları enerjisi daha verimli kullanacak biçimde düzenlemektir. İkincisi ise, dolaylı enerji tasarrufudur. Bu da mevcut malların daha uzun süre kullanılmasını sağlamaktadır. Yeni ürünlerin üretimini azaltıp; enerji tüketimini en aza indirecek şekilde yerleşim yerlerini düzenlemek, enerjinin daha az tüketileceği teknolojiler kullanmak, ekonomide doğrudan materyal tüketiminin olmadığı etkinliklere geçmek gibi önlemlerdir. Enerji verimliliğini basit bir şekilde tanımlayacak olursak, iç ortam sıcaklıklarını aynı seviyeye getirebilmek için bina kabuğunu yalıtılmaktır. Böylece hem soğuk hem de sıcak dönemlerde avantaj sağlanmış olacaktır. Çünkü binalardaki enerji tüketiminin en büyük kısmı ortam ısıtılması için harcanmaktadır. Tipik bir evin toplam faturasının %45'ini ısıtma-soğutma oluşturmaktadır. Yapıların ısıtılmasına harcanan enerjiden tasarruf etmek için iç ortam sıcaklığının ortamda muhafaza edilmesi gerekmektedir. İç ortam sıcaklığını muhafaza edilebilmek için, yapının çok iyi yalıtılmış olması gerekmektedir. Binaların yalıtılması ile %50'ye varan oranlarda enerji tasarrufu yapmak mümkündür. Bu da enerji verimliliğine büyük oranda katkı sağlayacaktır (İBB, 2019).

1.2 Isı yalıtımı

Isı yalıtımı, yapılarda ve tesisatlarda ısı geçişini azaltan önlemler almaktır. Kışın ısınmak,

yazın serinlemek için binaların çatılarında, döşemelerinde, dış cephelerinde, kapılarında, pencerelerinde ve tesisatlarında ısı kaybı ve kazançlarını sınırlandırmak amacıyla yapılan uygulamadır. Isı yalıtımı uygulamasındaki temel amaç ortamlar arasındaki ısı geçişini azaltan önlemler almaktır. Bilinçsizce tüketilerek israf edilen enerji doğal yaşamı tehlikeye sokmaktadır. Bundan dolayı enerji kayıplarını en aza indirerek tasarruf yoluna gitmemiz gerekmektedir. Bu kapsamda ısı yalıtımının önemi büyüktür. Çünkü ısı yalıtımı yapılan binalarda ısıtma ve soğutma için daha az enerji ve daha az yakıt kullanılacaktır. Dolayısıyla yakıt tüketimindeki azalmayla doğru orantılı olarak karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve diğer zararlı gazların atmosfere salınımı azalacaktır. Bu da sera gazı etkisinin azalmasına sebep olarak küresel ısınma ile mücadeleye katkı sağlayacaktır. Tüm bunların yanı sıra, ısı yalıtımı bina içerisinde dengeli bir sıcaklık dağılımı sağladığı için farklı odalara geçildiğinde de konforlu yaşam imkânı sunmaktadır. Sıcaklık farklarının yüksek olup, bazı odaların ısıtılmadığı durumlarda rutubet, küf, çatlama ve terlemeler oluşmaktadır. Binanın enerji kaybeden bütün bölgelerine ısı yalıtımı uygulanabilmektedir. Çünkü sıcaklık farkı olan her yerden ısı geçişi gerçekleşmektedir (Uzun, 2011). Türkiye'nin birçok bölgesinde kış ayları oldukça soğuk, yaz ayları ise sıcak geçmektedir. Soğuk günleri çok olan iklimlerde yalıtım malzemesi kalınlıkları fazla olmalıdır. Sıcak bölgelerdeki yalıtım kalınlıkları ise soğuk bölgeye göre daha ince kullanılmaktadır. Isı yalıtımı sadece soğuktan değil, sıcaktan korunmak için de oldukça önemlidir. Yazın serinleme maliyeti, kışın ısınma maliyetinden oldukça fazladır. Doğa kanunları gereği ısı her zaman sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru geçiş yapmaktadır. Bu geçiş önlenemez fakat ısı yalıtımı yardımıyla kontrol edilebilir. Bina iç ortamındaki ısı, dış ortama hareket ederek ısı kaybı gerçekleştirilmektedir. Yaz mevsiminde ise dış ortamdaki ısı bina içine hareket ederek ortamı ısıtmaktadır. Ve en büyük kayıplar binaların dış kabuğundan gerçekleşmektedir. Bu sebeplerden dolayı binalarda ısı yalıtımının uygulanması, enerji ve maliyet tasarrufu açısından hayati önem taşımaktadır (İMO, 2015).



Şekil 1.1 Binalarda ısı geçişlerinin olabileceği alanlar (Uzun, 2011).

1.3 Isı yalıtımının faydaları

Bir ülkenin kalkınması ile ekonomisi arasında yakından bir ilişki bulunmaktadır. Isı yalıtımı, ülke ekonomisini doğrudan etkileyen uygulamalardan biridir. Isı yalıtımının faydaları kişi ve ülke bazında düşünülebilir. Ülkeler için enerji tasarrufu ile oluşan ekonomik kalkınma ve sağlıklı bir çevre, kişiler için ise yakıt tasarrufu ile artan bir bütçe ve daha iyi konfor şartları demektir (Bektaş, Çerçevik ve Kandemir, 2017). Tablo 1.1’de TÜİK verilerine göre dört bölge için, konutların aydınlatma ve ısıtma amaçlı yakıt tüketim miktarları verilmiştir. Bu verilere baktığımızda her bölge için yakıt türlerinin hepsinde göz ardı edilemeyecek kadar enerji tüketimi olduğu açıkça görülmektedir. Bu tüketimi en aza indirmek için ısı yalıtımı uygulaması elzemdir. Enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra ısı yalıtımının birçok faydası vardır ve başlıca faydaları şu şekildedir:

- Türkiye ihtiyacı olan enerjinin yaklaşık olarak %75’ini ithal etmektedir. Yapılan hesaplamalar tüm yapıların yönetmelik ve standartlara uygun olarak yalıtılması durumunda, ülkemizde bir yılda yaklaşık 10 milyar TL tasarruf edileceğini göstermiştir. Dolayısıyla enerjide dışa bağımlılığın azalması ile birlikte ekonomi canlanacak, istihdam artacaktır. Buna bağlı olarak üretim ile birlikte vergi gelirleri

de artacaktır. Buradan elde edilen tasarrufun da sağlık, eğitim gibi zorunlu ihtiyaçlarımıza aktarıldığı düşünülürse ısı yalıtımının ülkemiz için çok büyük katkı sağlaması kaçınılmazdır (İzoder, 2018).

- Binalarda ihtiyaç duyulan enerjinin önemli bir kısmı ısıtma/soğutma işlemleri sırasında harcanır. Genel anlamda ticaret ve sanayi yapılarında olduğu gibi konutlarda da etkin enerji tasarrufu, uygulanması kolay bir enerji verimlilik teknolojisi olan ısı yalıtımının kullanımı ile sağlanabilmektedir. Çünkü ısı yalıtımı bu ihtiyacın giderilmesinde üstün başarı sağlamaktadır (Sezer, 2005).
- Isı yalıtımının enerji kayıplarını azaltmasından ziyade ana taşıyıcı olan donatı sistemlerine de faydası vardır. Şöyle ki beton yapısını soğuk/sıcak gibi fiziksel etkenlerden koruyarak nem, rutubet ve betonun iç yapısının bozulması gibi olumsuz etkilerden de korumaktadır. Ayrıca yine ana taşıyıcı olan demir donatı sisteminde ulaşabilecek olumsuz etmenlerin önünü keserek uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır (Uzun, 2011).
- Isı yalıtımı sayesinde binalarda ısıtma ve soğutma uygulamaları daha az yakıtle yapılacağından atmosfere yayılan karbondioksit, kükürt dioksit ve diğer sera gazları azalmaktadır. Bu sayede iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadeleye katkı sağlanmış olmaktadır (İzoder, 2018).
- Isı yalıtım malzemesi binanın dış cephesinde oluşmuş korozyonun ve çeşitli diğer hasarların giderilmesini, dış cephenin daha estetik bir görünüme sahip olmasını sağlamaktadır (Bektaş, Çerçevik ve Kandemir, 2017).
- Yaşam alanı içerisinde oda sıcaklıklarının dengeli olarak dağılımını sağladığından konforlu mekânlar oluşmasını sağlamaktadır (Uzun, 2011).
- Yapılardaki taşıyıcı sistemlerin ısıl gerilimini en aza indirerek termik yüklerin azalmasına katkı sağlamaktadır (Moran, 2018).

- Teras çatılarda uygulanan su yalıtım örtülerini ısı tahrifatlarından koruyarak ömrünü arttıracaktır (Ekinci ve Yıldırım, 2004).

Tablo 1.1 Konutların aydınlatma ve ısıtma amaçlı yakıt tüketimi (TÜİK, 1998).

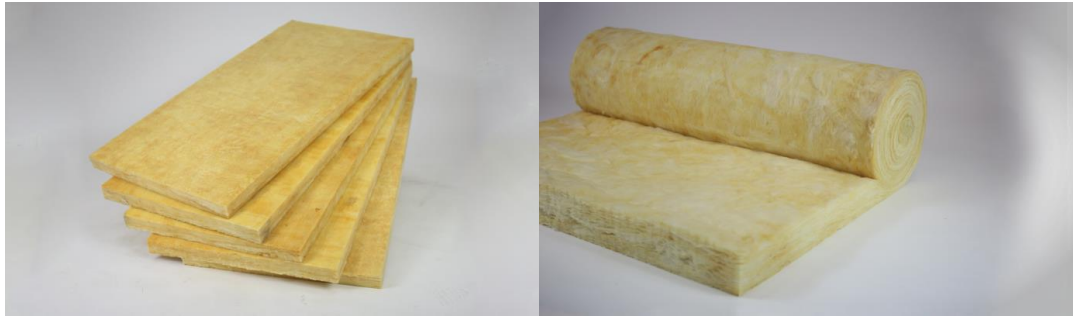
Bölge	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (m ³)	LPG (ton)	Kömür (ton)	Fuel-Oil (ton)
1	2 750 503 583	--	11 119	7 426	231 189
2	7 396 888 271	1 026 182 650	19 857	822 852	115 559
3	3 033 169 523	519 457 391	4 756	1 070 788	242 572
4	674 253 490	--	--	217 277	78 420

1.4 Yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri

Isı yalıtımı uygulamalarında ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltarak yakıtın daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Alman DIN 4108 normu ve TS 825 Türk standartlarına göre ısı iletim katsayısı 0,060 W/mK değerinin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, bu değer üstünde kalan malzemeler de yapı malzemesi olarak adlandırılır. Isı yalıtım malzemeleri tesisat sistemlerinin yalıtımında ve binaların döşeme, çatı ve duvar gibi yapı elemanlarında kullanılır. Yalıtım uygulamalarında en iyi ısı yalıtım malzemesinin seçebilmek için ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini iyi bilmek gerekmektedir (İzocam, 2019). Kalsiyum silikat, fenol köpük, cam yünü, taş yünü, genişletilmiş polistiren ve poliüretan gibi çeşitli malzemeler, enerji tasarrufu için ısı yalıtım malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle düşük ısı iletkenliği nedeniyle poliüretan köpük malzemeler yaygın olarak tercih edilmektedir (Nazeran ve Moghaddas, 2017). Ayrıca düşük yoğunluklu ve uzun ömürlü bir avantaja sahiptirler, diğer yalıtım malzemelerine kıyasla en düşük kalınlıkta en verimli ısı yalıtım malzemesinin olduğu bilinmektedir (Akdoğan vd. 2015). Piyasada yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri aşağıda verilmiştir.

1.4.1 Camyünü

- İnorganik hammaddelerin 1200°C - 1250°C eritilerek elyaf haline getirilmesi ile oluşmaktadır.
- Şilte, boru ve levha şeklinde üretilebilmektedir.
- Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez.
- Korozyon direnci yüksektir.
- Küf ve pas yapmamaktadır.
- Yapılarda ısı ve ses yalıtımı, yangın güvenliği ve akustik düzenleme sağlamaktadır.
- TS EN 13501-1' e göre A1 sınıfında bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Camyünü (İzocam, 2019).

1.4.2 Taşyünü

- İnorganik hammaddelerin 1350°C - 1400°C' de eritilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır.
- Şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir.
- Yangın güvenliği, ses ve ısı yalıtımı sağlamaktadır.
- Korozyon direnci yüksektir.
- Sıcak ve rutubete maruz kaldığı durumlarda boyutlarında bir değişiklik olmamaktadır.
- TS EN 13501-1' e göre “yanmaz malzemeler” kapsamında A1 sınıfındadır.



Şekil 1.3 Taşyünü (İzocam, 2019).

1.4.3 Ekstrüde polistren köpük (XPS)

- Ekstrüzyon yöntemi ile polistren hammaddesinden levha olarak üretilmektedir.
- Gözenekleri %100 kapalı homojen hücre yapısına sahiptir ve bünyesine su almamaktadır.
- Basma dayanımı çok yüksektir.
- TS EN 1305-1'e göre E sınıfında bulunmaktadır.



Şekil 1.4 XPS levha (İzocam, 2019).

1.4.4 Ekspande polistren köpük (EPS)

- Polistren hammaddesinin su buharı ile teması sonucu genişmesi ve bloklanarak kalıp haline getirilmesi ve daha sonra bloğun kesilmesiyle levha haline getirilen bir ısı yalıtım malzemesidir.
- Levha ve kalıp olarak üretilebilir.
- Asit ve baz grubu kimyasallara karşı direnç gösterir. Fakat baca gazları, metan grubu gazları, ester, eter, amin grubu kimyasallara ve güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır.
- TS EN 1305-1'e göre E sınıfında bulunmaktadır.



Şekil 1.5 EPS levha (İzocam, 2019).

1.4.5 Poliüretan köpük

- İki ayrı kimyasal bileşenin bir araya getirilmesi ile üretilmektedir.
- Sandviç panel, levha ve püskürtme yöntemi ile kullanılan ısı yalıtım malzemesidir.
- Suya ve böceklere karşı dayanıklıdır.



Şekil 1.6 Poliüretan köpük uygulaması (Bursa vana ceketi, 2017).

Tablo 1.2 Yaygın olarak kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin genel fiziksel özellikleri (Uzun, 2011).

Malzeme	Isıl İletkenlik	Sıcaklık °C	Yoğunluk Kg/m ³	Buhar Difüzyonu	Dayanım Ton/m ²
Camyünü	0.04	250	14-100	1	1.5-6.5
Taşyünü	0.04	750	30-200	1	1.5-6.5
Ekspande Polistren(EPS)	0.028 0.031	-180 +75	15-30	20-80	5-15
Ekstrude Polistren(XPS)	0.04	-50 +80	25-45	80-250	10-50
Poliüretan(PUR)	0.035	-200 +110	30-40	30-300	10-40
Fenol Köpüğü	0.04	-180 +120	30-35	10-50	100-150
Cam Köpüğü	0.052	-260 +430	100-200	10000	48 880
Ahşap Yünü Levhalar	0.09 0.15	+110	360-570	2-5	20
Genleştirilmiş Mantar(ICB)	0.04 0.055	-180 +100	80-500	10-35	-

1.5 Yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri

Binalardan kaynaklanan enerji kayıplarını en aza indirme hususunda ısı yalıtım malzemeleri kadar yapı malzemeleri de önem taşımaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan başlıca yapı malzemeleri;

- **Bağlayıcı maddeler (çimento, alçı, kireç):** Su ile karıştırıldığında katılaşıp sertleşen ve bu özelliğinden dolayı taş ve kumu bağlamaya yarayan maddelerdir.
- **Taşlar:** Genellikle bir veya birden fazla mineralin birleşmesi ile meydana gelen taşlar, en çok kullanılan ve en iyi tanınan yapı malzemesidir. Agrega yapımında, kaplamalarda (zemin, duvar ve çatı kaplamaları) ve demiryollarında kullanılmaktadır.
- **Metal malzemeler:** Üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olan demir-karbon alaşımları ve demir olmayan metallerden oluşan en önemli yapı malzemelerindedir.
- **Beton:** Çimento, su, agrega karıştırılarak elde edilen zamanla katılaşıp mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir.
- **Toprak malzemeler:** Kil, silt, kum karıştırılarak oluşturulan kerpiç, tuğla ve kiremit gibi malzemelerdir.
- **Ahşap:** Ağaçtan elde edilen, organik esaslı en eski yapı malzemelerinden biridir. Çatı elamanları, doğrama ve kaplama malzemesi, kalıp iskele imalatlarında ana malzeme olarak kullanılmaktadır.
- **Organik polimerler:** Boyalar, plastik maddeler ve bitümlü maddelerden oluşan yapı malzemeleridir.

1.6 Isı yalıtımı malzemesi seçim kriterleri

Isı yalıtım malzemeleri, ısı kaybı ve kazançlarının azaltılmasında kullanılır. Düşük kalınlıklarda yüksek ısı dirence sahip hafif malzemelerdir. Isı yalıtım malzemelerini diğer malzemelerden ayıran en önemli özellik, ısı iletim katsayılarının düşük olmasıdır. Isı iletim katsayısı, birim kalınlıktaki bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyindeki sıcaklık farkının 1°C olması durumunda, iletim yoluyla transfer edilen enerji miktarını ifade etmektedir. Isıl iletim katsayısının birimi “W/mK” dir. Isıl iletim katsayısı düştükçe ürünün gözenekliliği ve yalıtım özelliği artar (İzoder, 2013). Isı yalıtımı malzemelerinde genel olarak istenen özellikler şunlardır:

- Ekonomik olmalıdır.
- Uzun ömürlü olmalıdır.
- Yanmaya karşı dayanımı yüksek olmalıdır.
- Ses yalıtımı ve akustik düzenleme sağlamalıdır.
- İlk özelliğini kaybetmemelidir.
- Isı tutuculuğu iyi olmalıdır.
- İşlenebilirliğe elverişli olmalıdır.
- Kokusuz olmalıdır.
- Isı iletim katsayısı küçük olmalıdır.
- Su ve neme karşı dayanımı yüksek olmalıdır.
- Boyutsal kararlılığını korumalıdır.
- Böceklerin ve bakterilerin yuva yapmasına elverişli olmamalıdır.

1.7 Literatür Özeti

Comakli ve Yuksel (2003), yaşam döngüsü maliyet analizini dikkate alarak soğuk şehirlerde optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Sonuçlar, optimum kalınlık için yaklaşık 12 \$/m² enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

Asan (1998), yalıtım kalınlığı ve azaltma faktörü ve zaman gecikmesi üzerindeki konumları sayısal olarak araştırmıştır. Sonuçlar, yalıtım malzemelerinin konumu ve kalınlığının zaman gecikmesi ve azalma faktörü üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bolatturk (2006), farklı iklim bölgeleri için optimum kalınlık, enerji tasarrufu ve yalıtım malzemelerinin geri ödeme sürelerine karar vermek için bir çalışma yürütmüştür. Sonuçlar, yakıt türüne ve yerine bağlı olarak optimum yalıtım malzemesinin kalınlığının 2-17 cm, enerji tasarrufunun% 22-79 arasında ve geri ödeme süresinin 1.3-4.5 arasında değiştiğini göstermiştir.

Dombaycı vd. (2006), farklı enerji kaynakları için optimum kalınlığa karar vermek için genişletilmiş polistiren ve taş yünü incelemiştir. Optimum kalınlık 1,43 ile yılda yaklaşık 14 \$/m² lik enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

Mahlia vd. (2007), bir binanın duvarındaki ısı iletkenlik ile yalıtım kalınlığı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. İzolasyon malzemesinin ısı iletkenliğini göz önünde bulundurarak optimum kalınlığı tahmin etmek için bir korelasyon önermişlerdir.

Daouas (2011), soğutma ve ısıtma yükünü dikkate alarak optimum yalıtım kalınlığı üzerine bir çalışma yürütmüştür. Sonuçlar, 0.1 cm'lik bir yalıtım kalınlığının, 3 yıllık geri ödeme süresinin biraz üstünde % 71.33'lük bir enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir.

Yu vd. (2011), farklı yüzey renkleri için optimum yalıtım kalınlığına karar vermek için bir analiz yapmıştır. Bu analiz Çin'deki dört tipik şehirde yaşam döngüsü maliyet analizi ve güneş-hava derecesi saatlerine dayanıyordu. Sonuçlar, optimum yalıtım kalınlığının 0.065-0.187 m arasında değiştiğini ve ödeme sürelerinin yalıtım malzemelerine ve geri ödeme sürelerine göre 0.9-2.3 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Nyers vd. (2015), enerji ve ekonomik açıdan yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığı için bir analiz yapmıştır. Yalıtım malzemesinin değerlendirilmesi için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, enerji-ekonomik verimli yaklaşımla yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının 6.89 cm olduğu ve geri ödeme süresinin 1.22 yıla ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Axaopoulos vd. (2014), yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığı için duvar yöneliminin etkisini değerlendirmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla ekstrüde polistiren ve sıva (PBEP) ve poliüretan köpük sandviç paneller (PSP) için 1.5 cm ve 2.5 cm olarak kararlaştırmışlardır.

Liu vd. (2015), nem transferi ile bina duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir. Çalışmada, dış duvarlardaki nem transferinin ve birikimlerinin iletim yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve böylece yalıtım kalınlığının etkilendiği görülmüştür. Sonuçlar, ekstrüde polistiren (XPS) 'nin optimum kalınlığının 0.053-0.069 m aralığında ve genişletilmiş polistiren (EPS) 'nin 0.081-0.105 aralığında olduğunu göstermiştir.

Kayfeci vd. (2013), derece-saat yöntemi ve yıllık eşdeğer tam yük soğutma saatleri çalışma yöntemleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığına karar vermek için bir analiz

gerçekleştirmiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla cam yünü, strafor ve taşıyıcı için 0.032, 0.03 ve 0.034 m olarak belirlenmiştir.

Ozel (2014), konunun ısı transfer karakteristiği üzerindeki etkisini araştırmış ve optimum yalıtım kalınlığına karar vermiştir. Çalışma, yalıtım malzemelerinin konunun azaltma faktörü ve yıllık ortalama zaman gecikmesi üzerinde derin bir etkiye sahip olduğunu ve yalıtım kalınlığı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını göstermektedir.

Kayfeci (2014), çeşitli yalıtım malzemeleri için ısı boru sisteminin yalıtımının optimum kalınlığını belirlemiştir. Geri ödeme süresi 0.74-1.29 yıl olduğu için optimum yalıtım kalınlığının 0.048-0.134 olduğu bulunmuştur.

Kurekci (2016), EPS, XPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan gibi beş farklı yalıtım için ısıtma ve soğutma derecesi günlük değerleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığına karar vermiştir. Yalıtım malzemelerine ilişkin optimum yalıtım kalınlığının, enerji tasarrufu miktarının ve geri ödeme süresinin olduğunu belirtmiştir.

Zhou vd. (2010), pamuk sapı liflerinden yapılmış çevre dostu bir yalıtım malzemesi önermiştir. Malzemelerin termal ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlar, önerilen malzemenin, enerji tasarrufu için duvara uygulanabileceğini göstermiştir.

Huang vd. (2012), polimer kompozit malzemenin reolojik, mekanik ve darbe mukavemetinin özelliklerini araştırmak için yüksek yoğunluklu polietilen matrise farklı miktarlarda odun lifleri içeren PMS'yi eklemiştir. Düşük PMS oranında mekanik özelliklerde hafif bir değişiklik olduğu vurgulanmış, ancak belirli bir değerden sonra kompozit malzemenin eğilme mukavemeti ve elastik modülü ve darbe mukavemetinde bir artış gözlenmiştir.

Hamzeh vd. (2011), ahşap tozu ve PMS'nin kompozit malzemelerin özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. PMS artışı ile elastik modülün geliştirildiğini ve bağlayıcı katkı maddesi ile eğilme özelliklerinde önemli bir iyileşme elde edildiğini belirtmişlerdir.

Son vd. (2001), PMS içeren termoplastik polimer kompozitlerin fiziksel, mekanik özellikleri üzerine PMS partikül büyüklüğü ve ekstrüzyon sıcaklığının etkisini incelemiştir.

Parçacık boyutu azaldıkça, kompozit malzemenin şişmesi, su emme, çekme ve eğilme mukavemetinin arttığı gösterilmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığındaki bir artış genellikle çekme ve eğilme özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmuştur.

Cao vd. (2017), faz değişim malzemelerini (PCM) çimento betonu ve jeopolimer betona ilave ederek yüksek enerji depolama kapasitesine sahip beton üretmiştir. Betonların basınç dayanımı PCM katkı maddesi nedeniyle azalırken, tercih edilen bir termal stabilite elde edilmiştir.

Chen vd. (2010), düşük enerji tüketimi olan bir ev elde etmek için havalandırılmış betonarme döşeme (VCS) hakkında bir çalışma yürütmüştür. VCS, binaya entegre fotovoltaik / termal sistemden elde edilen termal enerjinin bir deposu olarak kullanılmıştır. Oda sıcaklığının -1 °C dış sıcaklıkta bile 21 °C'den 25 °C'ye yükseldiği gözlemlenmiştir.

Khalid ve Kodur (2011), kendinden konsolidasyonlu betonun (SCC) ve elyaf takviyeli SCC'nin (FRSCC) termal ve mekanik özellikleri üzerindeki sıcaklık etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, ısı iletkenliğinin sıcaklık yükselmesiyle azaldığını göstermektedir. Çelik, hibrit lifler ve polipropilen bağımlılıkları, 800 °C sıcaklığa kadar olan ısı iletkenlik üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.

Abdulaziz vd. (2018), esnek beton kaplamalar için malzemeler geliştirmek ve asfalt betonu veya polimer bağlı kauçuk yüzeylere alternatif olarak çelik elyaf takviyeli kauçuk beton (SFFRuC) üzerinde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Çalışmanın ana amacı çerçevesinde, çelik elyafların, atık lastik kauçuğu (WTR) içeren kauçuklaştırılmış betonun (RUC) mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu bağlamda, serbest büzülme de incelenmiştir ve on farklı karışımda incelenen parametreler WTR ve lif içeriğidir. RUC liflerinin kullanılması, yeterli bükülme mukavemetinin gelişmesine ve gerilme kapasitesindeki ve nihai enerji emilim davranışındaki artışa neden olarak SFFRuC'yi esnek kaplamalar için ideal bir alternatif yapı malzemesi haline getirmiştir.

Atsumasa vd. (2017), gerçek ölçüme ve sayısal analizlere sahip bir cephenin kapladığı, ısı işlem görmüş çelik betonarme yapıya sahip bir binanın içindeki ve dışındaki termal gerilmenin etkisini öngörmüştür. Gerçek ölçüm için model yapısı, çelik betonarme küp (3 m kenarı) kullanılarak yapılmıştır. Beton ahşap dekorasyonla kaplandığında, binanın yüzey

sıcaklığı ve iletim ısı akışı binanın içindeki günlük termal yük aralığını azaltmıştır. Panelin yalıtım performansı ahşap kalınlığında artmıştır. Sonuç olarak, ahşap kirişlerin binalardaki ısı yalıtımında önemli bir rol oynadığını gözlemlemiştir.

Ozger vd. (2013), geri dönüştürülmüş malzemelerin beton üretiminde kullanılmasının önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda poliamid elyaf kullanılarak, beton üretimi durdurulmuş ve sade beton ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, naylon liflerin eklenmesi ile çekme dayanımı, maksimum yük taşıma kapasitesi ve elastikiyet modülü katsayılarının azaldığı gözlenmiştir. Son olarak, tüm numuneler ısı işleme tabi tutulmuş ve ısı kapasitesi değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, fiber betonarme (FC) ve beton (C) için termal kapasite değerleri sırasıyla 0.63 ve 0.81 J/gK ve termal iletkenlik değerleri sırasıyla 1.16 ve 1.02 W/mK olarak bulunmuştur.

Nussbaumer vd. (2006), her biri üç vakum yalıtım paneli içeren EPS (genleşmiş polistiren) levhalarla kaplı beton bir duvar için deneysel ve sayısal bir analiz gerçekleştirmiş ve panellerin ısı performansına karar vermek için incelenmiştir. Sonuçlar, 40 mm kalınlıkta vakum yalıtım panelleri (VIP'ler) içeren 60 mm yalıtım levhaları eklendiğinde %95'lik bir termal iyileşme gözlemlendiğini göstermiştir.

Zhang vd. (2004), termal enerji depolama özelliğine sahip bir beton geliştirmiştir. Isıl enerji depolama betonu (TESC) iki aşamada yapılmıştır. Bunlar, termal enerji depolama agregalarını (TESA'lar) yapmak ve normal bir karıştırma metodu uygulamak ve TESA'ları kullanmak için gözenekli agregalardan emme faz değişim malzemeleridir (PCM'ler). Sonuçlar, agregaların gözenekli yapısının, betondaki faz değişim malzemelerinin emme özelliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Sağlam (2015), farklı iklim tipleri için sıfır enerjili bina tasarımı gerçekleştirmiştir. Bunu yaparken geleneksel bir konut binası için yüksek verime sahip Net Enerjili Sıfır Bina veya Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina oluşturmak amacıyla farklı çözüm paketleri oluşturmuştur. Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina için maksimum yıllık birincil enerji tüketimi 60 kWh/m² ve Net Sıfır Enerjili Bina için maksimum yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m² olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi ile her bir bina için Yaklaşık Sıfır Enerjili ve Net Sıfır Enerjili bina hedefine ulaşılmıştır.

Yılmaz (2009), binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik adına çalışmada bulunmuştur. Örnek bir ofis binası için saatlik bazda enerji simülasyonu yaparak binada tüketilen enerji miktarı, enerji maliyeti ve ve karbondioksit emisyonu miktarlarını elde etmiştir. Tüketilen enerji ve oluşan karbondioksit miktarını en aza indirmek için farklı çözüm alternatifleri geliştirerek referans binanın maliyetini baz değer almıştır. Sonuç olarak, önerilen farklı ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ile maliyet arttırılmadan karbondioksit üretimi ve enerji tüketimi azaltılabilmektedir.

Güçlü (2012), lif esaslı yalıtım malzemelerinde ısı geçişi özelliklerini incelemiştir. Monte Carlo Işın İzleme (MCII) yöntemiyle ısı kaynağı ile ısı alıcı arasına yerleştirilmiş lif esaslı yalıtım malzemesine, ısı kaynağından yeri ve yönü kümülatif olasılık dağılımına göre belirlenerek ışın demetleri göndermiştir. Bazı deneysel ve teorik çalışmalarI incelemiş ve MCII yöntemiyle alınan sonuçlarI, ilgili çalışmalarla karşılaştırmıştır. Çalışma sonuçları MCII yönteminin lif esaslı yalıtım malzemelerinin ısıl incelenmesinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Sapan (2017), Erzurum ilinde ısı yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizini incelemiştir. Örnek bir bina için TS 825 Standardı verilerini örnek almıştır. Sonuç olarak, üç farklı (XPS, EPS ve cam yünü) yalıtım malzemesi için sırasıyla 13.8 cm, 14.6 cm ve 15.8 cm asgari yalıtım kalınlıkları elde etmiştir. Bu değerler Erzurum'da uygulanan 5 cm ısı yalıtım kalınlığı ile kıyasladığı zaman, yıllık ısıtma enerjisi ve CO₂ salınımı açısından %35-38 daha düşük olduğunu görmüştür. Ayrıca net tasarruf açısından 5 cm yalıtım kalınlığı yerine asgari yalıtım kalınlıkları kullanıldığında yaklaşık olarak %7.2 daha fazla tasarruf elde edildiğini görmüştür.

Moran (2018), farklı derece gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlığının yatırım tasarruf yöntemine göre hesaplanması ve çevresel analizini gerçekleştirmiştir. Isıl konfor, enerji tasarrufu ve emisyon miktarlarının azaltılabilmesi için TS 825 ısı yalıtım yönetmeliği, ömür maliyet analizi hesap yöntemi, yatırım tasarruf hesap yöntemi ve yıllık enerji maliyeti hesap yöntemini kapsayan dört farklı hesaplama yöntemi kullanmıştır. Dört farklı gün bölgesi ve dört farklı ısı yalıtım malzemesin göre, optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve enerji maliyeti açısından önemini ortaya koyup, çevre ve enerji maliyetleri açısından incelemiştir.

1.8 Çalışmanın amacı

Bu çalışmada, bilimsel çalışmalar ve TSE 825 yönetmeliği referans alınarak incelenen bir konut binasında, ısıtma ve soğutmadan kaynaklanan enerji kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, referans binada tüketilen enerji miktarı ve buna bağlı yakıt maliyetlerini minimize etmek amacıyla farklı yalıtım ve yapı malzemeleri kullanılarak çözüm önerileri aranacaktır. İlk olarak literatür araştırması yapılarak piyasada var olan yalıtım ve yapı malzemeleri ile bunların teknik özellikleri incelenecektir. Çalışma iki ayrı koldan yürütülecektir. İlk olarak PMS katkılı poliüretan malzeme için enerji ve maliyet analizleri yapılacak, daha sonra ise aynı bina için vermikülit oranları farklı beton (yapı malzemesi) kullanılarak analizler elde edilecektir. Çalışmanın temel amaçlarından biri de binanın bulunduğu iklim koşullarının önemini vurgulamaktır. Bu nedenle tüm bu analizler aynı bina kabuğu için, dört farklı iklim bölgesindeki, dört ayrı şehir için yapılacaktır. Yapılan nümerik analizler EES programı yardımıyla gerçekleştirilecek ve kullanılan her malzeme için enerji tüketim miktarı ve yakıt maliyeti miktarları karşılaştırılacaktır.

BÖLÜM 2

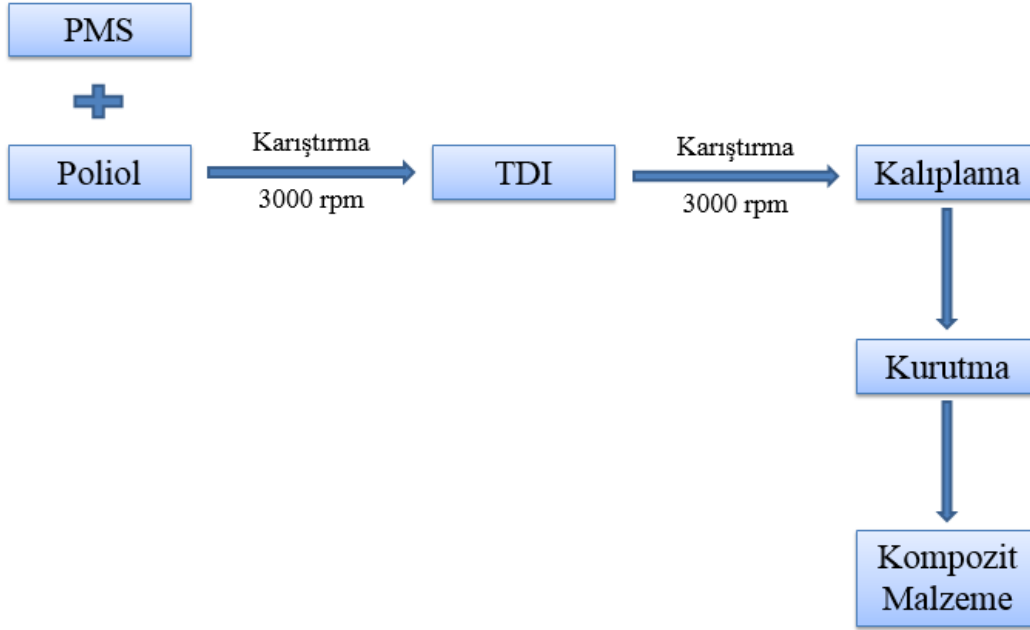
MATERYAL VE METOT

2.1 Poliüretan özellikleri

Poliüretan köpük üretimi için Kimpur Kimteks Poliüretan Şirketi'nden izosiyanat (KIM sert 061-N) ve poliöl (Izokim Rd 001) satın alınmıştır. Deneyleerde katkı maddesi olarak kullanılan PMS, Türkiye Zonguldak'taki OYKA kağıt endüstrisinden elde edilmiştir. İlk olarak, PMS havada kurutulmuş, ezilmiş ve istenen partikül boyutlarına (<100 elek) elenmiştir. Hazırlanan PMS, daha ileri deneysel çalışmalar için plastik şişelerde kuru olarak depolanmıştır. PMS'nin kimyasal bileşimi elementel bir analiz cihazı (LECO CHNS 932) ile belirlenmiştir. PMS numunelerinin yüzey morfolojileri SEM-EDS analizi (TESCAN MAIA3 XM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Üretilen poliüretan köpüklerin termal iletkenlik ölçümleri, bir termal iletkenlik ölçer (Thermtest portatif TLS-100) kullanılarak yapılmıştır.

2.2 Poliüretan köpük üretimi

Poliüretan matris kompozitlerin üretilmesi için, farklı miktarlardaki PMS (ağırlıkça% 1, 2 ve % 3) 20 mL poliöl çözeltisine ilave edilmiştir. Ardından homojenliği sağlamak için 3000 rpm'de mekanik karıştırıcı ile en az 1 dakika karıştırılmıştır. Son olarak, köpürme katkı maddesi olarak TDI, hazırlanan çözeltilere hızlı bir şekilde ilave edilmiş ve 3000 rpm'de 5 saniye karıştırılmış, sonra hazırlanan kalıplara dökülmüştür. Polimerizasyon reaksiyonları tamamlandıktan sonra, elde edilen poliüretan köpük materyali kalıptan çıkarılmış ve 24 saat kurutulmuştur. Anlatılan bu üretim basamakları, Şekil 2.1'de katkılı poliüretan köpük üretim prosesinde şematik olarak gösterilmiştir.



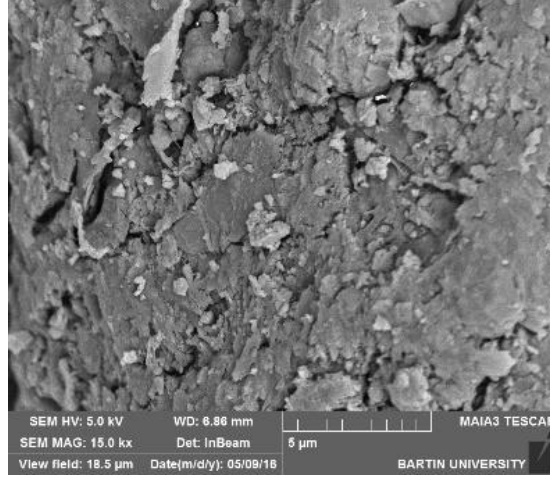
Şekil 2.1 Poliüretan köpük üretimi prosesi.

2.3. Poliüretan köpük eklenmiş PMS'nin SEM analizi

PMS malzemesinin bazı özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir ve PMS'nin yüksek miktarda selüloz, hemiselüloz ve odun özü içerdiği görülmektedir. PMS'nin SEM görüntüsü ise Şekil 2.2'de gösterilmektedir ve burada PMS'nin çeşitli parçacık boyutlarına ve şekillerine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1 PMS'nin bazı özellikleri (Yaras & Arslanoğlu, 2017).

PMS'nin içeriği	Değer
Selüloz	59.45%
Hemiselüloz	31.01%
Odun özü	9.54%
Nem (105°C)	1.35 %
Kül (950°C)	12.65%
Uçucu madde (550°C)	22.70%

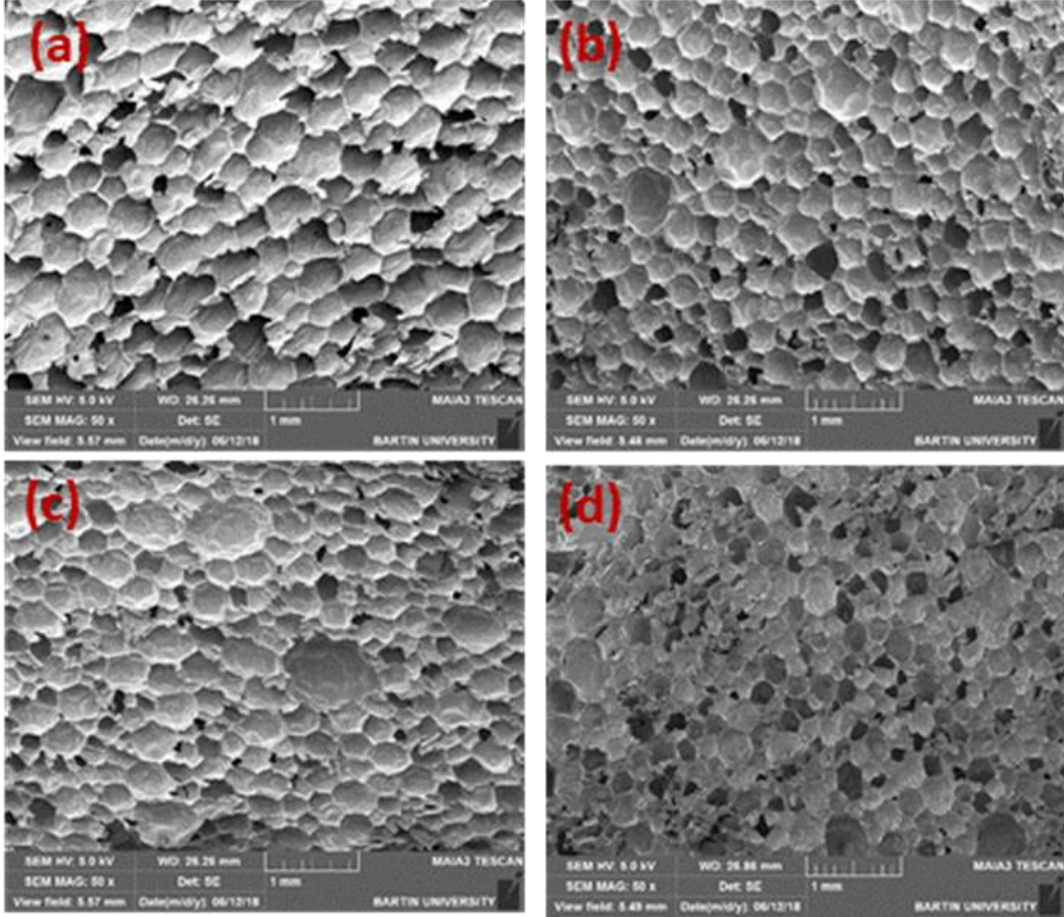


Şekil 2.2 PMS'nin SEM görüntüsü.

Çeşitli oranlarda PMS katkı maddeli poliüretan köpüklerin SEM görüntüleri Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Tablo 2.2'deki köpüklerin ortalama gözeneklilik oranı bu görüntülere dayanılarak hesaplanmıştır. Gözeneklilik oranının, poliüretan kompozit malzemenin termal iletkenliğinde etkili bir parametre olduğu bilinmektedir. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, tüm köpük malzemeleri petek yapılıdır. PMS miktarındaki bir artış, boşluk oranı hacminin, malzemenin toplam hacmine oranı olarak tarif edilebilecek gözeneklilik oranında bir artışa neden olmaktadır. PMS içeren poliüretan kompozitlerin enine kesit yüzeylerine dayanarak (ağırlıkça% 0, 1, 2 ve 3), ortalama porozite oranları sırasıyla 5.725, 9.965, 12.938 ve 16.809 olarak bulunmuştur. Öte yandan, güçlendirilmiş poliüretan kompozitler (ağırlıkça% 1, 3 ve % 5), Tablo 2.2'de gösterildiği gibi daha yüksek gözeneklilik değerleri nedeniyle daha düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Şekil 2.4 poliüretanın termal iletkenliği ile gözenekliliği arasındaki ilişkiyi PMS ile göstermektedir. PMS içeren poliüretanın ısı iletkenliği (ağırlıkça% 1, 3 ve % 5), porozitenin artmasıyla azalmış ve ısı yalıtım performansı arttırılmıştır. Sonuç olarak, ısı iletkenliğinin kuvvetlice gözeneklilik oranına bağlı olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada PMS katkı maddesi en fazla %3'e kadar kullanılmıştır. Bunun sebebi; PMS denilen atık malzemenin büyük çoğunluğu selüloz liflerinden oluşmaktadır. Bu nedenle poliöl izosiyonat karışımı içine %3'ten daha fazla PMS ilave edildiğinde, karışım homojen olarak elde edilememiştir. Bu nedenle %1, %2 ve %3 PMS oranlarında çalışılmıştır.

Ayrıca genel olarak kağıt endüstrisinde değerlendirilemeyen büyük miktarda PMS, çevre için önemli bir yüküdür. Bu durumu aşmak için depolama, kompostlama veya yakma işlemleri PMS'ye uygulanmaktadır (Ahmaruzzaman, 2011). Günümüzde depolama ve kompostlama yöntemleri çevre mevzuatı ve kanunlarıyla sınırlandırılmıştır (Monte vd. 2009 ve

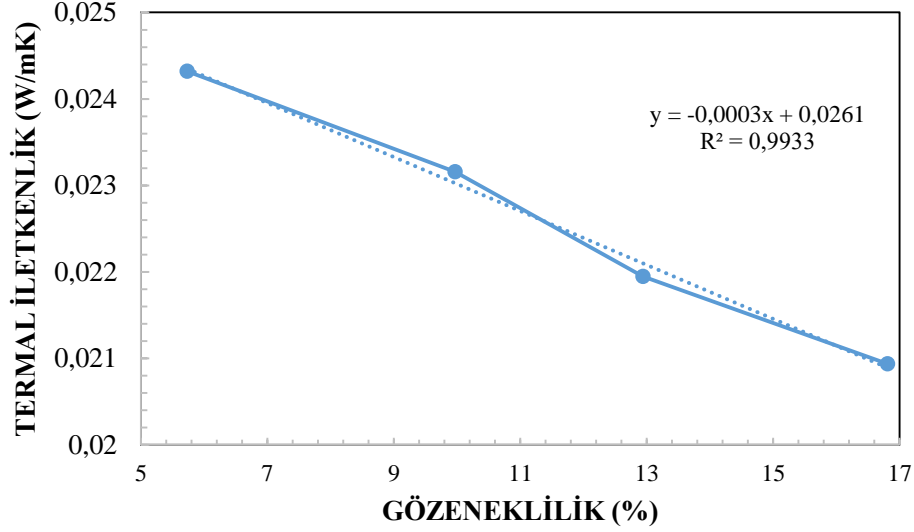
Gavrilescu, 2008). Öte yandan, yakma işlemi PMS'nin organik ve inorganik içeriği nedeniyle ekonomik ve uygulanabilir değildir (Monte vd. 2009). Bu nedenlerden dolayı, literatürdeki son çalışmalar, PMS'in polimer kompozit malzemelerin üretiminde bir katkı maddesi olarak kullanılmasına odaklanmıştır (Huang vd. 2012 ve Hamzeh vd. 2011).



Şekil 2.3 Katkısız (a), %1 PMS (b), %2 PMS (c) ve %3 PMS (d) katkılı poliüretan köpüklerinin SEM görüntüleri.

Tablo 2.2 Poliüretan köpüklerin ısı iletkenlik değeri.

Numune	Termal iletkenlik katsayısı k (W/mK)	R (mK/W)	Gözeneklilik %
Saf	0.02432	41.123	5.725
%1 PMS katkılı	0.02316	43.176	9.965
%2 PMS katkılı	0.02195	45.556	12.938
%3 PMS katkılı	0.02094	47.754	16.809



Şekil 2.4 PMS ile poliüretan köpüğün, termal iletkenlik ve gözeneklilik arasındaki ilişki.

2.4. Betonun özellikleri

Bu çalışmada iki farklı beton kullanılmıştır. Birincisi, farklı bir ısı transfer katsayısına sahip standart betondur. İkincisi $k = 0.269$ W/mK iletim katsayısına sahip betondur. Üretimde bağlayıcı olarak Cem I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.09 idi. Çimentonun başlangıç ve son ayar süreleri sırasıyla 150 dk ve 215 dk idi. Blaine spesifik yüzey alanı $3114 \text{ cm}^2/\text{g}$ değerindedir ve çimento kimyasal bileşimi Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Çimentonun kimyasal özellikleri (ağırlık%).

MgO	2.75
SiO ₂	19.12
Al ₂ O ₃	5.63
Fe ₂ O ₃	2.39
CaO	63.17
SO ₃	2.74
K ₂ O	1.00
Kızdırma kaybı	2.33
Çözünmeyen malzeme	0.49

Tablo 2.4 Genleşmiş vermikülitin özellikleri.

Kimyasal özellikler	
Bileşikler	%
SiO ₂	34.1
Al ₂ O ₃	17.2
K ₂ O	4.52
CaO	6.4
MgO	16.3
Fe ₂ O ₃	14.7
pH (suda)	6.1
Diğerleri	0.68
Fiziksel özellikler	
Renk	Gümüş
Şekil	Akerdeon şeklindeki granül
Su tutma kapasitesi	240% (ağırlık açısından)
Katyon değişim kapasitesi	90 meg / 100 g
Termal iletkenlik değeri	0.063 watt/m ^o C
Sinterleme sıcaklığı	1170 °C
Tutuşabilirlik	Yanmaz
Özgül ısı	0.22 Kcal / Kg ^o C
Kütle yoğunluğu	140 kg/m ³

F sınıfı uçucu kül (FA) kullanılmıştır. Kimyasal bileşim Tablo 2.5’de verilmiştir. Blaine inceliği 5230 cm²/g, özgül ağırlık 2.1 g/cm³ değerindedir.

Tablo 2.5 Uçucu külün kimyasal bileşimi.

Kimyasal analiz	F sınıfı uçucu kül (%)
SiO ₂	57.2
Al ₂ O ₃	25.5
Fe ₂ O ₃	6.01
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	89.1
CaO	1.14
MgO	2.42
TiO ₂	1.16
K ₂ O	4.6
Na ₂ O	0.42
SO ₃	0.16
Cl	0.01
LOI*	1.12

* Ateşleme kaybı (1000°C)

Karışım oranları ve üretilen izolasyon hafif betonun bazı özellikleri Tablo 2.3’de sunulmuştur. Çimentonun özellikleri Tablo 2.4.’de verilmiştir. Genişletilmiş vermikülitlerin özellikleri Tablo 2.6’ da verilmiştir. Genişletilmiş vermikülit düşük yoğunluklu, iyi ısı ve

akustik yalıtım özelliklerine sahiptir. Ayrıca ısı yalıtım uygulamaları için hafif agrega olarak kullanım için cazip kılan yangına dayanıklı bir malzemedir. Farklı ısı iletkenlikleri ve gözeneklilik oranları ile üç farklı beton elde edilmiştir.

Tablo 2.6 Karışım oranları ve üretilen betonun bazı özellikleri.

Beton malzemeler	CON1	CON2	CON3
Çimento (kg/m ³)	475	650	800
Vermikülit (kg/m ³)	200	185	150
Su (kg/m ³)	550	542	538
Uçucu kül (kg/m ³)	115	115	115
Termal iletkenlik (W/mK)	0.269	0.460	0.633
Kuru birim ağırlığı (kg/m ³)	883	994	1037
Gözeneklilik (%)	37.2	30.2	29.4
Basınç dayanımı (MPa)	7.5	10.3	15.1

Karışım işlemi bir Hobart karıştırıcısında yapılmıştır. Numuneler 40×40×160 mm boyutlarında dökülmüştür. 24 saat sonra numuneler çökeltilmiş ve 28 gün boyunca kürlenmek için suya daldırılmıştır. Vermikülitin yapısı nedeniyle, üretilen betonun % 37.2 oranında gözenekliliği yüksektir. Çok yakın birim ağırlık, ısı iletkenliği ve gözeneklilik vardır. Yüksek gözeneklilik, düşük birim ağırlığına ve daha yüksek bir termal performansa neden olmaktadır. ACI (ACI, 2003. ACI Komite 213, Yapısal Hafif Agrega Beton Kılavuzu, Amerikan Beton Enstitüsü, ACI 213R-03, 2003, Detroit, 38 pp) hafif betonları birim ağırlıkları ve basınç dayanımlarına göre farklı gruplarda sınıflandırır. Birim ağırlığı 16-19 kg/dm³, 14-16 kg/dm³ ve 8-14 kg/dm³ olan betonlar sırasıyla; yapısal, yarı yapısal ve izolasyon betonları olarak kabul edilir. Bu çalışmada izolasyon betonu başarılı olmuştur.

2.5. Enerji performans analizi

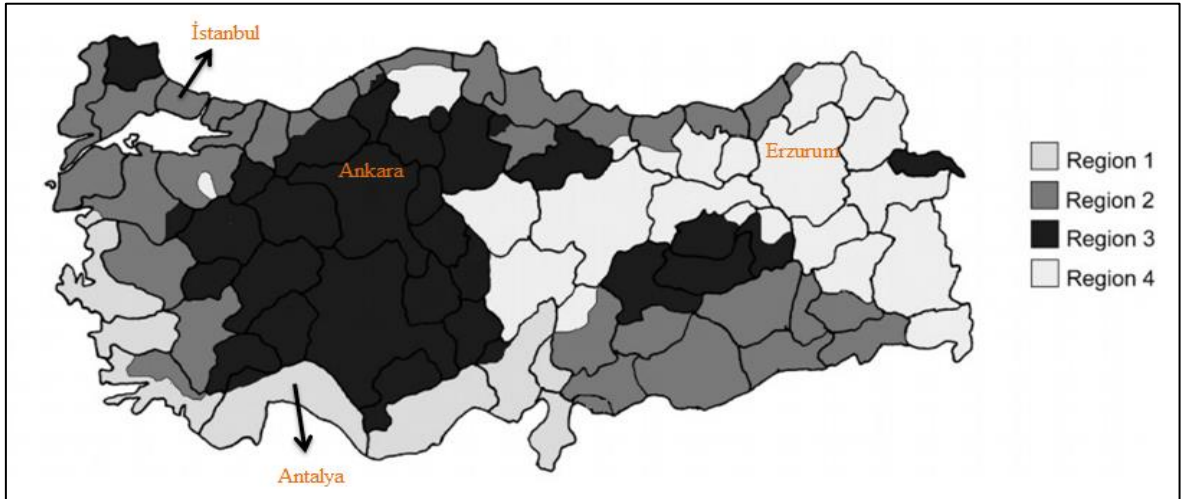
2.5.1 Analiz edilen bina ve bölgeler

Bu çalışmada, Kocaeli'de bulunan ve 15.98 m uzunluğunda, 8.21 m genişliğinde ve 12 m yüksekliğinde olan gerçek bir yapı referans olarak alınmıştır. Bina standardı (TS 825) için ısı yalıtım gereksinimlerine göre, Türkiye için dört farklı derece gün (DD) bölgesi tanımlanmıştır. Bu nedenle, bu bina dört farklı iklim bölgesi ve beş farklı yakıt için ayrı ayrı

incelenmiştir. Kentlerin derece gün bölgelerine göre konumları Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Antalya, Türkiye'nin dünyaca ünlü turizm şehridir ve birinci derece gün bölgesinde yer almaktadır. Şehirde Akdeniz iklimi hâkimdir. Bu nedenle yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. İstanbul, dünyanın en kalabalık ve ekonomik olarak en büyük şehirlerinden biridir. İkinci derece gün bölgesinde yer almaktadır. Akdeniz, Karadeniz, Balkan ve Anadolu iklimlerinin hepsi görülmektedir. Türkiye'nin başkenti Ankara, üçüncü derece gün bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge karasal iklime sahiptir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlıdır. Son olarak, dördüncü derece gün bölgesinde bulunan Erzurum, Türkiye'nin en yüksek ve en soğuk şehirlerinden biridir. Sert karasal iklime sahiptir. Kışlar çok soğuk ve karlı, yazlar çok sıcak ve kurak geçer. Yılda yaklaşık yüz elli gün karla kaplıdır. Dolayısıyla dördüncü bölge sert hava koşullarına sahipken, birinci bölge sıcak hava koşullarına işaret etmektedir. Tablo 2.7 iklim bölgelerini ve seçilen şehirleri göstermektedir.

Tablo 2.7 İklim bölgeleri ve seçilen şehirler için belirli veriler.

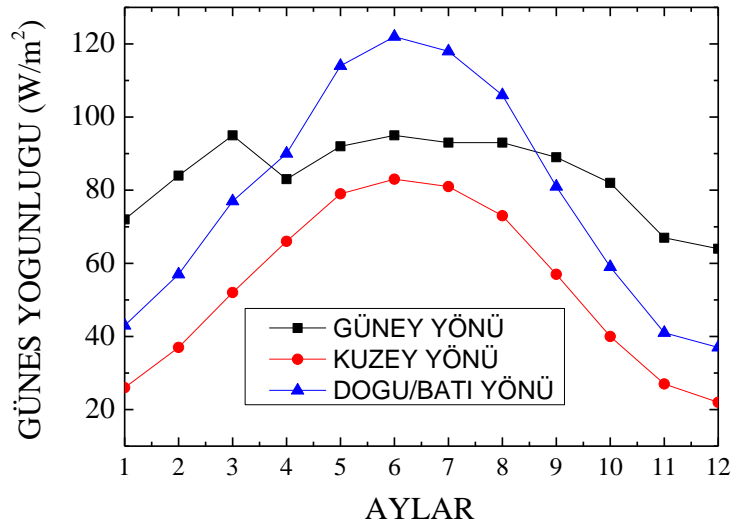
Bölge	Şehir	Yükseklik (m)	Boylam (°)	Enlem (°)
1.	Antalya	46	30.71 E	36.90 N
2.	İstanbul	35	28.98 E	41.00 N
3.	Ankara	870	32.86 E	39.93 N
4.	Erzurum	1900	41.27 E	39.90 N



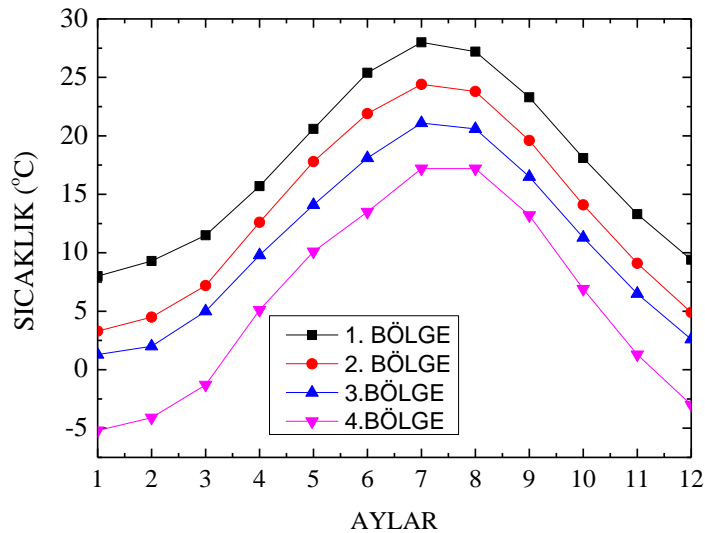
Şekil 2.5 Türkiye'nin DD' ye göre seçilen bölge ve illeri.

Şekil 2.6 Türkiye için aylık ortalama saatlik güneş ışınımını göstermektedir. Güneş radyasyonu yoğunluk değerleri dört farklı yön için gösterilmiştir. Doğu ve batı yönleri

benzer özellikleri göstermektedir. En büyük güneş ışınımı, kış ve sonbahar mevsimi boyunca güney yönüne bakan yapı yüzeyinde meydana gelirken, doğu-batı yönüne bakan yüzeyler, ilkbahar ve yaz aylarında, nisan, mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında daha fazla güneş yoğunluğuna sahiptir. Şekil 2.7 bir yıl boyunca dört farklı iklim bölgesi için ortamın sıcaklığını göstermektedir. Dördüncü bölge, sert hava koşullarını gösterir ve en soğuk ortalama ortam sıcaklığına sahipken, birinci bölge en yüksek ortalama ortam sıcaklığına sahiptir.



Şekil 2.6 Yıl boyunca aylık ortalama saatlik güneş radyasyonu yoğunluğu (TS 825).



Şekil 2.7 Yıl boyunca aylık ortalama günlük ortam sıcaklığı (TS 825).

2.5.2 Binadan toplam ısı kaybı hesabı

Farklı bir sıcaklıkta bir sıcaklık bırakan bir nesne, kendisi ve onu çevreleyen çevre arasında bir termal denge oluşana kadar zaman içinde enerji iletir. Bu enerji geçişi her zaman yüksek sıcaklıktaki bir nesneden düşük sıcaklıktaki bir nesneyedir. Bu nedenle, bina yüzeyleri ve ortam havası arasında sürekli ısı geçişi meydana gelecektir. Bir binadaki yapısal bileşen, iletim, taşınım ve radyasyon dahil üç ısı transfer mekanizmasına maruz kalabilir. Bina yüzeyiyle gökyüzü arasındaki düşük sıcaklık farkından dolayı, radyasyonlu ısı kaybı etkisi aynı durumlarda göz ardı edilebilir. Böylece, enerji iç yapı içerisinde bina yapısal bileşenine konveksiyon ve bileşen içindeki iletimi ve iç duvardan dış duvara taşınım ve binanın dışına taşınım ile iletilir. Isıl iletkenlik katsayısı, Fourier yasası ile tanımlanabilir.

$$\dot{Q}_{cond} = -\int_{T_1}^{T_2} kA_s \frac{dT}{dx} = kA_s \frac{T_1 - T_2}{d} \quad (1)$$

Konvektif ısı transfer katsayısı, aşağıdaki denklem ile gösterilebilir.

$$\dot{Q}_{conv} = \int_{T_{amb}}^{T_s} hA_s dT = hA_s (T_s - T_{amb}) \quad (2)$$

Isıl direnç kavramını kullanarak, bina yüzeylerinden sürekli olarak iletilen ısı transfer hızı, aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = \int_{T_1}^{T_2} UA_s dT = UA_s \Delta T = \frac{1}{R} \Delta T \quad (3)$$

Q ısı transfer hızı olarak kabul edildiğinde, U binadaki taşınım ve iletken ısı direncini hesaba katan toplam ısı transfer katsayısıdır (W/m^2K). ΔT binanın iç ve dış sıcaklığı arasındaki farkı ($^{\circ}C$ veya K) ve R toplam ısı direnci (W) göstermektedir. Isı direnci detaylandırıldığında, ısı transferi, aşağıdaki denklemde olduğu gibi düzlemsel bir duvar için tanımlanabilir.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_{in} - T_{amb}}{\frac{1}{h_{in}A_s} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{k_i A_s} + \frac{1}{h_{out}A_s}} \quad (4)$$

T_{in} and T_{amb} iç ve ortam sıcaklıklarını ifade etmektedir. h_{in} ve h_{out} sırasıyla analiz edilen yapısal bileşenlerin iç ve dış durumları için konvektif ısı transfer katsayısıdır. d , bileşenlerin kalınlığını ve k , termal iletkenliği (W/m^2K) gösterir.

2.5.2.1 Binanın özgül ısı kaybı

Özgül ısı kaybı, birim sıcaklık farkı başına binadan dış ortama ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$H = H_T + H_V \quad (5)$$

Burada H toplam özgül ısı kaybıdır. H_T , iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve H_V , havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybıdır. H_T , duvarlar, pencereler, tavan, kapılar, ve döşemede iletim ve taşınım yolu ile meydana gelen tüm kayıpları ifade etmektedir.

$$H_T = \sum q_{wa} + q_{wi} + q_{ce} + q_{fl} + q_{do} \quad (6)$$

Burada, q_{wa} duvarlardan kaynaklanan ısı kayıplarını, q_{wi} pencerelerden kaynaklanan ısı kayıplarını, q_{ce} tavandan ve çatıdan kaynaklanan ısı kayıplarını, q_{fl} döşemeden kaynaklanan ısı kayıplarını, q_{do} ise dış kapı ve balkon kapılarından kaynaklanan ısı kayıplarını ifade etmektedir (W/K). Denklem 6 ayrıca aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$H_T = \sum U_{wa} A_{wa} + U_{wi} A_{wi} + U_{ce} A_{ce} + U_{fl} A_{fl} + U_{do} A_{do} \quad (7)$$

Buradaki U ve A , denklemde belirtilen endekslere göre toplam ısı transfer katsayısını ve her bileşenin yüzey alanını gösterir. Yapısal bileşenlerden kaynaklanan ısı kaybının dışında, havalandırmadan kaynaklanan ısı kayıpları da önemlidir. Havalandırmadan kaynaklanan ısı kaybı, aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$H_V = 2.778 \times 10^{-4} \rho c V' \quad (8)$$

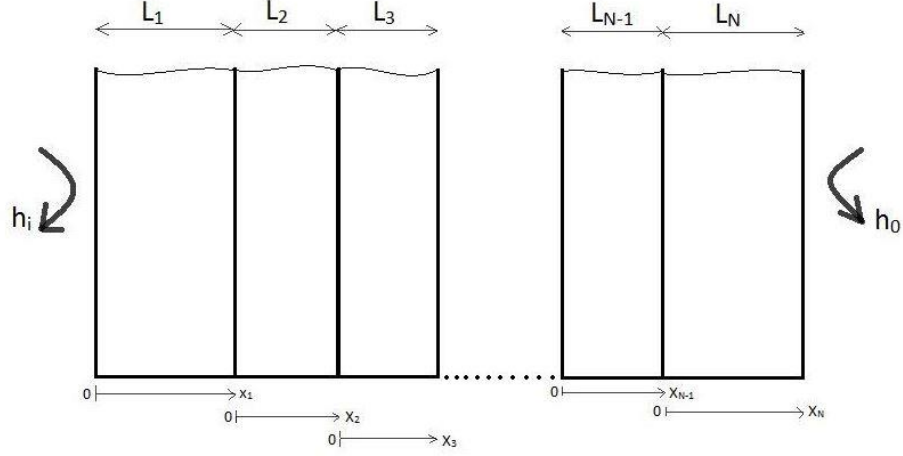
buradaki ρ and c , binanın ısıtma işlemi sırasında değişen havanın yoğunluğu ve özgül ısı kapasitesidir. V' , havanın hacimsel akış hızıdır (m^3/h). Konveksiyon ve iletkenlikten kaynaklanan toplam özgül ısı kaybı, dış yüzeyde meydana gelen ve dış yüzeyde ortaya çıkan her bir bileşenin ısı kaybının değerlendirilmesini gerektirir.

2.5.2.2 Duvarlardan kaynaklanan ısı kaybı

Binanın dış duvarlarından kaynaklanan ısı kayıplarını hesaplamak için binanın iç ve dış alanlarındaki konvektif ısı transfer katsayıları hesaplanmalıdır. Burada hesaplamalar yapıldığında, Reynolds sayısının kritik değeri referans olarak 5×10^5 olarak alınmıştır. Çünkü düz plaka üzerindeki akışta laminardan türbülansa giden akış $Re \cong 1 \times 10^5$ civarında başlar. Bununla birlikte, Reynolds sayısı çok daha yüksek değerlere ulaşmadan önce çalkantılı değildir (genellikle 3×10^5 civarında). Reynolds sayısı 5×10^5 kritik değerden yüksek olduğunda, laminat ve türbülanslı akış birleştirilir. Duvardaki ısı kayıplarının toplamının genel olarak nasıl ifade edildiğini gösterebiliriz:

$$q_{wa} = R_T^{-1} = U_{wa} A_{wa} = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{d_{pl}}{k_{pl}} + \frac{d_{con}}{k_{con}} + \frac{d_{ins}}{k_{ins}} + \frac{d_{pl}}{k_{pl}} + \frac{1}{h_{out}} \right)^{-1} A_{wa} \quad (9)$$

Burada U_{wa} duvar yüzeyindeki toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K), A_{wa} duvar alanı ve R_T toplam termal direnci ifade etmektedir. d_{pl} , d_{con} ve d_{ins} sırasıyla alçı, beton ve PMC katkılı poliüretanın yapısal bileşenlerinin kalınlığını ifade eder. k_{pl} , k_{con} ve k_{ins} yapısal bileşenlerin termal iletkenliğini göstermektedir (W/mK). h_{in} ve h_{out} sırasıyla duvarın iç ve dış ortamındaki yüzey ısı transfer katsayısını temsil etmektedir (W/m^2K).



Şekil 2.8 Duvar yapısının ısı transfer mekanizması.

Nusselt sayısı, akış sınırlarındaki ısı transferinde kullanılan boyutsuz bir katsayıdır. Taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin, iletimle gerçekleşen ısı transferine oranı olarak tanımlanabilmektedir. Bina dış yüzeyinde taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısı h_{out} , Nusselt sayısı dikkate alınarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$h_{out} = \frac{k_{air,out}}{L_c} Nu \quad (10)$$

k termal iletkenlik katsayısını (W/mK) ve L_c ise karakteristik uzunluğu ifade etmektedir. Nusselt sayısı düşey bir duvar için aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$Nu = \frac{hL}{k} = (0.037 Re_L^{0.8} - 871) \times Pr^{1/3} \quad (11)$$

Burada P , Prandtl sayısını, Re_L ise Reynolds sayısını ifade etmektedir ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$Re_L = \frac{V_{air} L_c}{\nu} \quad (12)$$

Bu denklemde V_{air} rüzgar hızını ν ise havanın kinematik viskozitesini ifade etmektedir.

k , Pr ve ν değerleri duvar (T_{wall}) ve dış hava sıcaklıklarının ortalaması (T_{amb}) alınarak bulunan sıcaklık değerine karşılık gelen, 1 atm'deki havanın özellikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Binanın içindeki ısı transfer katsayısı h_{in} değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$h_{in} = \frac{k_{air,in}}{L_c} Nu \quad (13)$$

Nusselt sayısı Nu , Rayleigh Number'ın tüm aralıkları için dikey bir plaka üzerinde aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.0378Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (14)$$

Ra değeri, Rayleigh sayısı ve Pr ise Prandtl sayısını ifade etmektedir. Rayleigh sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$Ra = \frac{g \beta (T_{room} - T_{wall}) L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (15)$$

Burada g yer çekimi ivmesidir (m/s^2). β termal genleşme katsayısıdır (İdeal gazlar için $\beta = 1/T$). β katsayısı $1/T_{ave}$ şeklinde bulunmaktadır. T_{ave} oda ve duvar yüzeyindeki sıcaklıkların aritmetik ortalamasıdır.

2.5.2.3 Pencerelerden kaynaklanan ısı kaybı

Pencerelerin çift cam olduğu kabul edilmiştir ve pencerelerden kaynaklanan ısı kaybı şöyle tanımlanabilmektedir:

$$\dot{Q}_{wi} = q_{wi} \Delta T = U_{wi} A_{wi} \Delta T = n_{wi} h A_{wi} (T_{gl} - T_{air}) = n_{wi} \left(k Nu A_s \frac{\Delta T}{L_c} \right) \quad (16)$$

Burada n_{wi} değeri toplam pencere sayısını ifade etmektedir. h değeri ısı transfer katsayısını, A_s pencere alanını (m^2), T_{gl} ve T_{air} cam yüzeyleri ve hava boşluğu sıcaklıklarını, k havanın termal iletkenlik değerini ve son olarak L_C hava boşluğu uzunluğunu ifade etmektedir (m).

$$Nu = 0.42Ra_L^{1/4} Pr^{0.12} \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.3} \quad (17)$$

H/L değeri geometrinin en boy oranını göstermektedir. H pencerenin uzunluğudur.

2.5.2.4 Tavan ve çatıdan kaynaklanan ısı kaybı

Binanın çatı ve tavanının herhangi bir kesitinde ısı transfer hızı;

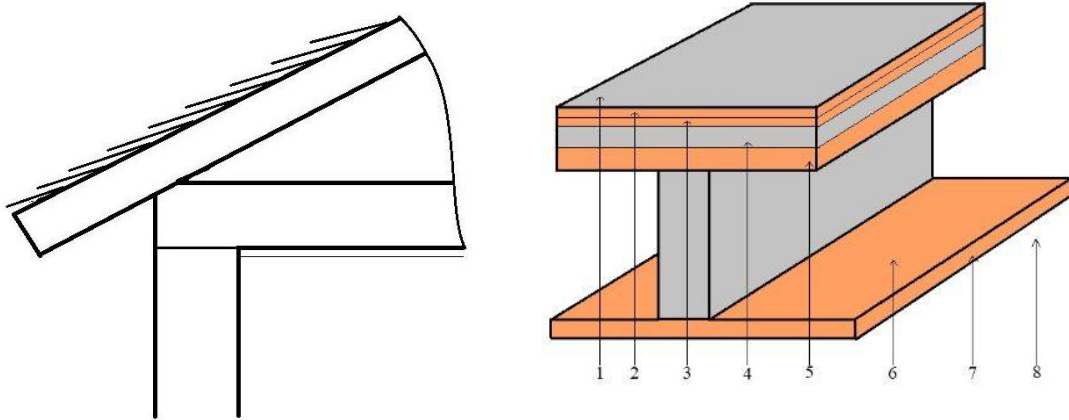
$$Q = UA(T_{in} - T_{out}) = \frac{A(T_{in} - T_{out})}{\sum R} \quad (18)$$

T_{in} ve T_{out} değerleri iç ve dış hava sıcaklıkları değerleridir. A ısı transfer alanı, U toplam ısı transfer katsayısı ve $\sum R = 1/U$ değeri toplam ısıl direnci ifade etmektedir.

Binaların duvarları ve çatıları farklı malzeme katmanlarından oluşmaktadır. Şekil 2.9 çatı ve tavanın yapısını göstermekte ve Tablo 2.8 bileşenlerin özelliklerini göstermektedir. Duvarların ve çatıların yapısı ve koşulları, yapı bileşenine göre değişebilmektedir. Bu nedenle, toplam direnç R , termal direnç devresi kullanılarak her bir bileşenin termal direncine bağlı olarak hesaplanır. Çatıdaki ısı transferi aynı zamanda açık yüzeylerdeki konvektif ve ışınlı ısı transfer katsayılarından da etkilenir. Genellikle h_i ve h_o , taşınım ve radyasyon ısı transfer katsayılarının birleşik değerleridir. h_i iç yüzey ısı transfer katsayısı, yıl boyunca neredeyse sabit kalır. Ancak, h_o değeri konuma bağlı olarak değişir. Rüzgar hızı, sakin havalarda 1 km/h'den fırtınalı havalarda 40 km/h'e yükselebilir. Genel olarak h_i ve h_o değerleri: $h_i = 8.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ (yaz ve kış), $h_o = 34.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (kış) and $h_o = 22.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (yaz) şeklindedir (Cengel, 2014). Binaların çoğu, aralarında tavan ve çatı birleşimine sahiptir. Isıl direnç R , tavanın havalandırmasına bağlı olarak "tavandan çatıya" kombinasyonudur.

Tablo 2.8 Çatı ve tavan yapısının hesaplanmasında kullanılan parametreler.

Yapı	R - değeri. m ² .cw	
	Dikmeler arası	Dikmeler
1. Dış yüzey rüzgar hızı	0.12	0.044
2. Muşamba	0.009	0.14
3. Kontroplak, keçe tabakası	0.011	0.23
4. Ahşap	0.11	---
5. Tahta kaba döşeme	0.166	---
6a. Hava boşluğu. 90 mm. yansıtmayan	0.16	---
6b. Ağaç dikme. 38x90 mm	---	0.63
7. Alçı duvar kaplaması	0.079	0.079
8. İç yüzeydeki durgun hava	0.12	0.12



Şekil 2.9 Tavan ve çatının yapısı.

Yeterince havalandırılmış tavan aralarına sahip olan tavan, dış hava sıcaklığı ile hemen hemen aynı kabul edilmektedir. Bu nedenle, çatıdan ısı transferi sadece tavanın R (termal direnç) değeri ile belirlenmektedir. Bununla birlikte, ısı, çatı ile tavan arasında gerçekleşen radyasyon ile de aktarılmaktadır.

Toplam ısı direnci değeri, çatının yapımında kullanılan farklı elemanların özelliklerine bağlı olarak bulunmaktadır. Ayrıca dış yüzeydeki rüzgar hızı, yansıtıcı veya yansıtmayan hava boşluğu, iç yüzeydeki eğim ve iç yüzeydeki havanın direnci de dikkate alınmaktadır. Hava tabakaları için, Tablo 4'de gösterilen iyi yalıtılmış düzlem hava boşluklarının birim kalorifik değerleri kullanılmıştır. Yansıtıcı bir yüzey varsa, U toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U = \sum f_{area,i} U_i = (U_{f,area})_{airspace} R_i + (U_{f,area})_{stud} R_i \quad (19)$$

Burada f radyasyon fonksiyonudur. R ve U değerlerinde ifade edilen i -index değerleri, yansıtıcı yüzeyin emisitive miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişiklik, yansıtıcı yüzeyin etkin değerini bulmanın sonucudur. Yansıtıcı yüzeylerin etkin değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon_{effective} = (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1} \quad (20)$$

Burada ε_1 ve ε_2 değerleri yüzeylerin etkili emisyon değerleridir ve hava boşluğu miktarına göre değişmektedir. Tavandan kaynaklanan ısı kaybı hesabı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir. Konvektivite değeri $h_{in(ceiling)}$ (tavan) doğal konveksiyon ile bulunur. Nusselt sayısını göz önünde bulundurarak;

$$h_{in(ceiling)} = \frac{k}{L_t} Nu \quad (21)$$

L_t değeri karakteristik uzunluktur. Aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$L_t = 0.25L \quad (22)$$

Ra 'ya karşılık gelen aşağı bakan sıcak yüzeyi bulunan yatay bir plaka için Nusselt sayısı;

$$Nu = 0.27 \left(g \beta (T_{room} - T_{ceiling}) L_t^3 \nu^{-2} Pr \right)^{1/4} \quad (23)$$

Son olarak, tavandan kaynaklanan ısı transfer hızı;

$$q_{ce} = R_T^{-1} = U_{ce} A_{ce} = \left(\frac{1}{h_{in(ceiling)}} + \frac{d_{pl}}{k_{pl}} + \frac{d_{con}}{k_{con}} + \frac{d_{ins}}{k_{ins}} + \frac{d_{pl}}{k_{pl}} + \frac{1}{h_{out}} \right)^{-1} A_{ce}$$

(24)

2.5.2.5 Döşemeden kaynaklanan ısı kaybı

Zemin için taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısı $h_{in(floor)}$, yukarı bakan sıcak yüzeylerde gerçekleşen doğal taşınım yöntemi ile bulunur.

$$h_{in(floor)} = \frac{k}{L_d} Nu \quad (25)$$

Burada L_d karakteristik uzunluktur ve zemin uzunluğunun dörtte birini ifade etmektedir.

$$L_d = 0.25L \quad (26)$$

$$Nu = 0.15 \left(g\beta(T_{room} - T_{floor})L_d^3 \nu^{-2} Pr \right)^{1/3} \quad (27)$$

2.5.2.6 Kapılardan kaynaklanan ısı kaybı

$$h_{in(door)} = \frac{k}{L_k} Nu \quad (28)$$

k termal iletkenlik katsayısını ve L_k kapı yüksekliğini ifade etmektedir. Nusselt sayısı, Rayleigh sayısının tüm aralıkları için şu şekilde hesaplanır:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.0378 \left(g\beta(T_{room} - T_{door})L_k^3 \nu^{-2} Pr \right)^{1/6}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (29)$$

2.5.3 Toplam ısı kazançları

2.5.3.1 Aylık ortalama güneş enerji kazançları

Güneş enerjisi kazançları yön ve zamana bağlıdır ve her ay için binanın her yönden güneş enerjisi kazançları dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$\phi_{s,m} = \sum r_{i,m} g_{i,m} I_{i,m} A_w \quad (30)$$

$r_{i,ay}$ değeri i yönündeki saydam yüzeylerin ortalama gölgelenme faktörüdür. $g_{i,ay}$ değeri i -yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi iletim faktörüdür ve güneş radyasyonunun geliş açısına bağlıdır. $I_{i,m}$ değeri i yönündeki düşey yüzeyler için aylık ortalama güneş ışınım şiddetidir (W/m^2). A_i i yönündeki toplam pencere alanını ifade etmektedir (m^2).

$$g_{i,m} = F_w g_{\perp} \quad (31)$$

2.5.3.2 Aylık iç enerji kazançları

Bu çalışmada, aylık iç ısı Kazanımları TS 825 tarafından tanımlanan değerlere göre hesaplanmıştır. Standartlara göre, evlerde, okullarda ve normal donanımlı binalarda kullanım alan başına en fazla $5 W/m^2$ iç ısı kazanımı alınır. Bu değer bina kullanım alanı ile çarpılır ve toplam iç ısı Kazanımları elde edilir.

$$\phi_{i,m} = 5A_n \quad (32)$$

Burada A_n bina kullanım alanıdır ve şu şekilde bulunur:

$$A_n = 0.32V_{gross} \quad (33)$$

V_{gross} binanın ısıtılan brüt hacim değeridir.

2.5.4 Toplam ısı ihtiyacı

Yerel kazançlar ve güneş kazançları, ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltır. Ancak, her zaman yararlı bir enerji olarak kabul edilemez. Çünkü ısı kazanımlarının yüksek olduğu zamanlarda, kazançlar ani kayıplardan daha fazla olabilir. Veya ısıtma gerekli olmadığı zamanlarda, kazançlar oluşabilir. Bu nedenle, iç ve güneş kazançları bir fayda faktörü ile azaltılır. Bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların göreceli büyüklüğüne ve binanın termal kütesine bağlıdır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_m = 1 - e^{(-1/GLR_m)} \quad (34)$$

GLR_m kazanç-kayıp oranıdır ve şu şekilde hesaplanır:

$$GLR_m = (\phi_{i,m} + \phi_{s,m}) / H(T_{i,m} - T_{o,m}) \quad (35)$$

$\phi_{i,m}$ ve $\phi_{s,m}$ değerleri aylık iç enerji kazançları ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarıdır (W). H değeri toplam özgül ısı kaybını ifade etmektedir (W/K). $T_{i,m}$ ve $T_{o,m}$ değerleri aylık ortalama iç ve dış hava sıcaklıklarıdır. Toplam ısı ihtiyacı her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{i,m} = [H(T_{i,m} - T_{o,m}) - \eta_m (\phi_{i,m} + \phi_{s,m})] t \quad (36)$$

Son olarak, tüm ayların ısıtma enerjisi ihtiyaçları toplanarak bir yıllık toplam ısı ihtiyacı bulunmuş olur.

$$\dot{Q}_{an} = \sum_{i=1}^{i=12} \dot{Q}_{i,m} \quad (37)$$

2.5.5 Ekonomik analiz

Bir binanın toplam ısı ihtiyacının ekonomik analizi, gerekli miktarda yakıtın bir fonksiyonudur. Isı yalıtım malzemesinin uyarlanması binanın montajı sürecinde olduğundan, değerlendirme için sadece yakıt maliyetinin azaltılması düşünülmüştür. Yakıtın gerekli miktarını hesaplamak için, her yakıtın net kalorifik değeri ve toplam ısı ihtiyacı aşağıdaki gibi dikkate alınmalıdır.

$$C = \frac{\dot{Q}_{an}}{NCV} c \quad (38)$$

C yakıt maliyeti (\$) ve c yakıtın birim fiyatıdır ($\$/m^3$, $\$/tonne$ or $\$/kWh$). Yıllık yakıt tüketimi ($N.m^3$, kg or kWh) miktarı, yıllık ısı ihtiyacının yakıtın net kalorifik değerine oranı olarak hesaplanabilir.

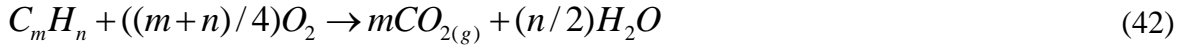
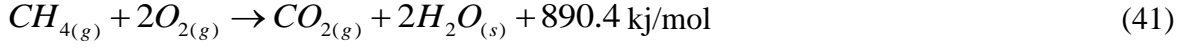
Tablo 2.9 Ekonomik analiz için kullanılan yakıt miktarının kalorifik değeri, verimi ve maliyeti.

Yakıt	Parametre	Değer
Doğalgaz	H_u	9,59 kWh/Nm ³
	η	0.92
	C_i	0.14720 $\$/m^3$
Kömür	H_u	6.98 kWh/kg
	η	0.65
	C_i	152 $\$/tonne$
Elektrik	H_u	1 kWh/kWh
	η	0.99
	C_i	0.074900 $\$/kWh$
Fuel oil	H_u	10.69 kWh/kg
	η	0.82
	C_i	0.622 $\$/kg$
LPG	H_u	12.76 kWh/kg
	η	0.92
	C_i	1.25 $\$/m^3$

2.5.6 Karbondioksit emisyonu hesabı

Atmosfere yayılan CO₂ gazının bir yıllık olarak değerlerinin hesaplanmasında, aşağıdaki kimyasal denklemler kullanılmıştır. Karbon, hidrojen, metan ve hidrokarbonların yanma

denklemleri şu şekildedir:



$$n = \frac{m}{M_A} \quad (43)$$

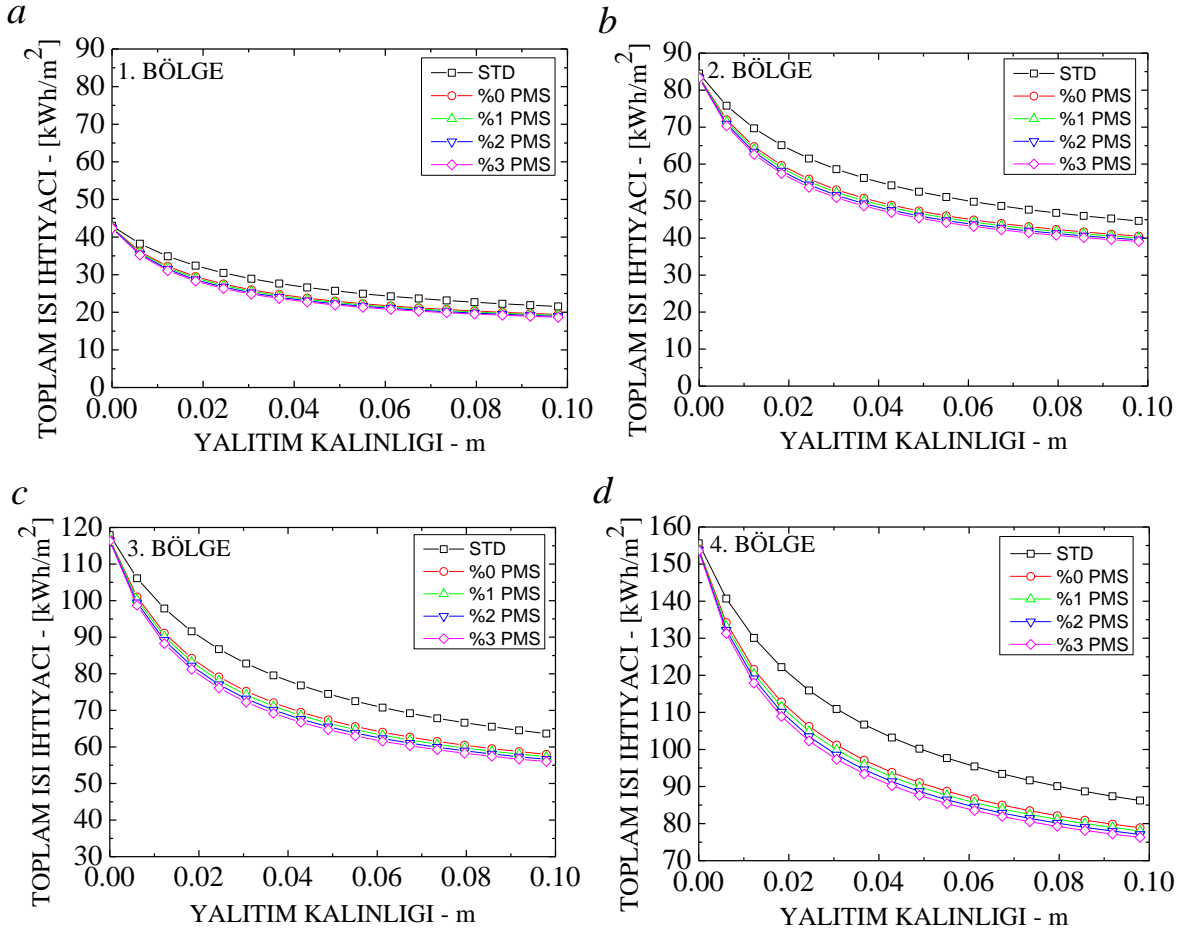
Burada m değeri molü alınacak maddeden alınması gereken miktar (%), M_A molü hazırlanacak olan maddenin 1 molünün ağırlığı (g) ve n mol sayısıdır (mol). Kömür ve fuel oil yakıtlarının yanması sonucu açığa çıkardıkları karbon emisyonu miktarları, karbondioksit ve suyun yanma tepkimeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm yakıt 100 mol olarak kabul edilerek işlemler yapılmıştır. Kömür için %90 oranında C ve %10 oranında H kullanılarak tam yanma sonucu kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Fuel oil yakıtı için ise %95 oranında C ve %5 oranında H kullanılarak tam yanma gerçekleştirilmiştir. Doğalgazın yanmasında %100 miktarında CH_4 kullanılmıştır. LPG yakıtının yanmasında ise %30 oranında C_3H_8 ve %70 oranında C_4H_{10} kullanılarak yanma gerçekleştirilmiştir. Böylece atmosfere salınan CO_2 emisyonu miktarları bulunmuştur.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Yalıtım Malzemesi Olarak PMS Katkılı Poliüretan Kullanılan Binalarda Enerji Analizi

Binadaki ısı kayıplarının büyük bir çoğunluğu duvar yüzeylerinden kaynaklandığından, bu bileşene değinmek önemlidir. Bu çalışmada, ısı yalıtımının termal konfor üzerindeki etkisinin yanı sıra, enerji tasarrufu ve verimli kullanım için enerji ve maliyet analizi vurgulanmıştır. Mühendislik denklemleri çözücü (EES) programı yardımıyla yıllık enerji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Analiz, bina duvarları, betonarme, tavan, zemin, pencere ve kapıların yanı sıra güneş radyasyonu kazanımlarının neden olduğu ısı kayıplarının analizini içermektedir. Tüm bu çalışmalar seçilen örnek bina üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bina dört gün bölgesi için analiz edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Son olarak, analizde kullanılan farklı ısı transfer katsayılarına sahip dört poliüretan için, hesaplamalar poliüretan kalınlığı $d = 0 - 0.1$ m aralığında değiştirilerek yapılmıştır. Önerilen malzemeler, termal iletkenliği 0.035 W/mK olan standart bir poliüretan malzeme ile karşılaştırılmıştır. PMS içermeyen, % 1, % 2 ve % 3 PMS katılmış poliüretan yalıtım malzemeleri, sırasıyla 0.02432 , 0.02316 , 0.02195 ve 0.02094 W/mK değerinde ısı iletkenliğine sahiptir.

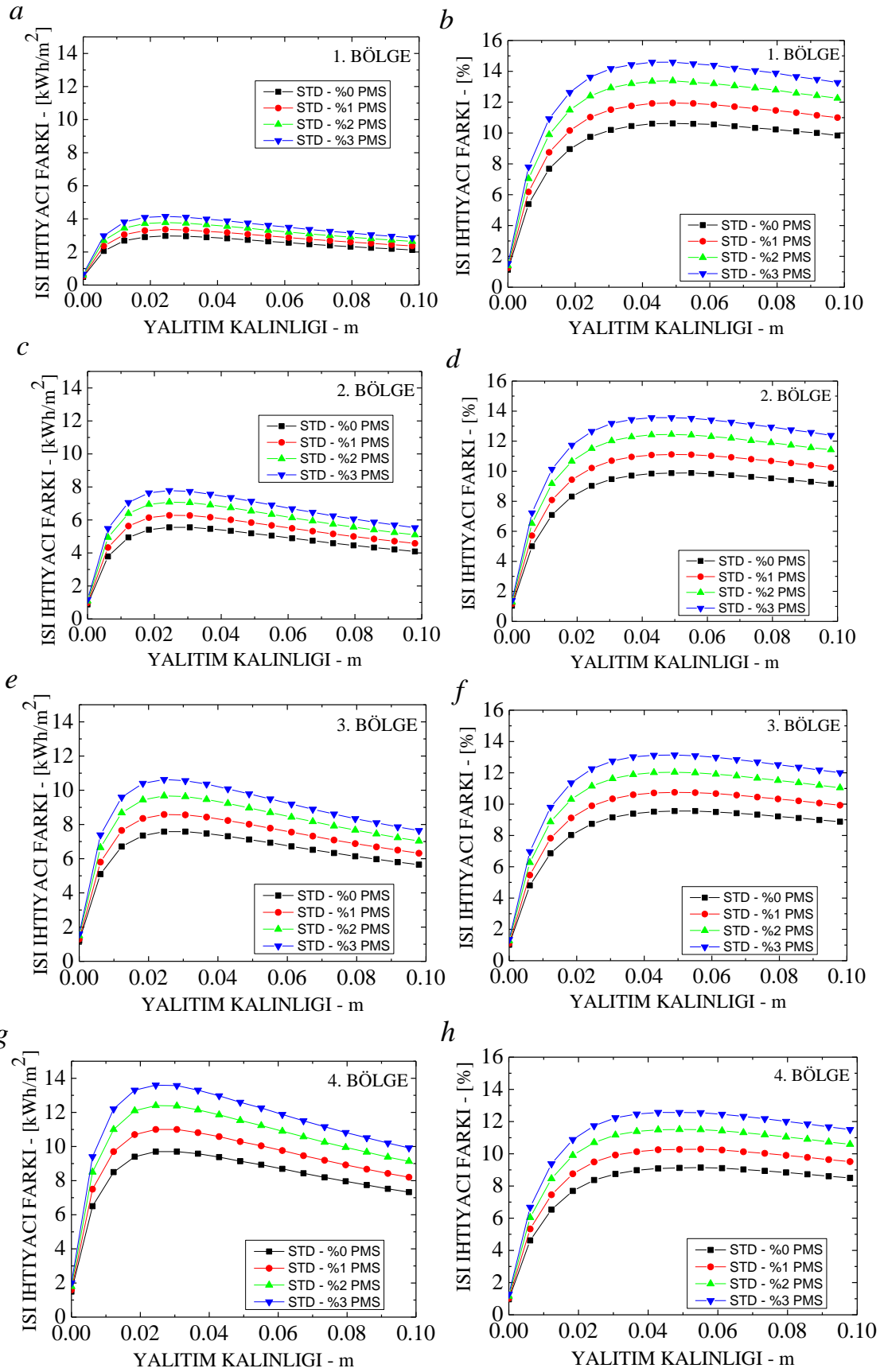


Şekil 3.1 Yalıtım kalınlığına bağlı toplam ısı ihtiyacı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi.

Şekil 3.1 farklı iklim bölgeleri için yalıtım kalınlığı açısından binanın toplam ısı ihtiyacını göstermektedir. Dördüncü bölge sert hava koşullarını ifade ederken, ilk bölge sıcak hava koşullarını göstermektedir. PMS katkısı oranındaki artış, gözeneklilikteki artış ve termal iletimdeki azalma nedeniyle binadaki ısı ihtiyacını azaltır. Yalıtım kalınlığı arttıkça tüm bölge için toplam ısı ihtiyacı azalmaktadır. Toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma olduğu için yalıtım malzemesinin etkisi dördüncü bölge durumunda daha belirgin hale gelir ve bu belirginlik sırasıyla 3, 2 ve 1. bölgeler şeklindedir. Ayrıca, PMS eklenen poliüretanlar, dördüncü bölgedeki ısı ihtiyacının belirgin bir şekilde azaltılmasını sağlar. Toplam ısı ihtiyacındaki azalma, yaklaşık 0.03 m'lik yalıtım kalınlığına kadar önemli hale gelir ve daha sonra eğrinin eğimi, özellikle dördüncü bölgede kademeli olarak azalır. Yeni yalıtım malzemesinin kullanılması, birim alan başına binanın toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma sağlamaktadır. Isı ihtiyacının azalmasını açıkça görmek için, standart poliüretan ile üretilen poliüretanlar arasındaki ısı ihtiyacı farkı (Şekil 3.2a, 3.2c, 3.2e ve 3.2g'de) ve ısı

gereksiniminin yüzde cinsinden azaltılması (Şekil 3.2b, 3.2d, 3.2f ve 3.2h'de) Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Standart poliüretan ve% 3 PMS katkılı poliüretan arasındaki ısı ihtiyacı farkı, birinci bölge için yaklaşık 0.0235 m olan yalıtım kalınlığı için 4.15 kWh/m²'ye ulaşmaktadır (Şekil 3.2a). Bu kalınlık, üretilen tüm yalıtım malzemeleri için maksimum gelişme sağlar. Yüzdeler azalma ile ilgili olarak, en büyük gelişme % 14,6 ile yaklaşık 0,049 m kalınlıkta gerçekleşir. İkinci bölgede, en büyük ısı ihtiyacı azalması, 0,0245 m kalınlığında olmaktadır. Fark, %3 PMS katılmış poliüretan için 7.78 kWh/m²' ye ulaşmaktadır (Şekil 3.2c).

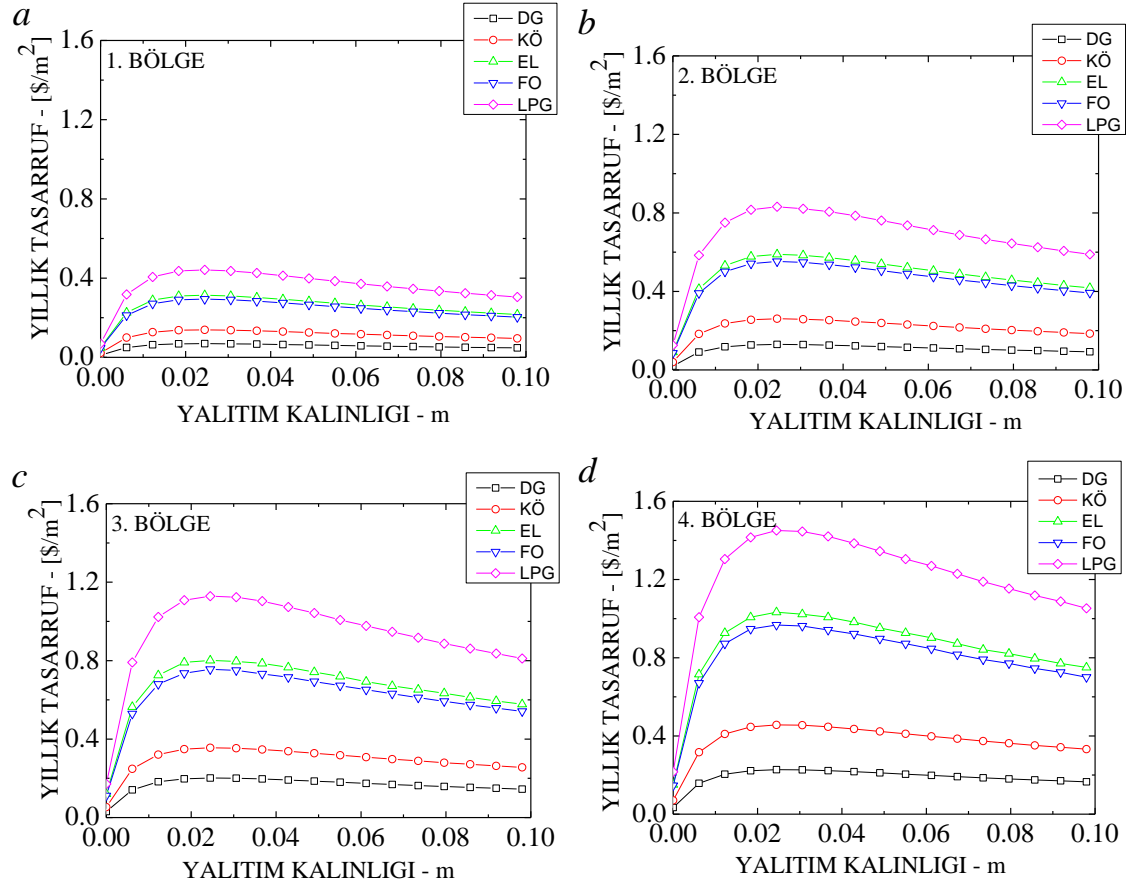
Yüzdeye gelince, ilk bölge ile yaklaşık 0.049 m'lik aynı yalıtım kalınlığı için yaklaşık % 13.57' lik bir azami azalma meydana gelir. 3. ve 4. bölgelerde, 0.0245 m yalıtım kalınlığı, toplam ısı ihtiyacında maksimum azalma sağlar. Isı ihtiyacındaki azalma, 3. ve 4. bölgeler için sırasıyla 10.63 kWh/m² ve 13.6 kWh/m² olur (Şekil 3..e, 3.2g). Yüzde olarak en büyük azalma, sırasıyla 3. ve 4. bölgeler için % 13.14 ve % 12.57 ile 0.049 kalınlığında meydana gelmektedir (Şekil 3.2f, 3.2h). Isı ihtiyacı farkı, ilk bölgeden dördüncü bölgeye doğru artarken, ısı ihtiyacındaki azalma yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 3.2 Standart bir poliüretan ile PMS içermeyen ve katkıli poliüretanlar arasındaki ısı ihtiyacı farkı ve ısı ihtiyacındaki azalma (%)

3.2 Yalıtım Malzemesi Olarak PMS Katkılı Poliüretan Kullanılan Binalarda Maliyet Analizi

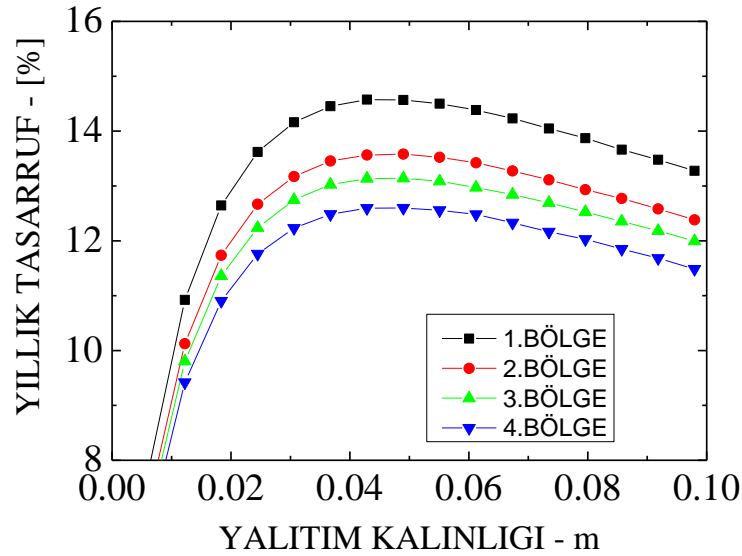
Ekonomik analiz binanın yıllık toplam ısı maliyeti göz önüne alınarak yapılmıştır. Isıtma için doğal gaz, elektrik, LPG, kömür ve akaryakıt yakıt olarak kabul edilmiştir. Yalıtım kalınlığı 0 ile 0.1 m arasında değişmiştir. Önerilen yalıtım malzemesinin ekonomik performansı için dört farklı bölge de dikkate alınmıştır.



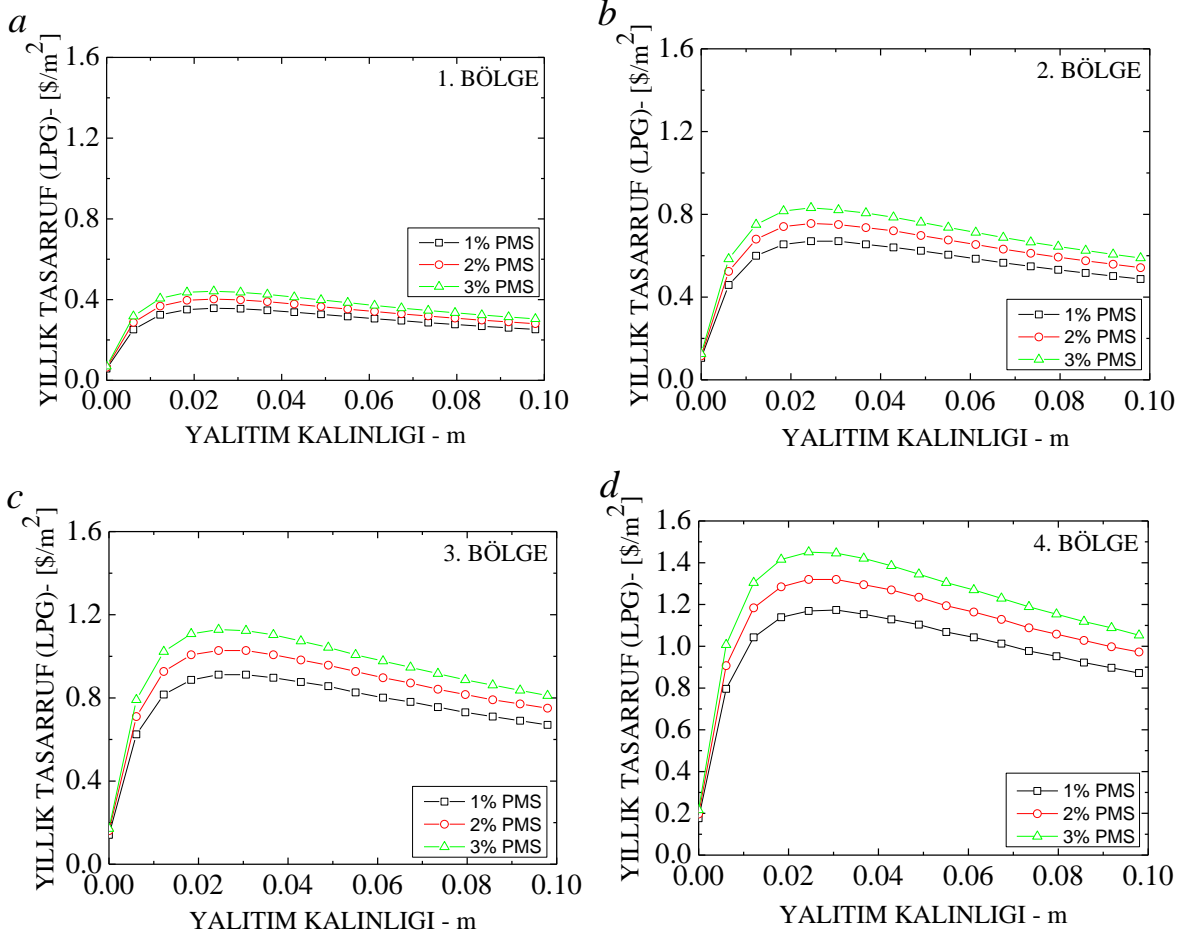
Şekil 3.3 Yalıtım kalınlığına bağlı olarak farklı yakıtlar için yıllık tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi.

Şekil 3.3 analiz edilen %3 PMS ilaveli poliüretan bina için, beş farklı yakıt ve dört farklı iklim bölgesi için yıllık tasarruf miktarını göstermektedir. Yüksek enerji tüketimi nedeniyle dördüncü iklim bölgesi için en yüksek enerji tasarrufu ortaya çıkmaktadır. Yakıt olarak LPG kullanılan bir bina, tüm iklim bölgesi için LPG'nin daha yüksek maliyeti nedeniyle daha iyi bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Yıllık tasarruf, 1.bölgede yaklaşık 0.44 \$/m²'ye ulaşırken, bu miktar 4.bölge için yaklaşık 1.456 \$/m²'ye kadar uzanır. Bütün bir bina düşünüldüğünde, bu miktar enerji ve ekonomik tasarrufta önemli avantaj sağlayabilir. Fuel-Oil ve elektrik, aynı net kalorifik değerler için yaklaşık bir maliyeti olduğundan, yüksek

elektrik tasarrufu ile oldukça yakın performanslar göstermektedir. Maksimum yıllık tasarruf sırasıyla dördüncü bölgede elektrik ve akaryakıt için $1.033 \text{ \$/m}^2$ ve $0.97 \text{ \$/m}^2$ şeklindedir. Kömür için yıllık tasarruf, dördüncü bölgede $0.456 \text{ \$/m}^2$ 'ye ulaşmaktadır. En düşük enerji tasarrufu $0.23 \text{ \$/m}^2$ ile doğal gazdan sağlanmaktadır. En yüksek yıllık tasarruf tüm bölge ve yakıtlar için 0.0245 m yalıtım kalınlığı görünür. Sonuçlar, maksimum enerji tasarrufu nedeniyle 0.0245 m yalıtım kalınlığının optimum yalıtım kalınlığı olarak düşünülebileceğini göstermektedir. Bu kalınlıktan sonra, LPG, akaryakıt (Fuel-Oil) ve elektrik için yıllık tasarruf azalmaya başlarken, doğal gaz ve kömür için neredeyse kararlı hale gelir. Bu yalıtım kalınlığı, binanın enerji ve ekonomik performansında önemli bir gelişme sağlar. Yakıt maliyetinin tasarruf yüzdesine bakmak daha iyidir. Tüm yakıtlar oldukça benzer sonuçlar gösterdiğinden, yıllık maliyet tasarrufunu göstermek için ortalama bir değer alınmıştır (Şekil 3.4). 1. iklim bölgesinde bulunan bina, 0.043 cm yalıtım kalınlığında yaklaşık %14.57 ile en büyük maliyet tasarrufunu göstermektedir. Aynı yalıtım kalınlığı için 2., 3. ve 4. bölgeler için yıllık tasarruf sırasıyla %13.58, %13.1 ve %12.6 şeklinde olmaktadır.

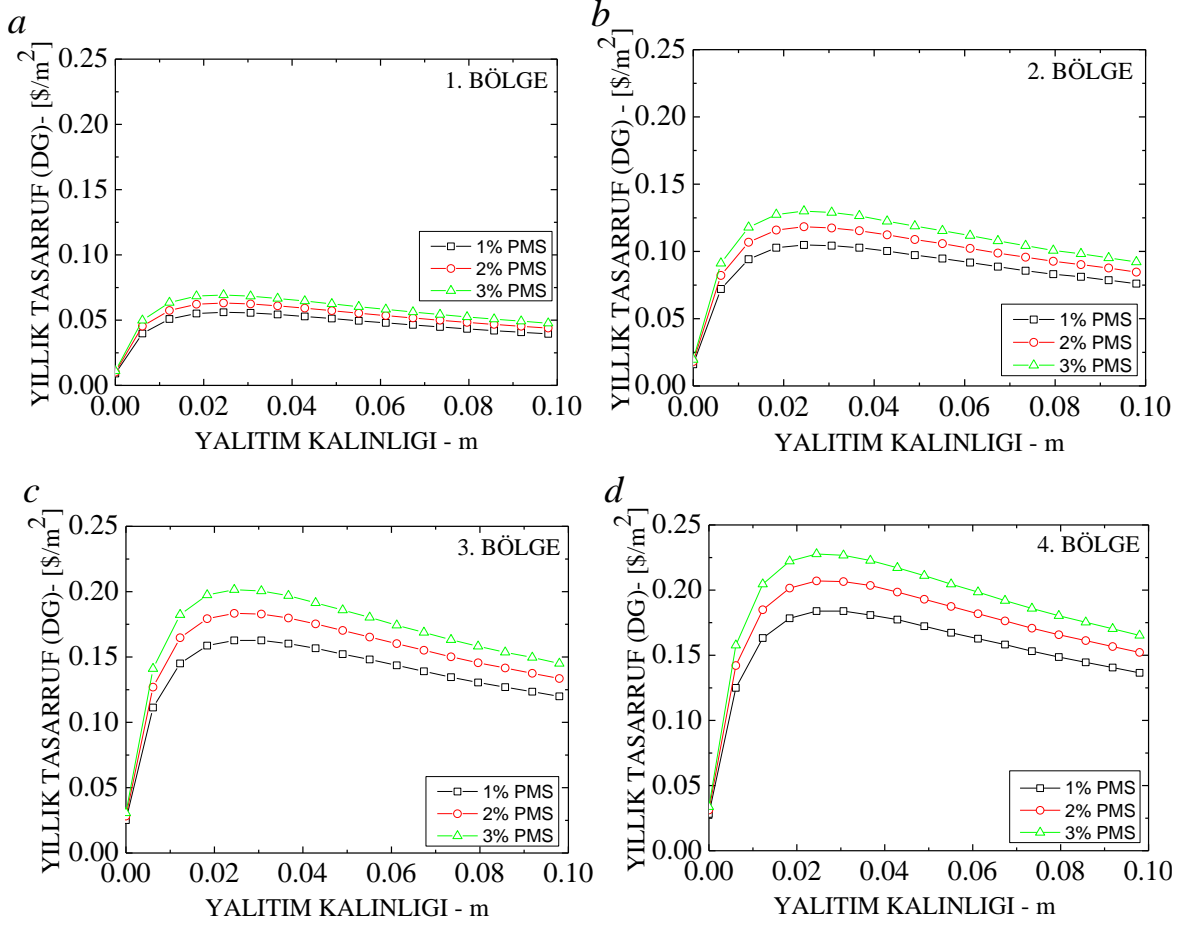


Şekil 3.4 Farklı iklim bölgeleri için yıllık tasarruf .



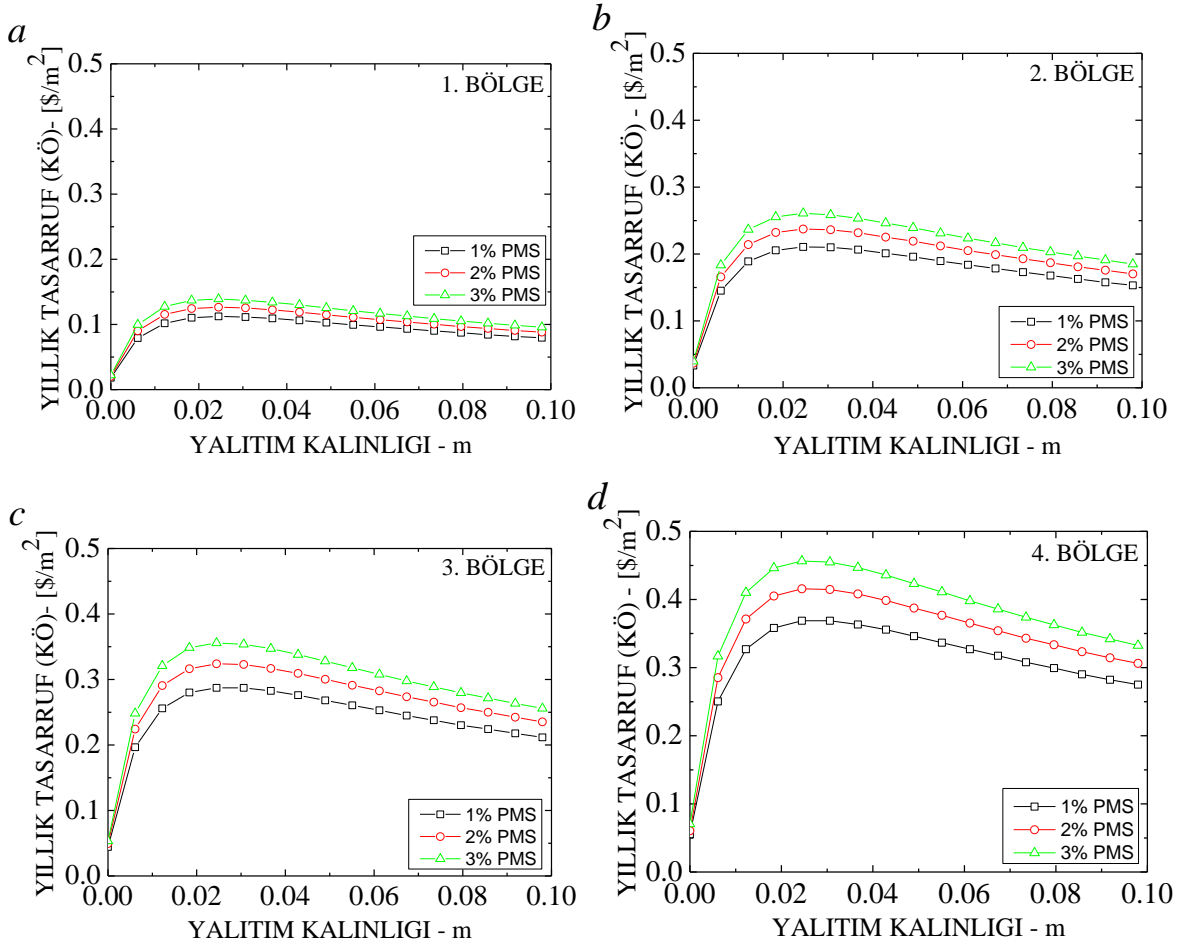
Şekil 3.5 Farklı miktarda PMS katkıli poliüretanlar için yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı [(a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi].

PMS oranlarının etkisini açıkça görebilmek için dört farklı bölge için LPG, doğal gaz ve kömür yakıtları dikkate alınmıştır. Şekil 3.5’de farklı miktarda PMS katkıli poliüretanlar için yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı gösterilmektedir. Burada en çok tasarruf (Şekil 3.5d) 4. bölgede bulunan Erzurum ilinde gözlenmiştir. 0.0245 m yalıtım kalınlığı için %3 PMS içeren poliüretanda yaklaşık 1.45 $$/m^2$ değerinde tasarruf gözlenmiştir. Aynı yalıtım kalınlığı değerinde sırasıyla 3.bölgede 1.13 $$/m^2$, 2.bölgede 0.83 $$/m^2$ ve 1.bölgede 0.44 $$/m^2$ değerlerinde yıllık tasarrufa ulaşılmıştır. En düşük enerji tasarrufu ihtiyacın az olmasından kaynaklı olarak birinci iklim bölgesi için meydana gelmektedir.



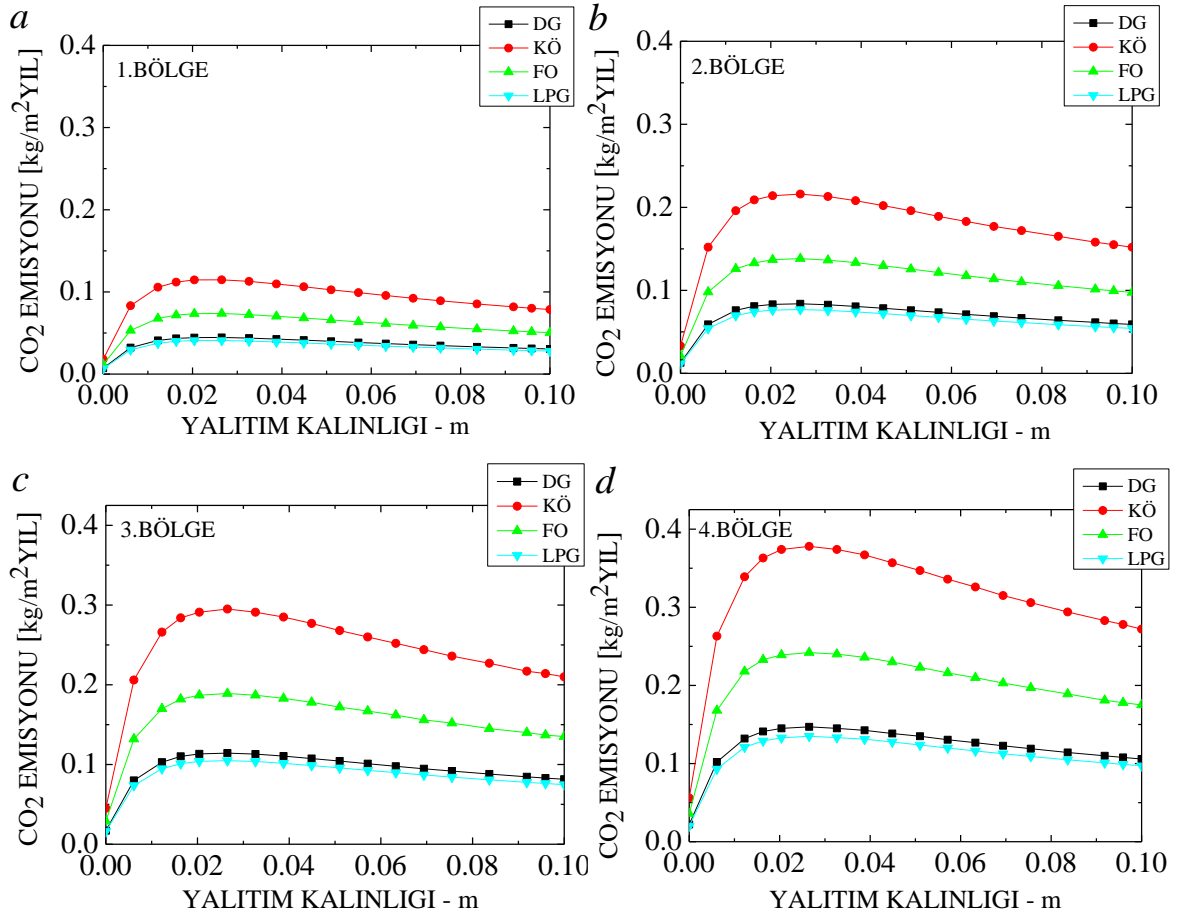
Şekil 3.6 Yalıtım kalınlığına bağlı olarak farklı PMS katkıli poliüretanlar için yıllık doğalgaz yakıt miktarı tasarrufundaki değişim [1.iklim bölgesi (a), 2.iklim bölgesi (b), 3.iklim bölgesi (c) ve 4.iklim bölgesi (d)].

Şekil 3.6'da dört iklim bölgesi için yalıtım kalınlığına bağlı olarak farklı PMS katkıli poliüretanlar için bir yıllık doğalgaz yakıt miktarı tasarrufundaki değişim miktarları gösterilmektedir. Burada bölgeler arasında en çok tasarruf yine 4.bölgede gözlenirken, en az tasarruf 1.bölgede gerçekleşmektedir. Bunun nedeni ise kullanılacak yakıt miktarına duyulan ihtiyaç miktarıdır. 1.bölgede ılıman iklim gözleendiğinden ısınma için fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun aksine 4.bölgede sert karasal iklim hakim olduğu için yakıt miktarına duyulan ihtiyaç tüm bölgeler arasında en fazladır. %3 PMS katkıli poliüretan için 1.bölgede bulunan Antalya ilinde (Şekil 3.6a) yıllık 0.07 \$/m² tasarruf edilmiştir. Erzurum ilinde (Şekil 3.6d) ise yıllık 0.23 \$/m²'lik tasarruf gözlenmektedir. Bunların yanı sıra 2.bölgede bulunan İstanbul'da (Şekil 3.6b) 0.13 \$/m² ve 3.bölgede bulunan Ankara'da (Şekil 3.6c) 0.20 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.



Şekil 3.7 Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık tasarrufta (kömür) değişim [a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi].

Şekil 3.7'de yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık kömür tasarrufundaki değişim gösterilmektedir. En çok tasarruf %3 PMS katkılı poliüretanda gözlenmektedir. Sırasıyla, 1.bölgede (Şekil 3.7a) yıllık 0.14 \$/m², 2.bölgede (Şekil 3.7b) 0.26 \$/m², 3.bölgede (Şekil 3.7c) 0.36 \$/m² ve 4.bölgede (Şekil 3.7d) 0.46 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.



Şekil 3.8 Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık CO₂ emisyonu değişim a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi.

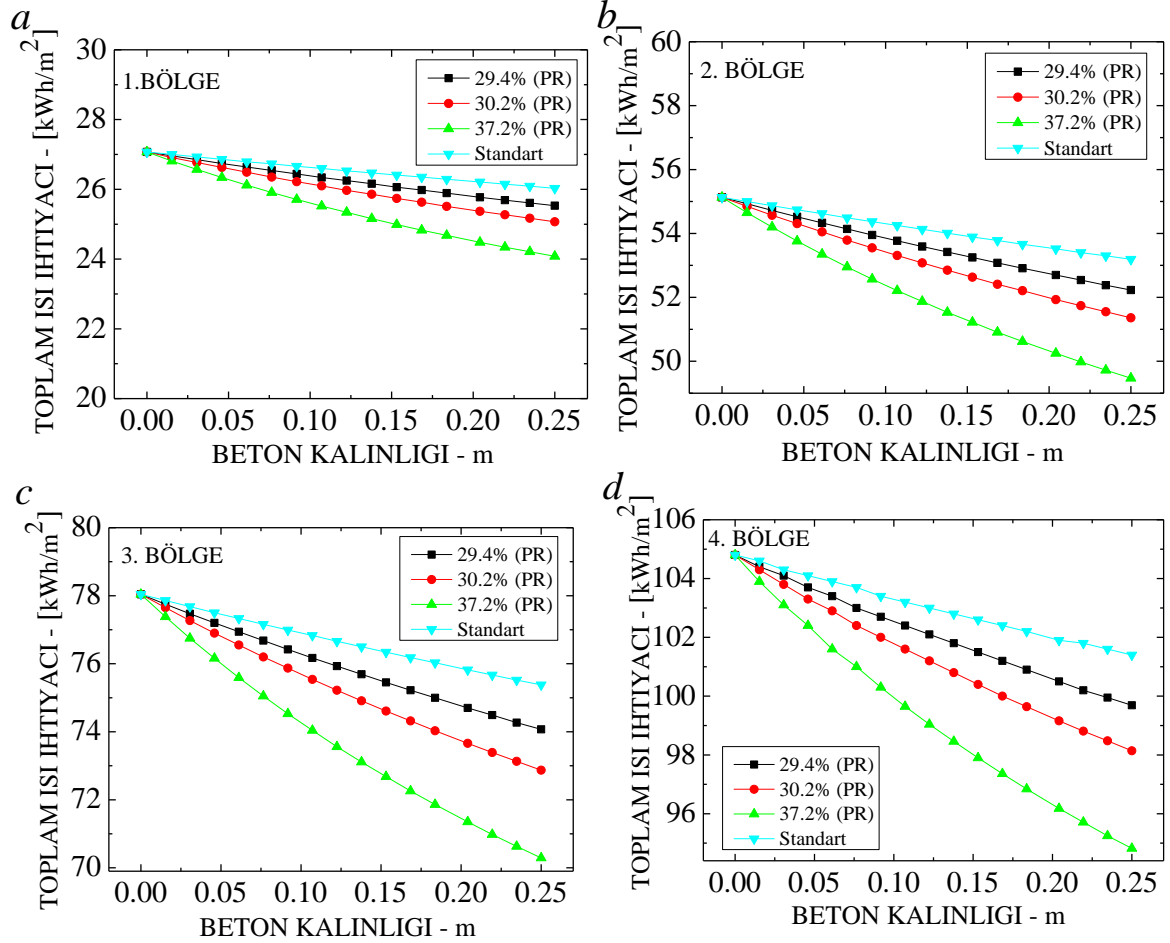
Şekil 3.8’de yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık karbondioksit emisyonunun değişimi gösterilmektedir. Bu veriler standart poliüretan malzeme yerine %3 PMS katkılı poliüretanın kullanılmasına bağlı oluşturulmuştur. Buna göre karbondioksit salınımında en fazla azalma kömür yakıtı ve tüm yakıtlar için de 4.bölgede gerçekleşmiştir. 0.02449 m yalıtım kalınlığında 1.bölge için doğalgaz yakıtında 0.0446 kg.m²/yıl, kömür yakıtında 0.115 kg.m²/yıl, fuel oil yakıtında 0.0739 kg.m²/yıl ve LPG yakıtında 0.041 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. 2.bölge için yine aynı kalınlıkta doğalgaz yakıtında 0.0838 kg.m²/yıl, kömür yakıtında 0.215 kg.m²/yıl, fuel oil yakıtında 0.139 kg.m²/yıl ve LPG yakıtında 0.0769 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. 3.bölgede ise sırasıyla doğalgaz, kömür, fuel oil ve LPG yakıtında 0.01143 kg.m²/yıl, 0.295 kg.m²/yıl, 0.189 kg.m²/yıl ve 0.105 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. Son olarak 4.bölgede ise sırasıyla doğalgaz, kömür, fuel oil ve LPG yakıtında 0.146 kg.m²/yıl, 0.378 kg.m²/yıl, 0.242 kg.m²/yıl ve 0.135 kg.m²/yıl değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Tüm yakıtlar için en çok azalmanın 4.bölgede olmasının sebebi, yakıt ihtiyacının fazla olmasına bağlı olarak

diğer bölgelere kıyasla, daha fazla yakıt yakılmasından ve buna bağlı olarak karbondioksit gazı salınımının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

3.3 Yapı Malzemesi Olarak Vermikülit Katkılı Beton Kullanılmış Binalarda Enerji Analizi

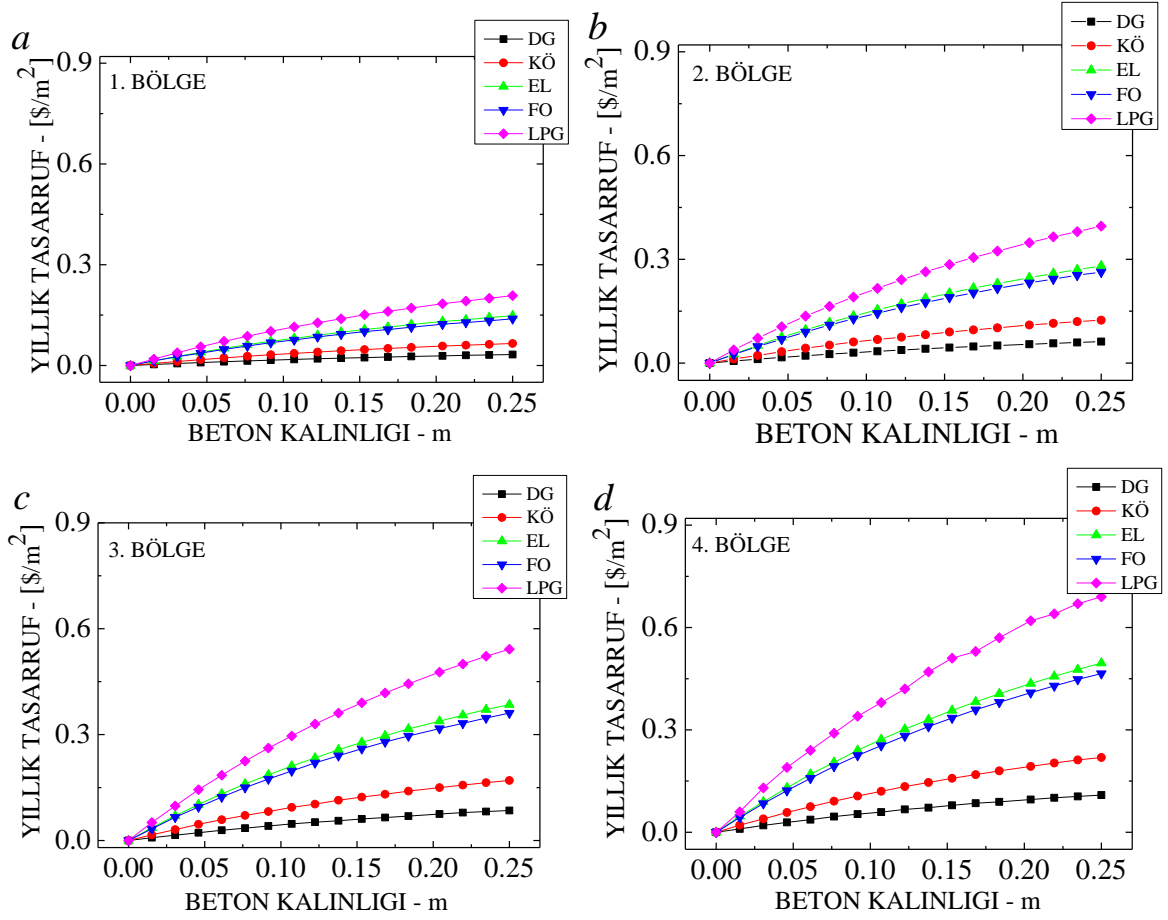
Analizde kullanılan farklı ısı transfer katsayılarına sahip üç beton için, hesaplamalar beton kalınlığı $d = 0 - 0.25$ m aralığında değiştirilerek yapılmıştır. Önerilen malzemeler, termal iletkenliği 1 W/mK olan standart beton malzemesi ile karşılaştırılmıştır. Vermikülit oranları farklı, % 29.4, % 30.2 ve % 37.2 gözenekliliğe sahip beton yapı malzemeleri, sırasıyla 0.633, 0.460, ve 0.269 W/mK değerinde ısı iletkenliğine sahiptir. Şekil 3.9 farklı iklim bölgeleri için beton kalınlığı açısından binanın toplam ısı ihtiyacını göstermektedir. Vermikülit katkısı oranındaki artış, gözeneklilikteki artış ve termal iletimdeki azalma nedeniyle binadaki ısı ihtiyacını azaltmaktadır. Beton kalınlığı arttıkça tüm bölge için toplam ısı ihtiyacı azalmaktadır. Toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma olduğu için yapı malzemesinin etkisi dördüncü bölge durumunda daha belirgin hale gelir ve bu belirginlik sırasıyla 3, 2 ve 1. bölgeler şeklinde devam eder. Ayrıca, vermicülit eklenen betonlar, dördüncü bölgedeki ısı ihtiyacının belirgin bir şekilde azaltılmasını sağlar. Toplam ısı ihtiyacındaki azalma, yaklaşık 0.20 m'lik beton kalınlığı için incelenmiştir ve sonuç olarak yeni yapı malzemesinin kullanılması, birim alan başına binanın toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma sağlamakta olduğunu göstermiştir. Burada, toplam ısı ihtiyacı 1.bölge için (Şekil 3.9a) beton kalınlığı 0.2041 m değerinde iken sırasıyla 0.633, 0.460, ve 0.269 W/mK ısı iletkenliğine sahip betonlar için 25.77 kWh/m^2 , 25.37 kWh/m^2 , 24.48 kWh/m^2 değerindedir. Bu değer aynı kalınlıktaki 1 W/mK ısı iletkenliğine sahip standart beton için 26.21 kWh/m^2 şeklindedir. Yani sonuç olarak burada yapı malzemesi olarak standart beton yerine %37.2 gözenekliliğe sahip beton kullanılırsa, bir yılda %6.6 değerinde toplam ısı ihtiyacında azalma gerçekleşmektedir. 2.bölge için (Şekil 3.9b) toplam ısı ihtiyacı, sırasıyla 0.633, 0.460 ve 0.269 W/mK ısı iletkenliğine sahip betonlar için 52.7 kWh/m^2 , 51.93 kWh/m^2 , 50.25 kWh/m^2 değerindedir. Aynı kalınlıktaki 1 W/mK ısı iletkenliğine sahip standart beton için ise 53.52 kWh/m^2 şeklindedir. 3.bölge için (Şekil 3.9c) toplam ısı ihtiyacı, sırasıyla 1, 0.633, 0.460, ve 0.269 W/mK ısı iletkenliğine sahip betonlar için 75.82 kWh/m^2 , 74.7 kWh/m^2 , 73.66 kWh/m^2 , 71.35 kWh/m^2 değerindedir. Benzer şekilde 4.bölge için (Şekil 3.9d) toplam ısı ihtiyacı, sırasıyla 1, 0.633, 0.460, ve 0.269 W/mK ısı iletkenliğine sahip betonlar için 101.9 kWh/m^2 , 100.5 kWh/m^2 , 99.16 kWh/m^2 , 96.18 kWh/m^2 değerindedir. Isı ihtiyacı

farkı, ilk bölgeden dördüncü bölgeye doğru artarken, ısı ihtiyacındaki azalma yüzdesi azalmaktadır. Sırasıyla 2., 3. ve 4. bölgede yapı malzemesi olarak standart beton yerine %37.2 gözenekliliğe sahip beton kullanılırsa, bir yılda %6.1, %5.9 ve %5.6 değerinde toplam ısı ihtiyacında azalma gerçekleşmektedir.

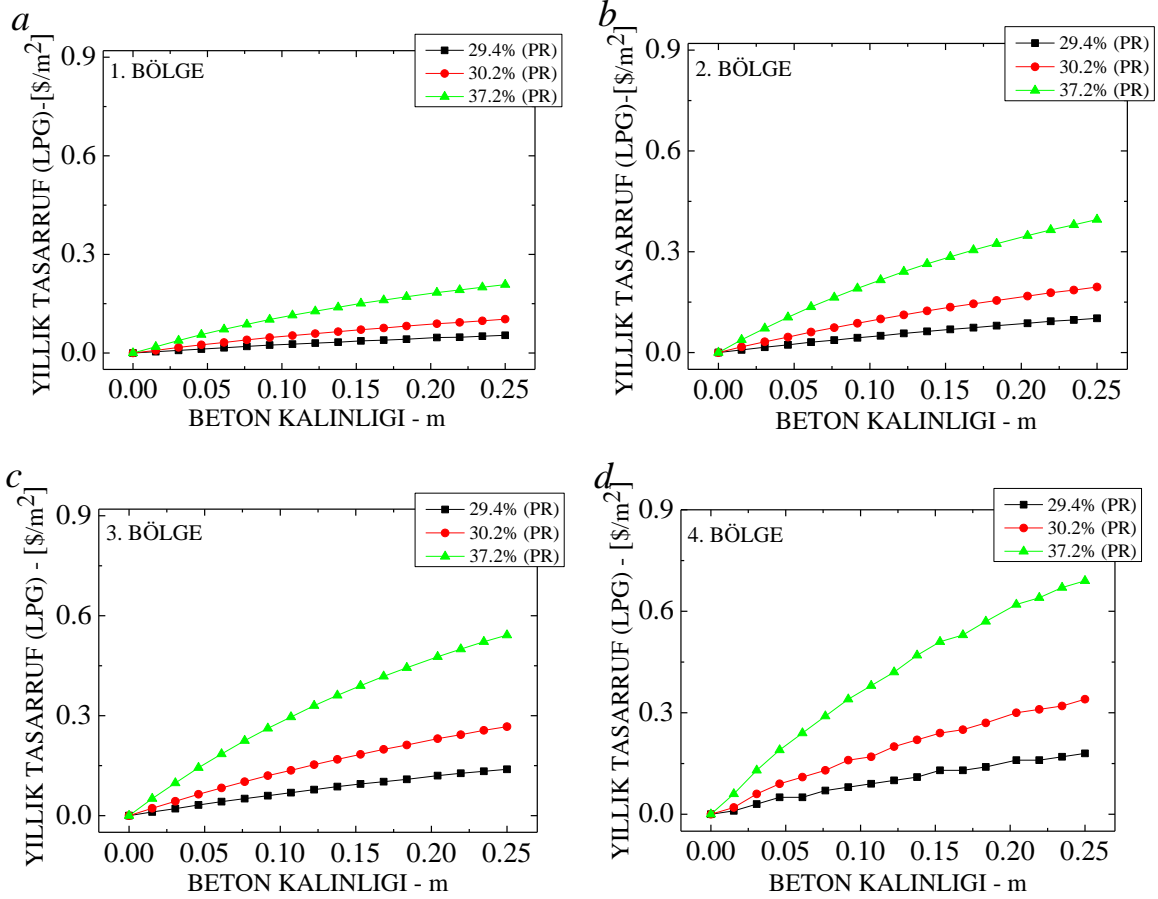


Şekil 3.9 Beton kalınlığına bağlı toplam ısı ihtiyacı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.bölgesi.

3.4 Yapı Malzemesi Olarak Vermikülit Katkılı Beton Kullanılmış Binalarda Maliyet Analizi

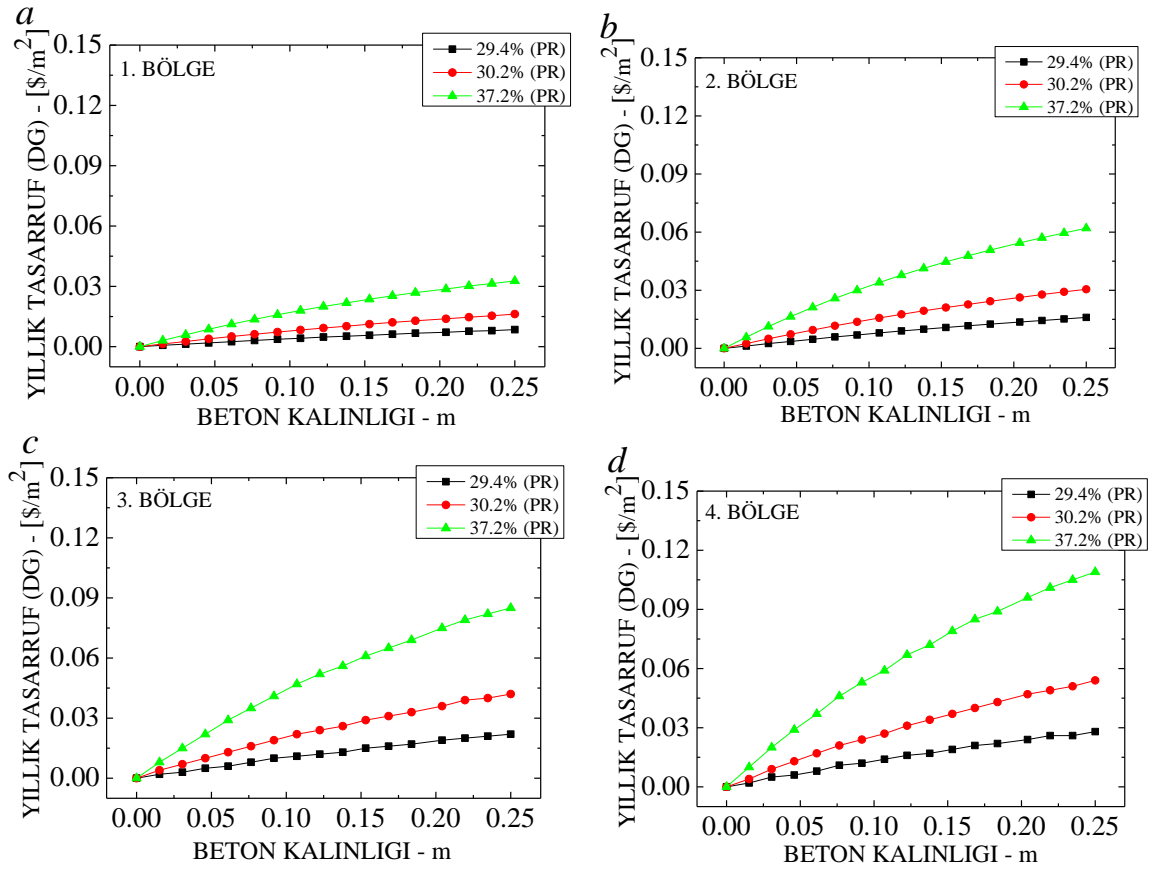


Şekil 3.10 Beton kalınlığına bağlı olarak farklı yakıtlar için yıllık tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi.



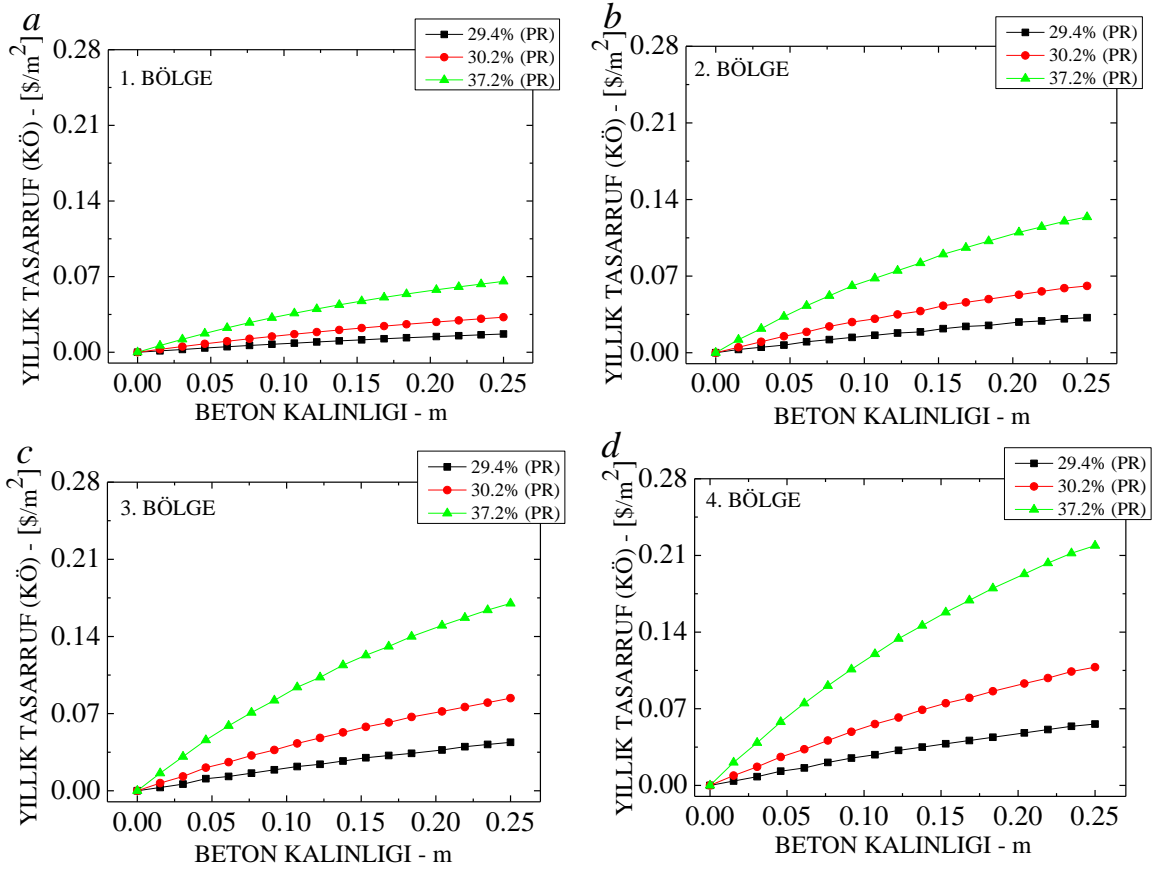
Şekil 3.11 Farklı miktarda vermikülit katkılı betonlar için beton kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı (a) 1.iklim bölgesi, (b) 2.iklim bölgesi, (c) 3.iklim bölgesi ve (d) 4.iklim bölgesi.

Vermikülit katkılı betonların etkisini açıkça görebilmek için dört farklı bölge için LPG, doğal gaz ve kömür yakıtları dikkate alınmıştır. Şekil 3.10'da en çok tasarrufun 4. bölgede olduğu görülmektedir ve tüm bölgelerde en çok tasarruf LPG yakıtında gözlenmiştir. Şekil 3.11'de farklı miktarda vermikülit katkılı betonlar için beton kalınlığına bağlı olarak yıllık LPG tasarruf miktarı gösterilmektedir. Burada en çok tasarruf 4. bölgede (Şekil 3.11d) 0.2041 m beton kalınlığı için, %37.2 gözeneklilik değerine sahip betonda yaklaşık 0.62 \$/m² olarak gözlenmiştir. Aynı beton kalınlığı değerinde sırasıyla 3.bölgede (Şekil 3.11c) 0.48 \$/m², 2.bölgede (Şekil 3.11b) 0.34 \$/m² ve 1.bölgede (Şekil 3.11a) 0.18 \$/m² değerlerinde yıllık tasarrufa ulaşılmıştır.



Şekil 3.12 Beton kalınlığına bağlı olarak farklı miktarda vermikülit katkılı betonlar için yıllık doğalgaz yakıt miktarı tasarrufundaki değişim 1.iklim bölgesi (a), 2.iklim bölgesi (b), 3.iklim bölgesi (c) ve 4.iklim bölgesi (d).

Şekil 3.12’de dört iklim bölgesi için yalıtım kalınlığına bağlı vermikülit katkılı betonlar için yıllık tasarruftaki bir yıllık doğalgaz değişim miktarları gösterilmektedir. Burada bölgeler arasında en çok tasarruf yine 4.bölgede gözlenirken, en az tasarruf 1.bölgede gerçekleşmektedir. %37.2 gözenekliliğe sahip vermikülit katkılı beton için 1.bölgede (Şekil 3.12a) yıllık 0.03 \$/m² tasarruf edilmiştir. 4.bölgede (Şekil 3.12d) ise yıllık 0.1 \$/m²’lik tasarruf gözlenmektedir. Ayrıca 2.bölgede (Şekil 3.12b) 0.05 \$/m² ve 3.bölgede (Şekil 3.12c) 0.08 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.



Şekil 3.13 Beton kalınlığına bağlı olarak yıllık tasarrufta (kömür) değişim (a) 1. iklim bölgesi, b) 2. iklim bölgesi, c) 3. iklim bölgesi, d) 4. iklim bölgesi.

Şekil 3.13'de beton kalınlığına bağlı olarak yıllık kömür tasarrufundaki değişim gösterilmektedir. En çok tasarruf %37.2 gözenekliliğe sahip betonda gözlenmektedir. Sırasıyla, 1.bölgede (Şekil 3.13a) yıllık 0.06 \$/m², 2.bölgede (Şekil 3.13b) 0.11 \$/m², 3.bölgede (Şekil 3.13c) 0.15 \$/m² ve 4.bölgede (Şekil 3.13d) 0.19 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, inşaatta kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve yapı malzemelerinin önemi vurgulanmış ve dört gün bölgesi için enerji ve yakıt maliyeti analizleri yapılmıştır. PMS katkılı poliüretan üretiminde %3'ten daha fazla oranda çalışılabilmesi için, sonraki çalışmalarda PMS'nin yüzey modifikasyonu (yüzeyinin modifiye edilmesi) veya poliüretanla PMS arasında bir uyumlaştırıcı ajan (kimyasal) kullanılarak, bu oranın artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Çalışmanın ana sonuçları şöyle özetlenebilir:

- Her şeyden önce, dünyadaki enerji kayıplarının büyük çoğunluğunun binalardan kaynaklandığı düşünülürse, bu kayıpları azaltmak, dünyadaki enerji için tasarrufu büyük bir adım atmaktır. Bu ancak sağlıklı ısı yalıtımı teknikleri kullanılarak sağlanabilmektedir.
- Isı yalıtımında yalıtım malzemeleri çok önemlidir. Çünkü sağlıklı bir ısı yalıtımı ancak yalıtım ve yapı malzemeleri doğru seçilmişse mümkündür.
- Binalarda faydalı ürünlere atık katılarak yapılan uygun inşaat malzemeleri tercih edilirse, atıklar büyük miktarlarda imha edilebilir. Bu sürdürülebilir bir dünya için harika bir fırsattır. Çünkü yan ürünler başka bir endüstride hammadde olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, selüloz ve organik bileşik olan kağıt fabrikası çamuru, çevre dostu yalıtım malzemeleri için yalıtım malzemesindeki poliüretan miktarını azaltmak ve kağıt atıklarını kullanmak için kullanılmıştır.
- PMS katkısı oranındaki artış, gözeneklilikteki artış ve termal iletimdeki azalma nedeniyle binadaki ısı ihtiyacını azaltmaktadır. Toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma olduğu için yalıtım malzemesinin etkisi dördüncü bölgede daha belirgin hale gelmektedir ve bu sırayı 3, 2 ve 1. takip etmektedir. Ayrıca, PMS eklenen poliüretanlar, dördüncü bölgedeki ısı ihtiyacının belirgin bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır.

- Toplam ısı ihtiyacındaki azalma, yaklaşık 0.03 m'lik yalıtım kalınlığına kadar önemli hale gelir ve daha sonra eğrinin eğimi, özellikle dördüncü bölgede kademeli olarak azalır. Yeni yalıtım malzemesinin kullanılması, birim alan başına binanın toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma sağlamaktadır.
- Standart poliüretan ile %3 PMS ilave poliüretan arasındaki ısı farkı, ilk bölge için yaklaşık 0.0235 m yalıtım kalınlığı için 4.15 kWh/m²'ye ulaşır. Bu kalınlık bu bölgedeki tüm üretilen yalıtım malzemeleri için maksimum iyileşme sağlamaktadır.
- İkinci bölgede, en büyük ısı ihtiyacındaki azalma 0,0245 m kalınlığında gerçekleşir. % 3 PMS katkılı poliüretan için fark 7.78 kWh/m²'ye ulaşmaktadır.
- Poliüretan için 3. ve 4. bölgelerde, 0.0245 m yalıtım kalınlığı, toplam ısı ihtiyacında maksimum azalma sağlar. Isı ihtiyacı azaltma, 3. ve 4. bölgeler için sırasıyla 10.63 kWh/m² ve 13.6 kWh/m² olur. Yüzde olarak en büyük azalma, sırasıyla 3. ve 4. bölgeler için % 13.14 ve % 12.57 ile 0.049 kalınlığında meydana gelmektedir.
- Yüksek enerji tüketimi nedeniyle en yüksek enerji tasarrufu dördüncü iklim bölgesi için ortaya çıkmaktadır. Yakıt olarak LPG kullanılan bir bina, tüm iklim bölgesi için LPG' nin daha yüksek maliyeti nedeniyle daha iyi bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Yıllık tasarruf, 1.bölgede yaklaşık 0.44 \$/m²'ye ulaşırken, bu miktar 4.bölge için yaklaşık 1.456 \$/m²'ye kadar uzanmaktadır.
- Maksimum yıllık tasarruf sırasıyla dördüncü bölgede elektrik ve akaryakıt için 1.033 \$/m² ve 0.97 \$/m² şeklindedir. Kömür için yıllık tasarruf, dördüncü bölgede 0.456\$/m²'ye ulaşmaktadır. En düşük enerji tasarrufu 0.23 \$/m² ile doğalgazdan sağlanmaktadır. En yüksek yıllık tasarruf tüm bölge ve yakıtlar için 0.0245 m yalıtım kalınlığında görünmektedir.
- Sonuçlar, 0.0245 m yalıtım kalınlığının, maksimum enerji tasarrufu nedeniyle optimum yalıtım kalınlığı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

- Birinci iklim bölgesinde bulunan bina, 0.043 cm yalıtım kalınlığında yaklaşık %14.57 ile en büyük maliyet tasarrufunu göstermektedir. Aynı yalıtım kalınlığı için 2., 3. ve 4. bölgeler için yıllık tasarruf sırasıyla %13.58, %13.1 ve %12.6 şeklinde olmaktadır.
- Standart poliüretan malzeme yerine, %3 PMS ilaveli poliüretan malzeme kullanıldığında 0.02449 m yalıtım kalınlığı için, 1.bölgede doğalgaz yakıtında 0.0446 kg.m²/yıl, kömür yakıtında 0.115 kg.m²/yıl, fuel oil yakıtında 0.0739 kg.m²/yıl ve LPG yakıtında 0.041 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. 2.bölgede doğalgaz yakıtında 0.0838 kg.m²/yıl, kömür yakıtında 0.215 kg.m²/yıl, fuel oil yakıtında 0.139 kg.m²/yıl ve LPG yakıtında 0.0769 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. 3.bölgede ise sırasıyla doğalgaz, kömür, fuel oil ve LPG yakıtında 0.01143 kg.m²/yıl, 0.295 kg.m²/yıl, 0.189 kg.m²/yıl ve 0.105 kg.m²/yıl değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. Son olarak 4.bölgede ise sırasıyla doğalgaz, kömür, fuel oil ve LPG yakıtında 0.146 kg.m²/yıl, 0.378 kg.m²/yıl, 0.242 kg.m²/yıl ve 0.135 kg.m²/yıl değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Bu çalışma, kompozit malzeme üretiminde poliüretan kullanımının azaltılmasına ve PMS atıklarının kağıt fabrikası tesislerinde toprak doldurma sorununu çözmek için yeni bir bakış açısı ve yaklaşım sunmaktadır.
- Vermikülit katkısı oranındaki artış, gözeneklilikteki artış ve termal iletimdeki azalma nedeniyle binadaki ısı ihtiyacını azaltmaktadır. Beton kalınlığı arttıkça tüm bölge için toplam ısı ihtiyacı azalmaktadır. Toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma olduğu için yapı malzemesinin etkisi dördüncü bölge durumunda daha belirgin hale gelir ve bu belirginlik sırasıyla 3, 2 ve 1. bölgeler şeklinde devam eder. Ayrıca, vermikülit eklenen betonlar, dördüncü bölgedeki ısı ihtiyacının belirgin bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır.
- Toplam ısı ihtiyacındaki azalma, yaklaşık 0.20 m'lik beton kalınlığı için incelenmiştir ve sonuç olarak yeni yapı malzemesinin kullanılması, birim alan başına binanın toplam ısı ihtiyacında önemli bir azalma sağlamakta olduğunu göstermiştir.

- Isı ihtiyacı farkı, ilk bölgeden dördüncü bölgeye doğru artarken, ısı ihtiyacındaki azalma yüzdesi azalmaktadır. Sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. bölgede yapı malzemesi olarak standart beton yerine %37.2 gözenekliliğe sahip beton kullanılırsa, bir yılda %6.6, %6.1, %5.9 ve %5.6 değerinde toplam ısı ihtiyacında azalma gerçekleşmektedir.
- Beton çalışmasında, LPG yakıtı için en çok tasarruf 4. bölgede 0.2041 m beton kalınlığı için, %37.2 gözeneklilik değerine sahip betonda yaklaşık 0.62 \$/m² olarak gözlenmiştir. Aynı beton kalınlığı değerinde sırasıyla 3.bölgede 0.48 \$/m², 2.bölgede 0.34 \$/m² ve 1.bölgede 0.18 \$/m² değerlerinde yıllık tasarrufa ulaşılmıştır.
- %37.2 gözenekliliğe sahip vermikülit katkılı beton için doğalgaz yakıtında 1.bölgede yıllık 0.03 \$/m², 4.bölgede 0.1 \$/m², 2.bölgede 0.05 \$/m² ve 3.bölgede 0.08 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.
- Kömür yakıtı için %37.2 gözenekliliğe sahip betonda sırasıyla, 1.bölgede yıllık 0.06 \$/m², 2.bölgede 0.11 \$/m², 3.bölgede 0.15 \$/m² ve 4.bölgede 0.19 \$/m² değerlerinde tasarruf meydana gelmiştir.
- Son olarak, binalarda yalıtım malzemesi olarak %3 PMS katkılı poliüretan ve yapı malzemesi olarak ise vermikülit katkılı %37.2 gözenekliliğe sahip beton kullanımı tercih edildiğinde, hem ısı yalıtımına hem de enerji tasarrufuna katkıda bulunulacaktır. Ayrıca atıkların geri dönüşümüne katkıda bulunduğundan, enerji korunumu ve enerji tasarrufuna büyük anlamda katkıda bulunulacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmaruzzaman, M. (2011). Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 166:36–59.

Akdoğan, E., Tarakçılar, A.R., Topcu, M., Yurtseven, R. (2015). The Effects of Aluminium Hydroxide and Magnesium Hydroxide on the Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane Materials. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21:376–380.

Alavi Nikje, M.M, Garmarudi, A.B., Haghshenas, M. (2006). Effect of talc filler on physical properties of polyurethane rigid foams. *Polymer-Plastics Technology Engineering*, 45:1213–1217.

Alsaif, A., Koutas, L., Bernal, S.A., Guadagnini, M., Pilakoutas, K. (2018). Mechanical performance of steel fibre reinforced rubberised concrete for flexible concrete pavements, *Construction and Building Materials*, 172:533-543.

Asan, H. (1998). Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor. *Energy and Buildings*, 28:299–305.

Axaopoulos, P., Panagakis, P., Axaopoulos, I. (2014). Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness of a growing-finishing piggery building. *Energy and Buildings*, 84:403–411.

Bektaş, V., Çerçevik, A.E., Kandemir, S.Y. (2017). Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1:2458-7575, (<http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd>).

Bolattürk, A. (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26:1301–1309.

Cao, V.D., Pilehvar, S., Bringas, C.S. (2017). A.M. Szczotok, J.F. Rodriguez, M. Carmona, N. Al-Manasir, A.L. Kjoniksen, Microencapsulated phase change materials for enhancing the thermal performance of Portland cement concrete and geopolymer concrete for passive building applications. *Energy Conversion and Management*, 133:56–66.

Cengel, Y. (2014). *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. McGraw-Hill Higher Education.

Chen, Y., Athienitis, A.K., Galal, K. (2010). Modeling, design and thermal performance of a BIPV/T system thermally coupled with a ventilated concrete slab in a low energy solar house: Part 1, BIPV/T system and house energy concept. *Solar Energy*, 84:1892–1907.

Cheng, J., Shi, B., Zhou, F., Chen, X. (2014). Effects of inorganic fillers on the flame-retardant and mechanical properties of rigid polyurethane foams. *Journal of Applied Polymer Science*, 131:40253.

Çengel, Y. (2018). Enerji kaynağı olarak enerji verimliliği.

<http://www.yunuscengel.com/enerji-kaynagi-olarak-enerji-verimliliği/> (17.07.2019).

Çomaklı, K., Yüksel, B. (2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 23:473–479.

Daouas, N. (2011). A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. *Applied Energy*, 88:156–164.

Dombayci, Ö.A., Gölcü, M., Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 83:921–928.

Ekinci, C.E., Yıldırım, S.T. (2004). Teras çatılarda su ve ısı yalıtımının önemi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.

Fan, H., Tekeci, A., Suppes, G.J., Hsieh, F.H. (2012). Properties of biobased rigid polyurethane foams reinforced with fillers: microspheres and nanoclay. *International Journal of Polymer Science*, 2012:474803-8.

Gavrilescu, D. (2008). Energy from biomass in pulp and paper mills. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7:537-546 .

Güçlü, A.C. (2015). Lif esaslı yalıtım malzemelerinde ısı geçişinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 95 s.

Hamzeh, Y., Ashori, A., Mirzaei, B. (2011). Effects of waste paper sludge on the physico-mechanical properties of high density polyethylene/wood flour composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 19:120–124.

Huang, H.B., Du, H.H., Wang, W.H., Shi, J.Y. (2012) .Characteristics of paper mill sludge-wood fiber-high-density polyethylene composites. *Polymer Composites*, 33:1628–1634.

İzoder. (2013). *İnşaat Teknolojisi Isı Yalıtımı*. Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcılar Derneği.

İzoder. (2018). *Neden ısı yalıtımı yaptırmalıyız?*. Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcılar Derneği.

Kayfeci, M., Keçebaş, A., Gedik, E. (2013). Determination of optimum insulation thickness of external walls with two different methods in cooling applications. *Applied Thermal Engineering*, 50:217–224.

Kayfeci, M. (2014). Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials. *Energy and Buildings*, 69:278–284.

Khaliq, W., Kodur, V. (2011). Thermal and mechanical properties of fiber reinforced high performance self-consolidating concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 41:1112–1122.

Kurekci, N.A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and Buildings*, 118:197–213.

Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P., Chen, G., Guo, X. (2015). Determination of optimum insulation thickness for building walls with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. *Energy and Buildings*, 109:361–368.

Luo, X., Mohanty, A., Misra, M. (2013). Lignin as a reactive reinforcing filler for water-blown rigid biofoam composites from soy oil-based polyurethane. *Industrial Crops and Products*, 47:13–19.

Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N., Ismail, Masjuki, H.H. (2007). Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy and Buildings*, 39:182–187.

Mohsen, M.S., Akash, B.A. (2001). Some prospects of energy savings in buildings. *Energy Conversion and Management*, 42:1307–1315.

Monte, M.C., Fuente, E., Blanco, A., Negro, C. (2009). Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Manag.*, 29:293–308.

Moran, H. (2018). Farklı derece gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlığının yatırım – tasarruf yöntemine göre hesaplanması ve çevresel etki analizi, Yüksek Lisans Tezi , Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 140 s.

Nazeran, N., Moghaddas, J. (2017). Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 461:1–11.

Nussbaumer, T., Wakili, K.G., Ch., K. (2006). Tanner, Experimental and numerical investigation of the thermal performance of a protected vacuum insulation system applied to a concrete wall, *Applied Energy*, 83:841–855.

Nyers, J., Kajtar, L., Tomić, S., Nyers, A. Investment-savings method for energy-economic optimization of external wall thermal insulation thickness. *Energy and Buildings*, 86:268–274.

Ozel, M. (2014). Effect of insulation location on dynamic heat-transfer characteristics of building external walls and optimization of insulation thickness. *Energy and Buildings*, 72:288–295.

Ozger, O.B., Girardi, F., Giannuzzi, G.M., Salomoni, V.A., Majorana, C.E., Fambri, L., Baldassino, N., Di Maggio, R. (2013). Effect of nylon fibres on mechanical and thermal properties of hardened concrete for energy storage systems. *Materials & Design*, 51:989–997.

Sağlam, B. (2015). Farklı iklim tipleri için sıfır enerjili bina tasarımı, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı, İstanbul, 101 s.

Sapan, M.A. (2017). Erzurum ilinde ısı yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizi, Yüksek Lisans Tezi , Atatürk Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 92 s.

Sezer, F.Ş. (2005). Türkiye’ de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10:2.

Son, J., Kim, H., Lee, P. (2001). Role of paper sludge particle size and extrusion temperature on performance of paper sludge–thermoplastic polymer composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 82:2709–2718.

TÜİK (2019). Konutların aydınlatma ve ısıtma amaçlı yakıt tüketimi. <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> (01.08.2019).

TS 825. (2009). *Binalarda ısı yalıtım kuralları*, Türk Standardı.

URL-1 (2017). <https://www.bursavanaceketi.com/izolasyon/>, Bursa Vana Ceket, İzolasyon, (20.07.2019).

URL-2 (2019). <http://www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/Pages/EnerjiVerimliliği.aspx>, İBB, Şehir aydınlatma ve enerji, (20.07.2019).

URL-3 (2015). http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182_44_51.pdf, İMO, Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri, (25.07.2019).

Uzun, I. (2011). *Yönetmelikler ışığında ısı yalıtımı ve uygulamaları*. Epsder Yayınları, Kırıkkale.

Varlamova, L.P., Cherkasov, V.K., Domrachev, G.A., Ob, A.M., Semenov, N.M., Egorov, N.A., Kaverin, B.S., Kirillov, A.I., Ryabov, S.A., Izvozchikova, V.A. (2010). Physicomechanical properties of polyurethane foam filled with pyrolytic chromium coated aluminosilicate ash microspheres. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 83:492–496.

Yaras, A., Arslanoğlu, H. (2017). Valorization of Paper Mill Sludge as Adsorbent in Adsorption Process of Copper (II) Ion from Synthetic Solution: Kinetic, Isotherm and Thermodynamic Studies. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43:2393–2402.

Yılmaz, B. (2009). Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 126 s.

Yoshida, A., Shoho, S., Kinoshita, S. (2017). Evaluation of reduction effect on thermal load inside and outside of concrete building with wooden decoration by numerical analysis, *Energy Procedia*, 132:435-440.

Yu, J., Tian, L., Yang, C., Xu, X., Wang, J. (2011). Optimum insulation thickness of residential roof with respect to solar-air degree-hours in hot summer and cold winter zone of china. *Energy and Buildings*, 43:2304–2313.

Yumurtacı, Z., Sarıgöl, A. (2011). Santrifüj pompalarda enerji verimliliği ve uygulamaları, Zehra Yumurtacı: Sablon 2011.

Zhang, D., Li, Z., Zhou, J., Wu, K. (2004). Development of thermal energy storage concrete. *Cement and Concrete Research*, 34:927-934.

Zhou, X.Y., Zheng, F., Li, H.G., Lu, C.L. (2010). An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 42:1070–1074.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Kübra KURTOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Yenimahalle / ANKARA 07.01.1993

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. Makine Müh. Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : USTAOĞLU ABİD, KURTOĞLU KÜBRA, GENÇEL OSMAN, ERDOĞMUŞ ERTUĞRUL, GÖK M.SABRİ, Evaluation of Building Energy Performance with Paper Waste Reinforced Clay Brick, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings Book, 02.11.2017 04.11.2017, TOKAT, TÜRKİYE, 2017.

USTAOĞLU ABİD, KURTOĞLU KÜBRA, GENÇEL OSMAN, ERDOĞMUŞ ERTUĞRUL, GÖK M.SABRİ, Effect of Paper Waste Reinforced Clay Bricks on Building Energy Cost, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings Book, 02.11.2017 04.11.2017, TOKAT, TÜRKİYE, 2017.

USTAOĞLU ABİD, KURTOĞLU KÜBRA, YARAŞ ALİ, Evaluation of Energy Performance of PMS added polyurethane in building heat insulation, 4th International Conference on Natural and Engineering Sciences, 09.10.2018 12.10.2018, BODRUM, TÜRKİYE, 2018.

Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar : Hidromek A.Ş.

Mesa İmalat San. Ve Tic. A.Ş.

Çalıştığı Kurumlar : Medika Plus Tıbbi Cihaz ve Medikal Sistemler

İletişim

E-Posta Adresi : kubrakurtoglu.06@gmail.com

Tarih : 06/08/2019 (Tez Savunma Tarihi)