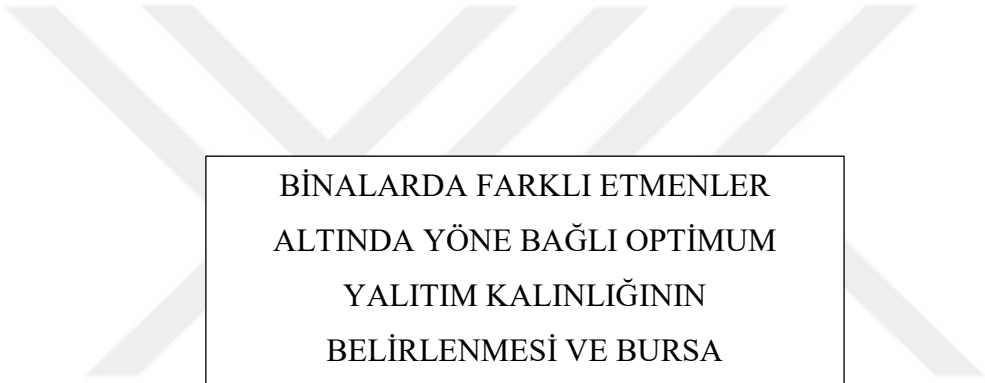




T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

BİNALARDA FARKLI ETMENLER  
ALTINDA YÖNE BAĞLI OPTİMUM  
YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ  
VE BURSA UYGULAMASI  
Erhan ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi



BİNALARDA FARKLI ETMENLER  
ALTINDA YÖNE BAĞLI OPTİMUM  
YALITIM KALINLIĞININ  
BELİRLENMESİ VE BURSA  
UYGULAMASI  
Erhan ARSLAN

## TEZ ONAYI

Erhan Arslan tarafından hazırlanan "Binalarda Farklı Etmenler Altında Yöne Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi ve Bursa Uygulaması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

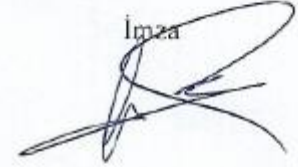
**(Başkan :** Unvanı, Adı ve Soyadı  
Prof. Dr. İrfan Karagöz  
(Danışman)  
  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim  
Dalı

İmza



**Üye :** Unvanı, Adı ve Soyadı  
Prof. Dr. Ömer Kaynaklı  
  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim  
Dalı

İmza



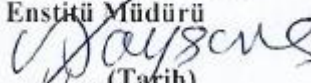
**Üye :** Unvanı, Adı ve Soyadı  
Yrd. Doç. Dr. Furkan Sökmen  
  
BTÜ. Doğa Bilimleri, Mimarlık  
ve Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim  
Dalı

İmza



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali BAYRAM**  
Enstitü Müdürü

  
.....(Tarih)

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**



.../.../2017

İmza

Erhan Arslan

## ÖZET

Yüksek Lisans

### BİNALARDA FARKLI ETMENLER ALTINDA YÖNE BAĞLI OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ VE BURSA UYGULAMASI

**Erhan Arslan**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Termodinamik Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İrfan Karagöz

Son yıllarda alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları elzem hale gelmekte ve bu doğrultuda kullanımı artmaktadır. Bu tür enerji kaynakları kullanılırken elde edilecek enerji tasarrufu da değerlendirilmektedir. Son dönemlerde ülkemizde enerji tasarrufu için yalıtım yasal zorunluluk hale gelmiş ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmadaki ana amaç sıcak bir iklimdeki yapının soğutma gerekliliğine göre optimum yalıtım kalınlığını belirlemektir. Bursa'da yaz dönemi esnasında farklı duvar yönleri değerlendirilmiştir. Tüm duvar yönlerindeki optimum yalıtım kalınlığı için öncelikle toplam solar radyasyon, soğutma iletim yükü ve sonrasında maliyet analizi hesaplanarak bulunmuştur. Bunların yanı sıra bina için gerekli ısı yalıtım malzemelerinin hacimleri, kalınlıkları, ısı iletkenlikleri, ısı iletim dirençleri ve maliyetleri de göz önünde tutulmuştur. Binanın bulunduğu konum değerlendirilerek minimum maliyet ile maksimum verim için hangi yalıtım malzemesinin kullanılacağı, bu yalıtım malzemesinin özelliklerinin ne olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca bir oda içi modellenerek CFD analizi yapılmış; oda içi ısı konfor üzerinde yön ve yalıtım kalınlığının etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı; soğutma iletim yükü; solar radyasyon; maliyet analizi; CFD analizi

**2017**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DETERMINATION OF THE OPTIMUM INSULATION THICKNESS UNDER VARIOUS FACTORS DEPENDING ON THE WALL ORIENTATION FOR A MODEL BUILDING IN BURSA

**Erhan Arslan**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Thermodynamic

**Supervisor:** Prof. Dr. İrfan Karagöz

In recent years, alternative and renewable energy sources have become essential and their use in this direction is increasing. When these energy sources are used, energy saving is also assessed. Recently, insulation has become a legal requirement for energy saving in our country and in this direction some work is being done.

The main objective of this work is to determine the optimum insulation thickness according to the cooling requirement of a building in a hot climate. During the summer period different wall directions has been evaluated in Bursa. For the optimum insulation thickness in all wall directions, firstly total solar radiation, cooling transmission load and then cost analysis are calculated. In addition to these, the volumes, thicknesses, thermal conductivities, heat transfer resistances and costs of the thermal insulation materials are also considered. Depending on the location of the building, insulation material which should be used for minimum cost and maximum efficiency and the required properties of this insulation material have been determined. Also, a room was modeled and CFD analysis was performed. The effects of direction and insulation thickness for thermal comfort in the modeled room were investigated.

**Keywords:** Optimum insulation thickness; cooling transmission load; solar radiation; cost analysis

**2017**

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam süresince çok değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. İrfan Karagöz'e, eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma, hayıtım boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Erhan ARSLAN

.../.../2017



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntem.....	19
4. BULGULAR.....	27
4.1. Güneş Işınımı Hesaplaması.....	27
4.2. Güneş Hava Sıcaklığının Hesaplanması.....	29
4.3. Isı Transfer Katsayısı Hesaplaması.....	34
4.4. Soğutma Gün-Derece Hesabı.....	36
4.5. Soğutma İletim Yüğü Hesabı.....	38
4.6. Duvar Yönüne Bağlı Toplam Maliyet ve Optimum Yalıtım Kalınlığı.....	44
4.7. Modellenmiş Bir Oda İçin ANSYS Programını Kullanarak Çeşitli Faktörlere Bağlı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	51
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	67



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$I_{o,h}$	Atmosfer dışından yatay yüzeye gelen günlük güneş ışınımı değeri
$K_T$	Berraklık indeksi
$N$	Bina yaşı
$C_i$	Birim alan başına yalıtım maliyeti
$R_b$	Çeşitli zamanlarda yatay yüzey üzerindeki solar radyasyon oranı
$\delta$	Deklinasyon açısı
$R_o$	Dış hava film termal direnci
$T_a$	Dış hava sıcaklığı
$\varepsilon\Delta R/h_{o,c}$	Doğrulama faktörü
$C_t$	Duvarın birim alan başına toplam maliyeti
$h_o$	Duvarın dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısı
$h_i$	Duvarın iç yüzeyindeki ısı transfer katsayısı
$C_{el}$	Elektriksel maliyet
$C_{enr}$	Enerji tüketim maliyeti
$g$	Enflasyon oranı
$\phi$	Enlem açısı
$i$	Faiz oranı
$\beta$	Güneş geliş açısı
$T_{sol-air}$	Güneş hava sıcaklığı
$\Delta T D_c$	Güneş hava sıcaklığı ile ortalama taban sıcaklığı arasındaki fark
$G_{sc}$	Güneş sabiti
$\lambda$	Isıl iletkenlik değeri
$R_i$	İç hava film termal direnci
$S/S_o$	İzafi güneşlenme süresi
$CO_2$	Karbondioksit
kWh	Kilowatt saat

MW	Megawatt
Z	Rakım
$\omega_s$	Saat açısı
$N_c$	Soğutma günlerinin toplam sayısı
$\alpha$	Solar emicilik katsayısı
$h_{o,c}$	Taşınım ve ışınlama kombine olmuş ısı transfer katsayısı
$I_T$	Toplam solar radyasyon değeri
$x$	Yalıtım malzemesinin kalınlığı
$k$	Yalıtım malzemesinin termal iletkenliği
$U_{ins}$	Yalıtım olan bir duvar için toplam ısı transfer katsayısı
$U_{un}$	Yalıtım olmayan bir duvar için ısı transfer katsayısı
$R_w$	Yalıtım olmayan kompozit duvar malzemelerinin termal direnci
$R_{ins}$	Yalıtımın termal direnci
$A_s$	Yalıtımlı durumdaki toplam maliyet ile yalıtımsız durumdaki toplam maliyet arasındaki fark
$I_h$	Yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışınlamı
$\rho$	Yerin yansıtma oranı
$kg/m^3$	Yoğunluk

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
EPS	Expanded Polistren
XPS	Extrüde Polistren
CDD	Soğutma Derece Gün
CDH	Soğutma Derece Saat
COP	Soğutma Performans Katsayısı
PWF	Şimdiki Değer Faktörü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. 15 Haziran günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi.....	28
Şekil 4.2. 15 Temmuz günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi.....	28
Şekil 4.3. 15 Ağustos günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi.....	29
Şekil 4.4. 15 Haziran için dış hava sıcaklık değerleri ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	30
Şekil 4.5. 15 Temmuz için dış hava sıcaklık değerleri ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	30
Şekil 4.6. 15 Ağustos için dış hava sıcaklık değerleri ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	31
Şekil 4.7. 15 Haziran günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi.....	32
Şekil 4.8. 15 Temmuz günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi....	33
Şekil 4.9. 15 Ağustos günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi.....	33
Şekil 4.10. EPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü.....	38
Şekil 4.11. XPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü.....	41
Şekil 4.12. Duvar yönüne bağlı yalıtımsız ve 4 cm'lik yalıtımlı duvar için toplam soğutma iletim yükü değerleri.....	42
Şekil 4.13. Yalıtımsız duvar için yöne bağlı temsil edilen bir gün için (her ayın 15'inde) günlük soğutma iletim yükü.....	43
Şekil 4.14. 4 cm'lik XPS ile yalıtılmış duvar için yöne bağlı temsil edilen bir gün için (her ayın 15'inde) günlük soğutma iletim yükü.....	45
Şekil 4.15. Tüm duvar yönleri için yalıtım kalınlığına bağlı toplam maliyet değişimi.	45
Şekil 4.16. Güney yönüne bakan duvar için yalıtım kalınlığıyla maliyetin değişimi.....	47
Şekil 4.17. ANSYS Programında Modellenmiş Bir Oda.....	51
Şekil 4.18. ANSYS Programında Odanın Mesh Yapısı.....	52
Şekil 4.19. Radyasyonsuz durum için sıcaklık dağılımı.....	53
Şekil 4.20. Radyasyonsuz durum için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık dağılımı... 54	
Şekil 4.21. Radyasyonlu durum için sıcaklık dağılımı.....	54
Şekil 4.22. Radyasyonlu durum için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık dağılımı.....	55
Şekil 4.23. Radyasyonsuz durum için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı.....	56
Şekil 4.24. Radyasyonlu durum için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı.....	56
Şekil 4.25. Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık kontürü.....	57
Şekil 4.26. Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık kontürü.....	58
Şekil 4.27. Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık grafiği.....	59
Şekil 4.28. Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık grafiği.....	59
Şekil 4.29. Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı.....	60
Şekil 4.30. Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı.....	61
Şekil 4.31. Konforlu bölge için ortalama hava hızı ve hava sıcaklığı değişimi.....	61
Şekil 4.32. 4 farklı durum için orta düzlemde sıcaklık-mesafe grafiği.....	62
Şekil 4.33. 4 farklı durum için orta düzlemde hız-mesafe grafiği.....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Yaz aylarını temsil eden her gün için a ve b katsayıları ile izafi güneşlenme süresi değerleri.....	27
Çizelge 4.2 15 Haziran günü için güneş hava sıcaklığının zamana ve yöne bağlı değişimi .....	34
Çizelge 4.3. Duvar Malzemeleri ve Duvar Malzemelerinin Özellikleri.....	35
Çizelge 4.4. XPS Malzemesi Kullanılarak Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Isı Transfer Katsayısı Değişimi.....	35
Çizelge 4.5. EPS Malzemesi Kullanılarak Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Isı Transfer Katsayısı Değişimi.....	36
Çizelge 4.6. Yöne bağlı soğutma gün derece değerleri.....	36
Çizelge 4.7. $T_{sol-air}$ ile $T_b$ farkı ( $^{\circ}C$ ) - Güney tarafı.....	37
Çizelge 4.8. EPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü.....	39
Çizelge 4.9. XPS yalıtım malzemesi için duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü değerleri.....	40
Çizelge 4.10. Duvar yönüne bağlı yalıtımsız ve 4 cm'lik yalıtımlı duvar için toplam soğutma iletim yükü değerleri.....	41
Çizelge 4.11. Toplam maliyet için ekonomik parametreler.....	44
Çizelge 4.12. Tüm duvar yönlerinde XPS ile yalıtılmış duvar için yalıtım kalınlığına bağlı toplam maliyet değişimi.....	46
Çizelge 4.13. Tüm duvar yönleri için XPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı ve minimum toplam maliyet değerleri.....	47
Çizelge 4.14. Güney yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri.....	48
Çizelge 4.15. Kuzey yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri.....	49
Çizelge 4.16. Batı yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri.....	49
Çizelge 4.17. Doğu yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri.....	50

## 1. GİRİŞ

Artmakta olan dünya nüfusu, gelişen sanayileşme ve kentleşme, günümüzde enerji tüketimini arttıran faktörlerin başında yer almaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olması ve bu kaynakların kullanılmasının çevre kirliliğine yol açması, dünyada sürdürülebilir ve yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının kullanılmasını gündeme getirmiştir. Gelişmiş ülkeler de bu doğrultuda enerjinin verimli kullanılması, alternatif enerji kaynakları ve enerji tasarrufu ile ilgili olarak çeşitli girişimlerde bulunmuşlardır.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilirliği sağlama isteği, Kyoto Protokolü gereğince CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasının yanı sıra enerjinin daha verimli kullanılması da önemli bir konu haline gelmiştir (Karadağ ve ark. 2009).

Enerji, üretimde zorunlu bir üretim faktörü olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtmakta olan temel göstergelerden biridir. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliğinin artması ve mevcut enerji için yüksek meblağların ödenmesi enerjinin verimli kullanılmasını gerekli kılar (Koç ve Şenel 2013).

Var olan enerji kaynaklarının sınırlılığı ve enerji tüketiminin bir sonucu olan çevre kirliliği, enerji korunumunu mecbur hale getirmiştir. Enerji korunumu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir (Kaynaklı ve ark. 2012). Bu doğrultuda enerji tüketiminin sektörel dağılımına bakıldığında yaklaşık %26'lık dilimlere konutlar ve çevrim sektörünün (elektrik üretimi) sahip olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi alınacak önlemler veya yapılacak uygulamalarla bu oran daha aşağıya bir seviyeye çekilerek bu durumun önüne geçilebilir (Anonim, 2015).

Türkiye'nin enerji kaynağı bakımından çok zengin olmadığı bir gerçektir. Enerji ihtiyacının %60-65'lik bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir (Kaynaklı ve ark. 2012). Aynı zamanda Türkiye, dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından birine sahiptir. Yıllık enerji talebindeki büyüme oranı 1995 yılına kadar % 6,6 iken 2005 ile 2015 arasında %8,5 öngörülmüştür. 2004 yılında 150 milyar kWh'ye yükselen enerji tüketiminin 2020 yılına kadar 499 milyar kWh olması beklenmektedir. 2005 yılında yaklaşık 38 500 MW'den 2020'ye kadar, yaklaşık 3 kat artan bir kurulum kapasitesi gerekmektedir (Ucar ve Balo, 2009).

Enerji tüketimi, uzun yıllar ülkemizin en önemli sorunlarının başında gelmiştir. Çevre dostu veya yeşil enerji türleri olarak tabir edilebilecek enerji kaynakları geleceğin enerji kaynaklarıdır. Buna göre; eski, zayıf ve verimsiz enerji teknolojileri gerekli görülmemeli ve kullanılmamalı, bunun yerine maliyet düşürücü teknolojiler değerlendirilmelidir.

Birçok ülkedeki toplam enerji tüketiminin önemli bir parçası özellikle konut sektöründeki enerji ihtiyacıdır. Örneğin Türkiye'de konut sektörü, 2001'de 25 793 milyon ton eşdeğer enerji ile en geniş ikinci enerji tüketimine sahipti; bu oranın 2020'de yaklaşık 42 milyon tona çıkması tahmin edilmektedir. Bu yeni binalar ve apartmanlar için talep edilen artışın nihai sonucudur. Konut sektöründeki enerji tüketiminin diğer bir sebebi de çarpık kentleşme ve bina inşaatı faaliyetlerinden dolayı bazı binalarda yetersiz enerji koruma önlemleriyle ilişkili olduğudur (Fertelli, 2013).

Yukarıdaki veriler dikkate alındığında binalardaki enerji kullanımını azaltılmasının enerji tasarrufu ve çevre korunumu için önemli bir tedbir olduğu açıktır.

Enerji tüketimimizin %82'si ısıtma için kullanılmaktadır. Isı yalıtım önlemlerinin alınması ile bu kayıplar azaltılabilir (İbanoğlu ve ark. 2014). Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim miktarları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkin bir biçimde kullanılması çok önemlidir. Günümüzde binalardaki enerji tasarrufunun en önemli

bölümünü ısı enerjisi tasarrufu oluşturmaktadır. Binaların yalıtımı ile %25 den %50'ye varan yakıt tasarrufunun sağlanması mümkündür (İbanoğlu ve ark. 2014). Yapıların ısıtılmasında kullanılan yakıt miktarının azaltılmasını da amaçlayan ısı enerjisi tasarrufu, ancak doğru uygulanmış bir ısı yalıtımı ile sağlanabilmektedir (Kaynaklı ve ark. 2012).

Mevsim şartlarına göre binayı ısıtmak veya soğutmak için sağlanan soğuk ya da sıcak havanın dışarıya kaçmasını/girmesini önleyerek ısı ekonomisi ve ısı konfor sağlamak amacıyla yapılan sistemlere ısı yalıtımı denir (Yılmaz, 2012). Dolayısıyla uygun yapıldığı takdirde ülke için hem ekonomik hem de insan sağlığı açısından önemlidir.

Bir yapının, yapılış amacına uygun olarak, kullanıcılarına hizmet vermesi ve değerini yıllarca koruyabilmesi, ancak iç ve dış olumsuz etkenlere karşı iyi korunmuş olmasına bağlıdır (Aydın, 2010). Yapıların iç ve dış faktörlerden korunabilmesi de yalıtım yapıp yapılmamış olmasıyla ilgilidir (Aydın, 2010). Yalıtım; binayı, taşıyıcı sistemi ve yapı bileşenleri ile birlikte, tüm bu iç ve dış faktörlerden korumayı, sağlıklı ve konforlu mekânlar oluşturmayı hedefler. Yalıtım, hem yapıyı hem de kullanıcıları korumaya yönelik önlemleri içerir ve yalıtımın amacı yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak ve kullanıcı için sağlıklı, huzurlu, rahat kullanabileceği mekânlar oluşturmaktır (Aydın, 2010).

Yapılan araştırmalar; Türkiye'deki tüm konutların yönetmeliklere uygun olarak yalıtılması durumunda, ülkemizin yılda yaklaşık 3 milyar dolar tasarruf sağlayabileceğini göstermektedir (Dağsöz ve ark. 1999).

Bu durumlar dikkate alınarak çeşitli yalıtım sistemleri uygulanmıştır. Bunlar; içeriden ve dışarıdan ve sandviç yalıtımlı olarak pratik edilmiş ve bu yalıtım türleri arasındaki fark incelenmiştir. İnceleme yapılırken yalıtım maliyeti ve enerji maliyeti dikkate alınmıştır (Sezer, 2005).

Avrupa ve Amerika’da yaygın bir şekilde kullanılmakta olan dışarıdan yalıtım sistemi; Türkiye’de son birkaç yıldır daha sık uygulanmaya başlanmıştır. Dışarıdan yapılan yalıtım, yapı fiziği yönünden en uygun sistem olarak kabul edilmektedir. Bu sistemde yalıtım binayı bir manto gibi sarmakta, ısı köprüsü oluşturmamaktadır. Böylece sıcaklık değişimlerinden meydana gelecek gerilme ve çatlaklar önlenmekte, havalandırma sayesinde konstrüksiyonun sürekli kuru kalması sağlanmaktadır (Sezer, 2005).

Dışarıdan yalıtım sistemi, yeni yapılara uygulanabileceği gibi, mevcut binalara da kolayca uygulanabilmektedir; kullanılmakta olan binalarda, uygulama sırasında tüm işlemler bina dışında gerçekleşmekte ve bunun için de tüm cepheye bir iskele kurulması gerekmektedir (Sezer, 2005). Genel olarak, bina yüksekliği arttıkça dış duvarlardan gerçekleşen ısı kayıp oranlarının da arttığı görülmektedir (Sezer, 2005). Son yıllarda diğer binalarda olduğu gibi konutların da bina yükseklikleri göz önüne alındığında, dış duvarlara ısı yalıtımı uygulanması gereği bir defa daha anlaşılmaktadır (Sezer, 2005).

Dışarıdan yalıtım sisteminin maliyeti diğer sistemlere göre daha yüksek olmasına rağmen, konut gibi uzun süreli kullanılan mekânlar için en uygun sistemdir. Yeni yapılara uygulanabileceği gibi, mevcut binalara da kolayca uygulanabilmektedir. Duvarlara dıştan ısı yalıtım uygulanması ile binanın bakım ve onarım masrafları azalmakta, bina ömrü uzamaktadır (Sezer, 2005).

Türkiye’de yalıtım uygulamaları ile ilgili yönetmelikler incelendiğinde; ilk olarak 1970 yılında TSE tarafından “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’nın hazırlanmış olduğu görülmektedir. Ancak o dönemde bu yönetmeliğin uygulanması konusunda bir zorunluluk getirilmemiştir. 1977 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca çıkarılan “Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği” ile bu konuda önemli bir adım atılmıştır. 30.10.1981 tarihinde “Isı Yalıtım Yönetmeliği” yürürlüğe konmuş ve 16.01.1985 tarihinde üzerinde çeşitli değişiklikler yapılmıştır. 1995 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nca “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” revize çalışmalarına başlanmış,



29.04.1998 yılında TS Teknik Kurulu'nca onaylanarak yürürlüğe girmiştir (Karagöz, 2004). TS 825 standardı 14.06.1999 gün ve 23725 sayılı resmi gazetede yayınlanmış, 14.06.2000 tarihinden itibaren de zorunlu standart olarak, yeni yapılacak binalarda uygulanmaya başlamıştır. Bu tarihten itibaren mevcut binalarda herhangi bir yasal uygulamaya gidilmemiş, ancak uygulanan tüm yapıların ısı yalıtım proje hesaplarında bu standarttaki kurallara uyulması zorunlu hale getirilmiştir. AB sürecini yaşadığımız şu günlerde bunun önemli bir gelişme olduğunu söylemek mümkündür. TS 825; binaların alan ve hacim oranlarına göre ısıtma harcamalarına yeni sınırlar getirmiştir (Anonim 1999).

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi, bünyesinde yalıtım malzemesi barındırıp birden fazla tabakadan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedirler. Yalıtım malzemeleri seçilirken su, ısı ve yangına karşı korunumları değerlendirilir. Her yerde kullanılacak tek bir ısı yalıtım malzemesi yoktur. Kullanım yerinin özelliklerine göre seçim yapmak gerekir (Sezer, 2005).

Isı yalıtım malzemesi, Türk standartları TS 825 ve Alman DIN normu 4108'e göre sentetik kökenli extrude polistren, poliüretan, fenol köpüğü, mineral kökenli cam köpüğü, taş yünü ve bitkisel-hayvansal kökenli pamuk keçeleri, oluklu mukavvalar gibi ısı iletkenlik değeri ( $\lambda$ ) 0.060 W/mK değerinin altında olan malzemelere denir (Yılmaz, 2012). Yalıtımda kullanılan her malzemenin standartlara uygun olması, kullanılan detaya göre malzeme seçimi, bina sağlığı ve yalıtımın performansı açısından büyük önem taşımaktadır (Yılmaz, 2012).

Isı yalıtım malzemeleri üretim yöntemine ve malzemelerine göre farklı özellikler göstermektedir. En çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri taş yünü, XPS, EPS ve neopordur. Taş yününün yoğunluğu; 30 - 200 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Kullanım sıcaklığı ise -50/+750 °C arasında olup A sınıfı yanmaz bir üründür. Isı iletkenliği, 0,03-0,05 W/mK arasındadır ve güneşten gelen mor ötesi ışınlar karşı dirençlidir. Ekstürüde Polistiren Köpüğü (XPS), yoğunluğu 25 kg/m<sup>3</sup>'ten büyüktür ve kullanım sıcaklığı -50/+80 °C

arasındadır. Yangın sınıfı B1 (zor alev alan malzeme DİN 4102), ısı iletkenlik değeri 0,03-0,04 W/mK, Ekspanded Polistiren Köpüğü (EPS), levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 15 kg/m<sup>3</sup> olması gereklidir. Kullanım sıcaklığı -50/+80°C aralığındadır. Yangın sınıfı B1, ısı iletkenlik katsayısı 0.035 - 0.04 W/mK.'dir. Neopor, levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 15 kg/m<sup>3</sup> olması gereklidir. Kullanım sıcaklığı -50/+80°C, yangına tepki sınıfı B1, ısı iletkenlik katsayısı 0,031 - 0,04 W/mK.'dir. Aynı zamanda Neopor malzemesi güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır (Yılmazoğlu, 2011).

Isı yalıtımında XPS kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Enerji tasarrufu sağlar. Çevre kirliliğini önler.
- XPS ürünleri diğer plastiklerle karıştırılmadan geri dönüşümde kullanılabilirler.
- Donma-çözülme döngüsünden etkilenmez.
- Su emmediği için uygulama sırasındaki işçilik hatalarından olumsuz etkilenmez.
- Yüksek ısı yalıtım performansı sayesinde bina kabuğunu sıcak tutarak ısısal konfor sağlar.
- Her çeşit kesici aletle kesilebilir, ufalanmaz, fire vermez.
- Her türlü hava şartında uygulanabilir.
- Hafiftir ve kolay işlenebilir. Kolayca sökülebildiğinden uygulama sonrası kolaylık sağlar.
- Isı iletkenlik katsayısı diğer ısı yalıtım malzemelerine göre düşüktür. Bu sebeple diğer yalıtım malzemelerinden daha az kalınlıkta uygulanabilir (Yılmaz, 2012).

EPS Yalıtım Levhalarının Özellikleri;

- Yüksek ısı yalıtımı sağlar. Yoğunluğu arttıkça ısı iletkenliği azalır. EPS'nin ısı iletkenliği düşük olduğu gibi, sabittir; şişirici gaza ve zamana bağlı olarak değişmez.

- Basınca dayanıklıdır. Yoğunluk arttıkça basınç dayanımı artar. Kırılgan değildir. Isı yalıtım malzemesi olarak yüksek bir eğilme dayanımı vardır.
- Kapalı gözenekli olduğu için pratik olarak ıslanmaz, yalıtımı sürekli yapar. Kapiler su geçirimsizliği yoktur ve higroskopik değildir.
- Kalınlığı zamanla incelmez, sabit kalır.
- Çok hafiftir, kolay taşınır, kolay uygulanır.
- Ekonomik yalıtım malzemesidir. Aynı ısıl performansı daha düşük maliyetle sunar.
- Çevre dostu bir malzemedir. İçinde ozon tabakasına zarar verici CFC (Kloroflorokarbon)'lar ve türevleri (HCFC'ler) yoktur. İklim değişikliklerine sebep olmaz. Geri dönüşümlü (Recycle) bir malzeme olup, üretim sonrası çevreyi kirletecek atık oluşturmaz.
- Sonsuz ömürlüdür. Bina durdukça yalıtım görevine ilk günkü performansı ile devam eder.
- Özel üretilmiş EPS, düşük dinamik rijitliği ve esnekliği ile ses yalıtımında da başarılıdır (Yılmaz, 2012).

Binalardaki uygun ısı yalıtımı, soğutma ve ısıtma için ısı akış hızının ve enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yalıtım malzemesinin seçilirken yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği ve fiyatı göz önünde bulundurulur. Isı iletkenliği ve fiyat ne kadar düşükse, yalıtım malzemesinin ekonomik verimliliği de o kadar yüksektir (Yılmazoğlu, 2011).

Bu çalışmada da yukarıdaki termofiziksel özellikler dikkate alınarak; ısı iletim katsayıları düşük olduğundan bununla birlikte yanmaya karşı dirençli olup kullanım sıcaklığı olarak da hem 0'ın altındaki sıcaklıklarda hem de yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan polistiren köpükler (XPS ve EPS malzemeleri) kullanılmıştır.

Bu çalışmadaki ana amaç sıcak bir iklimdeki yapının soğutma gerekliliğine göre dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığını belirlemektir. Mevcut çalışma için

örnek olarak Bursa ili ele alınmış ve yaz dönemi süresince farklı duvar yönleri (güney, kuzey, doğu, batı) hesaba katılmıştır.

Binalar için uygulanmış mevcut çalışmaların birçoğunda enerji tasarrufu potansiyeli nedeniyle soğutma uygulamaları için optimum yalıtım kalınlığına odaklanılmıştır. Tüm bu çalışmalarda, ısı yalıtımı enerji tasarrufu için bir gereklilik olduğunu vurgulanmıştır (Ozel ve Pihtili, 2006).

Optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesinin maliyetine ve enerji maliyetine, bunun yanı sıra soğutma ve ısıtma yüklerine, ısıtma sisteminin verimi, soğutma performans katsayısı yani COP'sine, binanın yaşına ve mevcut enflasyon ile faiz oranlarına bağlıdır (Ozel ve Pihtili, 2006). Optimum yalıtım kalınlığı, binanın ömrüne bağlı olarak enerji tüketim maliyeti ve yalıtım malzemesini dâhil ederek hesaplanan minimum toplam maliyeti sağlayan değerdir (Yılmazoğlu, 2011).

Yalıtım kalınlığı arttıkça soğutma ve ısıtma için enerji tüketimi düşer, bununla birlikte yalıtıma yönelik yatırımda da sürekli artış meydana gelir. Dolayısıyla bu noktada yalıtım ve enerji tüketimi için toplam yatırım maliyetinin minimuma inebildiği optimum bir nokta olmalıdır (Yılmazoğlu, 2011).

Optimum yalıtım kalınlığını etkileyen bir diğer önemli faktör binanın maruz kaldığı güneş radyasyon enerjisidir. Solar radyasyon, çevresel yüzey ve havayla değişen ışınlam ile solar radyasyonun kombinasyonu olan, bir yüzey için benzer ısı akış oranını veren eş değer dış hava sıcaklığı olarak tanımlanmış solar hava sıcaklığıyla hesaplanabilir (Yılmazoğlu, 2011).

Binaların ısıtma ve soğutma yükleri, çevre kirliliğinin yanı sıra enerjinin iletimi ve kullanımını üzerinde de önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda binaların iklim

değişikliğinin durdurulmasına ve enerji kullanımının azaltılmasına katkıda bulunabilmesi için ısıtma ve soğutma yükünü azaltmak amaçlanmıştır.

Yıllık ısıtma ve soğutma iletim yükleri, optimum yalıtım kalınlığının analizinde gerekli olan ana girdilerdir. Birçok araştırmada, binaların ısıtma ve soğutma gereksinimlerini derece-gün metoduyla tahmin edildiği görülmektedir (Kaynaklı, 2007). ASHRAE tarafından oluşturulan el kitaplarını kullanarak binaların ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Ancak yaz mevsimi süresince yalıtım kullanılarak binalarda ısı transferini azaltma durumu önemli ölçüde analiz edilmemiştir (Yılmazoğlu, 2011).

Yıllık soğutma ve ısıtma yükleri farklı iklim bölgelerine göre değişir. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında ısıtma veya soğutma yüküne dayalı olup olmayacağını önceden belirlenmiş olmalıdır. Ülkenin bazı bölgelerinde (özellikle birinci bölgede) son derece sıcak hava nedeniyle, elektrik tüketiminin çoğu klima yüklerine gitmektedir. Bu nedenle, elektrik enerjisinin korunması için en etkili yol, klima yüklerini azaltmaktır. Bu da tasarım safhasında binada ısı yalıtımı kullanılarak başarılabılır (Kaynaklı, 2007).

Literatürde, optimum yalıtım kalınlığının saptanmasına ilişkin birçok çalışma olmasına rağmen, binanın geçici termal davranışı ve güneş radyasyonunu göz önüne alan dinamik modeller kullanılarak elde edilen bu çalışmalar, sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu amaçla, yıllık soğutma iletim yükü, sabit periyodik şartlar altında farklı duvar yönlerini dikkate alarak hesaplanmaktadır (Sisman ve ark. 2007).

Derece-zaman kavramı; enerji üretimi, enerji ihtiyacı tüketiminin tahmininde, bitki büyümesi ve tarım gibi birçok uygulamada kullanılır. Ayrıca, ısıtma ihtiyaçlarındaki değişim de taban ve dış sıcaklıkları kullanılarak derece-zaman yöntemleriyle ölçülebilir. Bina sıcaklığında enerji tüketimini tahmin etmek için derece zaman metodu en uygun

yöntemlerden biridir (Kaynaklı, 2007). Derece-zaman yönteminin uygulamaları birçok çalışmada optimum yalıtım kalınlığı ile birlikte yürütülmüştür (Kaynaklı, 2007).

Soğutma iletim yükleri bulunurken derece-gün ve derece-saat değerleriyle birlikte ısı transfer katsayısı değerleri de hesaba katılmıştır. Kullanılan malzemeler XPS ve EPS olduğu için ısı iletim katsayıları ve dolayısıyla ısıl dirençleri farklıdır. Bu farklılığın olması otomatik olarak ısı transfer katsayılarını da etkiler. Her iki malzemenin bu değişkenlere bağlı olarak soğutma iletim yüklerinin de farklı olduğu söylenebilir.

Bu çalışmanın kapsamına bakıldığında, her yaz ayı için o ayı temsil edecek bir gün tercih edildiği görülebilir. Temsil edilen günlerin 24 saatlik süresi boyunca maruz kaldığı (dikey, yatay yönlerde) solar radyasyon analitik olarak hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken yöne bağlı güneş geliş açısının, Bursa'nın bulunduğu konuma ve binada bulunan duvarın yönlerine bağlı olarak ne şekilde değiştiği görülmüştür. Duvar yönüne etki eden güneş geliş açısının, deklinasyon açısı, saat açısı, enlem açısı ve yüzey azimut açısıyla farklı değerler aldığı hesaba katılarak değerlendirme yapılmıştır. Çeşitli zamanlarda yatay düzlem üzerinde ışınlam oranı olan geometrik faktörün duvar yönüne bağlı olarak nasıl değiştiği de belirlenmiştir. Solar emicilik katsayısı ve doğrulama faktörü değerleri ise literatürdeki değerlere göre bulunmuştur.

Literatürde ısıl yalıtım kalınlığının optimizasyonu üzerine birçok çalışma vardır. Bu çalışmaların bazılarında yöne bağlı değerlendirme yapılmamış; bazı çalışmalarda ise sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada derece-gün ve derece-saat metodu kullanılarak farklı yalıtım kalınlıkları için ısı transfer katsayıları ve buna bağlı olarak soğutma iletim yükleri (yıllık ve aylık olarak) hesaplanmıştır (Daouas, 2010).

Optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili çalışmalar yalnızca ısıtma yükleri, yalnızca soğutma yükleri ve hem ısıtma hem de soğutma yüklerine dayalı yapılmıştır (Ozel 2008, Mahlia ve Iqbal 2010). Bu çalışmaların çoğu, statik koşullar altında iletim yüklerini tahmin etmek

için basit ve kaba bir model olan dereceli gün (veya derece-saat) kavramını kullanırken diğerleri, oldukça doğru sonuçlar elde etmek için sayısal ve analitik yöntemlere dayanan dinamik geçici modeller kullanmaktadır (Ozel, 2012).

Isıtma gereksinimi açısından binanın soğutma ihtiyacının hâkim olduğu bölgelerde etkili ısı yalıtımı sağlanması, enerji ekonomisi açısından çok önemlidir (Ozel, 2012). Mevcut çalışmada da dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının yöne bağlı olarak optimum değerlerin bulunması hedeflendiği için yukarıdakilere ek olarak enerji ve yalıtım maliyeti bulunmuştur. Faiz ve enflasyon oranına bağlı olarak şimdiki değer faktörü hesaplanmış; bina içerisinde yakıt maliyeti de değerlendirilerek bu maliyet değerlerine göre toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ekseninden optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bina yüzeylerinden ısı transferini azaltmak için binalarda yalıtım malzemelerinin kullanımını yıllardır pratik edilmektedir. Sınırlı enerji kaynaklarına olan farkındalık ve enerji korunumu üzerine son yıllardaki kaygılar ısı yalıtım sorununun tekrar gözden geçirilmesine yol açmıştır. Odaklanılan çalışmaların birçoğu yalıtım kalınlığı üzerine olmuştur. Bazı çalışmalarda ise uygun yalıtım malzeme seçimi üzerinde durulmuştur. Ancak neredeyse çalışmaların hepsinde ısı yalıtımının enerji tasarrufu için gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Afif Hasan (1999) çalışmasında optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için sistematik bir yaklaşımda bulunulmuştur. Yalıtılmış binaların yaşam döngüsü tasarrufları 10 yıllık bir bina düşünülerek Filistin'deki iki şehir hesaplamalar yapılmıştır. En yüksek değerin 22 \$/m<sup>2</sup> ile taş yünü ve polisitren yalıtım malzemeleri için mümkün olduğu görülmüştür. Optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için derece-gün sayısı ve duvarın termal direnci bir fonksiyon olarak belirlenmiştir. Farklı duvar yapılarına göre optimum yalıtım kalınlıkları bulunmuştur. En düşük optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin termal direnci yüksek olan duvar tipinde, polisitren yalıtım malzemesi kullanıldığında Gaza ili için 0,02 m ve West Bank içinse 0,046 m olduğu bulunmuştur. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin termal direnci düşük olan duvar tipinde, polisitren yalıtım malzemesi kullanıldığında Gaza ili için 0,043 m ve West Bank içinse 0,056 m olduğu bulunmuştur.

Al-Senea (2002), sıcak ve kuru iklime sahip bir bölge için optimum yalıtım kalınlığını bulmada meteorolojik verilerden faydalanmıştır. Yalıtım malzemelerinin termal özellikleri ve maliyetleri birbirinden farklı olduğundan optimum yalıtım kalınlığı ve toplam maliyet farklı yalıtım malzemeleri için farklı olacağı tespit edilmiştir. 6 farklı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının, enflasyon oranı, bina yaşı ve elektrik maliyetiyle arttığını; faiz oranı, soğutma performans katsayısı ve yalıtım malzemesinin maliyetinin artışıyla azaldığı bulunmuştur. Güneye bakan duvarın batıya kıyasla 5% farkla en az yalıtım kalınlığına ve en düşük toplam maliyete sahip olduğu



tespit edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığının batıya bakan duvar için en düşük poliüretanda (3,9 cm) en yüksek ise 9,3 cm ile kalıplanmış polistrende olduğu bulunmuştur.

Çomaklı ve Yüksel (2002) çalışmalarında enerji tasarrufu için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Erzurum, Erzincan, Kars gibi Türkiye'nin en soğuk bölgeleri ele alınmıştır. Yalıtım yapıldığında gözle görülebilir enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. En yüksek değer  $m^2$  başına 12,113 \$ ile Erzurum'da olduğu görülmüştür. Yakıt olarak kömür kullanılmış bina yaşı 10 yıl olarak düşünülmüştür. Yalıtım kalınlığı artarken ısı kaybının azaldığı ve ısı kaybı azaldıkça da yakıt maliyetinin arttığı çıkarımı yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı 0,1 cm ile 0,085 cm arasında değişmiştir. Geri ödeme süresi ise ortalama 1,5 yıldır.

Al-Khawaja (2004) çalışmasında, sıcak ülkelerdeki binalarda ısı akış oranını düşürmek amacıyla kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin optimum izolasyon kalınlığını saptamak için hesaplamalar yapılmıştır. Isı akış oranını belirlemek için güneş-hava sıcaklığı ve solar radyasyon hesaplanmıştır. Isı akış oranının düşürülmesinin elektriksel maliyeti azaltabileceği ve Katar'da kullanılan tipik evler için fiberglas ve polietilen yerine wallmate yalıtım malzemesinin en iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Al-Sanea ve ark. (2005) çalışmalarında dinamik ısı transfer modeliyle binalarda optimum yalıtım kalınlığı üzerine elektriksel tarifenin etkisi incelemiştir. Suudi Arabistan'daki beton blokla inşa edilmiş binalarda hava boşlukları ve en iç kısımda ise yalıtım malzemesi kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Yalıtım malzemesi maliyeti, yalıtım tipi ve iklim koşulları dikkate alınmaksızın optimum yalıtım kalınlığının 2,5 ile 7,5 cm arasında değiştiği görülmüştür. Nümerik bir model kullanılarak sabit periyodik koşullarda tipik duvarlar için yıllık ısıtma ve soğutma iletim yükleri hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığını belirlemek amacıyla iletim yükleri batıya bakan duvar için bir şehrin iklim koşulları dikkate alınmıştır. Ortalama enerji tüketimine göre farklı elektrik tarifeleri göz önünde bulundurulmuştur. Yalıtım malzemesi olarak kalıplanmış polistren kullanılmıştır. En düşük enerji tüketiminden en yüksek enerji tüketimine bağlı olarak optimum yalıtım

kalınlıklarının 4,8 ile 16 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Beklendiği gibi elektrik tarifesindeki oran artıka yalıtım kalınlığında da artışın meydana geldiği söylenbilir.

Dombaycı ve ark. (2007) alışmalarında farklı enerji kaynakları kullanarak dış duvar için optimum yalıtım kalınlığı değerleri bulmuşlardır. 5 farklı enerji kaynağı (kömür, doğal gaz, LPG, elektrik ve akaryakıt) ve 2 çeşit yalıtım malzemesi (EPS ve taş yn) kullanılmış ve Denizli ili için 10 yıllık bir bina baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Enerji kaynağı olarak kömür ve yalıtım malzemesi olaraksa EPS'nin kullanıldığı durumlar için optimum değerler bulunmuştur. Bu değer de 0,095 cm'ye tekabül etmektedir.

Bolattürk (2007), Türkiye'nin sıcak bölgelerinde bina duvarları için optimum yalıtım kalınlığını belirlemede, enerji tasarrufunu sağlamak için soğutma derece saat metodunun ısıtma derece saat metodundan daha önemli olduğunu ve maksimum enerji tasarrufu için optimum yalıtım kalınlığının soğutma yüküne bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yalıtım kalınlığındaki artışının iletim yüklerinde azalma meydana getirdiği de bulunmuştur. Binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını belirlerken, yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayalı olarak karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Buna göre soğutma derece-saate dayalı olarak optimum yalıtım kalınlığının 3,2 ile 3,8 cm arasında değiştiği en yüksek Adana'da en düşük Antalya ve İzmir'de olduğu bulunmuştur. Isıtma yükü için ise bu değerlerin 1,6 ile 2,7 cm arasında değerler aldığı belirtilmiştir.

Sisman ve ark. (2007) alışmalarında Türkiye'nin farklı derece-gün bölgeleri için çatı ve dış duvarda optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Duvar yönüne bağlı değerlendirme yapılmamıştır. TS-825 standartları göz önünde bulundurularak İzmir, Eskişehir, Bursa ve Erzurum illerinde 10 yıllık bina için değerlendirme yapılmıştır. Duvarlar için en düşük optimum yalıtım kalınlığı İzmir ilinde 0,033 m olurken en yüksek yalıtım kalınlığı ise Erzurum'da 0,08 m değerindedir. atı için ise en düşük optimum yalıtım kalınlığı İzmir'de; 0,02 m iken ve en yüksek Erzurum'da 0,065 m'dir.

Jinghua ve ark. (2009), çalışmalarında Çin'in soğuk ve sıcak bölgeleri için 5 farklı yalıtım malzemesi kullanarak 4 ayrı şehir için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığı üzerine bina yüzeyindeki rengin bir şehirden diğerine farklılık gösterdiğini; koyu yüzeyler için yalıtım kalınlığının daha düşük olduğu bulunmuştur. En düşük optimum yalıtım kalınlığına sahip malzemenin köpüklü polivinil klorür iken en yüksek optimum yalıtım kalınlığının perlit kullanılan duvarlar için geçerli olduğu görülmüştür. Yalıtım kalınlığı değerleri bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte 0,053 m ile 0,236 m arasında değiştiği gözlenmiştir. Derece-gün değeri arttıkça yalıtım kalınlığının arttığı ve solar radyasyonu, ortam sıcaklığını ve soğutma-ısıtma sistemlerinin enerji verimliliğine etkilediği belirtilmiştir.

Uçar ve Balo (2009), çalışmalarında, 4 farklı şekilde yalıtılmış iç duvar için optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Türkiye'nin 4 farklı bölgesinde 4 şehir için 4 farklı yalıtım malzemesi ve 5 farklı enerji tipi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Şehir ve yalıtım malzemesine bağlı olarak enerji tasarrufunun 4,2 \$/m<sup>2</sup> ile 9,5 \$/m<sup>2</sup> arasında değiştiği bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlığının en yüksek değerinin LPG kullanılan binalarda olduğu, en düşük değerinin ise doğal gaz kullanılan binalar için geçerli olduğu tespit edilmiştir.

Daouas (2010) çalışmasında soğutma ve iletim yüklerinin analitik hesabına bağlı olarak Tunus'taki binalar için duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı hesabı üzerine bir çalışma yapmıştır. Yıllık iletim yükü için 'Sonlu Fourier Dönüşümü' kullanılmıştır. 30 yıllık bir bina ele alınmıştır. Yalıtım ve enerji maliyeti ile birlikte faiz, enflasyon oranı ve bina yaşı gibi etmenler ekonomik parametre olarak değerlendirilmiştir. Yalıtım dış duvarda değil tuğlaların arasında (sandviç) yapıdadır. Yakıt olarak doğal gaz yalıtım malzemesi olaraksa EPS kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı 10,1 cm ile kuzey ve güneye bakan duvarlarda olduğu tespit edilmiştir.

Ozel (2011), bir çalışmasında Elazığ'daki iklim koşulları altında yıllık soğutma ve iletim yüklerini sonlu fark metodu kullanarak bulmuştur. Poliüretan ve EPS malzemeleri kullanılarak 10 yıllık bir bina ele alınmış ve ekonomik analiz neticesinde geri ödeme

süresi tüm duvar yönleri için hesaplanmıştır. Sonuç olarak güneye bakan duvar için yalıtım kalınlığının 5,5 cm diğer yönler için 6 cm olması gerektiği belirtilmiş; geri ödeme süresinin yaklaşık 1,6 yıl olup neredeyse tüm yönler için birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Ozel (2012), bir başka çalışmasında sıcak bölgedeki -Antalya ilini ele alarak- optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için XPS ve EPS yalıtım malzemelerini kullanmıştır. 20 yıllık bir bina üzerine değerlendirme yapılmış ve sonlu fark metodu kullanılmıştır. Sonuç olarak XPS'nin EPS'den daha az soğutma yükü sağladığını bulmuş; bu yükler duvarın güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için elde edilmiştir. Buna göre duvar yalıtıldığı zaman yıllık soğutma iletim yükünün azaldığı tespit edilmiş ve bu azalışın 3 cm XPS yalıtım malzemesi için 65,9%, 3 cm EPS malzemesi için de 59,6% olduğu, en düşük yalıtım kalınlığının kuzeye bakan duvarda 3,1 cm değerini aldığı sonucuna varılmıştır.

Fertelli (2013), çalışmasında optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme periyotları üzerine bina inşaatında kullanılan farklı duvar tiplerinin (genellikle taş, tuğla, beton ve bimsblokların) etkisini incelemiştir. Değerlendirme yapılırken altı farklı enerji tipi; LPG, Elektrik, fuel oil, kömür, doğalgaz ve jeotermal enerji üzerinde durulmuştur. İki farklı yalıtım malzemesiyle yapılan analizler için farklı iklim bölgelerinden dört il (Aydın, Trabzon, Malatya ve Sivas) seçilmiştir. Sonuçlar, çeşitli yakıt ve duvar tiplerine bağlı olarak 0 - 0,179 m arasında optimum yalıtım kalınlığına sahip olunacağı bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlığının en yüksek değeri, iç duvar yapısı tuğla olan, yalıtım malzemesi olarak XPS'nin kullanıldığı ve LPG'nin enerji kaynağı olduğu durum için elde edilirken, en düşük optimum yalıtım kalınlığı, iç duvar yapısı gaz beton olan, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve enerji kaynağı olarak jeotermal enerjinin kullanıldığı durum için geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Axaopoulos, ve ark. (2014) çalışmalarında hem ısıtma hem de soğutma süresini dikkate alarak, farklı (3 tip) konfigürasyon ve farklı yönlerdeki dış duvarlar için optimum izolasyon kalınlığı belirlenmiştir. Yıllık ısıtma ve soğutma iletim yükleri; dış duvarlardaki geçici ısı akışı ve Atina kentinin saatlik iklim verileri ile hesaplanmıştır. Her

bir yapılandırma, çeşitli yalıtım malzemesi kalınlıkları ve farklı yönelimler için bir ekonomik analiz yapılmıştır. En ekonomik olanın kuzeye bakan duvar için olduğu sonucuna varılmıştır. Her çeşit duvar ve yönlendirme için optimum yalıtım kalınlığının en düşük güneye bakan duvarda (7,1 cm) en yükseğe kuzeye bakan duvarda (10,1 cm) olduğu bulunmuştur.

Liua ve ark. (2015) , çalışmalarında, yıllık enerji tüketimini hesaplamak için birleştirilmiş ısı ve nem transferi modelini sunmuşlardır. Toplam maliyeti ve optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için P1-P2 ekonomik modeli kullanılmıştır. Çin'deki 3 şehir seçilmiş ve XPS ile EPS yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Sonuçlar, XPS'nin optimum kalınlığının 0.053 ile 0.069 metre arasında değerler alırken ve EPS'nin ise optimum kalınlığının 0,081 ile 0,105 m arasında değiştiğini göstermiştir. Yıllık enerji tüketiminin de değerlendirildiği bu çalışmada EPS yalıtım malzemesinin XPS'den daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Nematchou, ve ark. (2013) çalışmalarında nemli ve sıcak bir tropik iklime sahip olan Kamerun'daki binalar için ekonomik ve optimum ısı yalıtım kalınlığının incelenmesini yapmışlardır. Kamerun'daki binalarda optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunu bulmak için, bina yaşıyla birlikte yalıtım malzemesinin maliyetini ve enerji tüketiminin bugünkü değerini içeren ekonomik bir model kullanılmıştır. Ekstrüde edilmiş polistren malzeme seçilmiş ve iki tipik duvar yapısı (beton blok ve sıkıştırılmış stabilize toprak blok duvar) değerlendirilmiştir. Sonlu fark yöntemi kullanılmış ve sonuç olarak, güneye bakan duvar için % 79,80 enerji tasarrufuyla optimum yalıtım kalınlığının en düşük değeri 0,09 m olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra optimum kalınlığının yapısı beton blok olan duvarın (0,0983 m) sıkıştırılmış stabilize toprak blok duvara (0,0958 m) oranla daha yüksek değerde olduğu da tespit edilmiştir.

Jafri ve ark. (2015), yapılmış çalışmalar irdelenerek, binanın farklı bölümlerinde (iç duvar, çatı ve zemin kat için) kullanılmış çeşitli yalıtım malzemelerinin etkisini karşılaştırılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı üzerine iklimin etkisi incelenmiş; optimum yalıtım kalınlığının belirli yerler için soğutma yükü veya ısıtma yüküne dayalı olarak

değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini önceden belirlemenin önemli olduğu vurgulanmış ve binanın farklı bölümleri için bu durumun sorun olmaktan çıkacağı tespit edilmiştir.

Kaynaklı ve Kaynaklı (2016), çalışmalarında, dış duvarlara uygulanan optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde, güneş radyasyonu etkisiyle birlikte hacimsel ısıtma, soğutma ve yıllık enerji ihtiyaçları hesaba katılmıştır. Türkiye'nin 4 ayrı bölgesindeki iller için yürütülmüştür; bu iller İskenderun, İstanbul, Ankara ve Ardahan'dır. Bu bölgeler için güneş-hava sıcaklıkları belirlenmiş; yıllık enerji tasarrufunu maksimum yapan optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Güneş radyasyonunun ısıtma-soğutma enerji yüklerine etkisi, derece-gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının ve geri ödeme sürelerinin değişimi, yıllık analizler arasındaki farklar tablolar ve şekiller yardımıyla sunulmuştur. Sonuçlar güneş radyasyonunun ısıtma ve soğutma yüklerini büyük oranda etkilediğini göstermektedir. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde, duvarlara gelen solar radyasyon ısıtma yükünü biraz azaltırken soğutma yükünü daha fazla arttırdığı görülmektedir. Yıllık enerji ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda, optimum yalıtım kalınlıkları, şehirlere bağlı olarak 3,9 ile 7,5 cm arasında değişmiştir.

Ramin ve ark. (2016), çalışmalarında sırasıyla temel duvar yapısı ve yalıtım malzemesi olarak beton ve EPS kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma yükleri, optimum yalıtım kalınlığı işlemi için dikkate alınmıştır. Yakıt tüketimi de dâhil olmak üzere enerji tüketiminin çevresel boyutu da araştırılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığına sahip bir duvar için yıllık toplam yakıt tüketimi elde edilmiş ve sonuçlar yalıtımsız duvar ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, optimum kalınlığa sahip yalıtım malzemelerinin, toplam ısıtma ve soğutma ihtiyacını önemli ölçüde azaltacağını ortaya koymuştur. Binalarda yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla yıllık yakıt tüketiminin ve CO<sub>2</sub> emisyonunun önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında materyal olarak, mevcut 2 katlı bir bina tercih edilmiş, binanın iç ve dış ısı taşınım direnç değerleri için TS 825 standartlarına göre belirli değerler alınmıştır. Bursa ilinin meteorolojik verileri kullanılmıştır. Binaya etki eden, duvar yönüne (kuzey, güney, doğu ve batı) bağlı yatay ve dikey yöndeki toplam solar radyasyon ile aylık ve yıllık olarak yine duvar yönüne bağlı toplam soğutma iletim yükü hesaplanmıştır. Duvarlarda yapı elemanı olarak 19 cm kalınlığa sahip tuğla ile 2,5 cm kalınlığa sahip iç ve dış sıva kullanılmış olup duvarın dış yüzeyi üzerinde yalıtım malzemelerinden Expande Polistren Köpük (EPS) ve Extrude Polistren Köpük (XPS) seçilmiştir.

#### Bursa İlinin Meteorolojik Verileri:

Bursa, Marmara Bölgesi'nin doğusunda, 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem daireleri arasında yer alır. 2015 verilerine göre yaz ayları için en sıcak ay Ağustos ayı iken en soğuk ayın Haziran olduğu görülmektedir. Bursa'da sıcak ve ılıman bir iklim hâkimdir; genellikle Akdeniz iklimi hüküm sürüyor olsa da Karadeniz ikliminin etkileri de görülmektedir. Bursa ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 13,6 °C'dır. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 646 mm'dir. 21 mm yağışla Ağustos yılın en kurak ayıdır (Anonim, 2017).

#### 3.2 Yöntem

Tez çalışmasında yöntem olarak, ilk aşamada çalışmanın konu ve kapsamı belirlenmiş daha sonra genel bir araştırma ve literatür taraması yapılmıştır.

Bu çerçevede ısı yalıtım malzemeleri, bu malzemelerin bina dış yüzeyine uygulanması, devletin de yasalarla desteklediği belirli ısı yalıtım kuralları ve standartları ile yöne bağlı optimum izolasyon uygulamaları konusundaki tezler, sempozyum bildirileri, makaleler ve internet ortamındaki dökümanlar değerlendirilmiştir.

Literatür taraması sonrası derece-saat metodu kullanılıp bilgisayar ortamında sırasıyla solar radyasyon, soğutma iletim yükü, ısı transfer değerleri hesaplanarak seçilen malzemelerin optimum değerler için tespiti yapılmıştır.

Bursa ilinin meteorolojik verileri ile enlem-boylam değerleri hesaplamalarda kullanılarak duvar yönüne bağlı optimum yalıtım kalınlıkları için maliyet değerleri birim alan başına bulunmuştur.

Farklı durumlar göz önünde bulundurularak bir oda modellenmiştir ve ANSYS programı kullanılarak analiz yapılmıştır. Radyasyon varken ve radyasyon yokken; yalıtım varken ve yalıtımsız duvarlar için analiz sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yatay yüzeye düşen güneş ışınım değerlerini hesaplamak için, öncelikle, yatay bir yüzey üzerindeki günlük güneş ışınımı belirlenir (Kilic ve Öztürk, 1983):

$$\frac{I_h}{I_{o,h}} = \left( a + b \frac{S}{S_o} \right) \quad (1)$$

Burada  $I_h$  yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımıdır.  $I_{o,h}$  ise atmosfer dışından yatay yüzeye gelen günlük güneş ışınımı değeridir.  $S/S_o$  izafi güneşlenme süresi iken a ve b bölgeye göre değişen ampirik sabitlerdir. Türkiye için a ve b katsayıları deklinasyon açısı ( $\delta$ ), rakım (Z) ve enlem açısına ( $\phi$ ) bağlı olarak belirlenmiştir (Kilic ve Öztürk, 1983):

$$a = 0,103 + 0,000017 Z + 0,198 \cos (\phi - \delta) \quad (2)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos (\phi - \delta) \quad (3)$$

Burada rakım (Z) değeri 100, enlem açısı  $40,1^0$  kuzey enleminde alınmıştır. Buna göre aylık değişen a ve b katsayılarının sayısal değerleri bulunmuştur. İzafi güneşlenme süresi değerleri için enerji ve tabii kaynaklar bakanlığındaki veriler göz önüne alınmıştır.



Yatay yüzeyin birim alan başına aylık ortalama günlük solar radyasyon değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Kilic ve Öztürk, 1983):

$$I_{o,h} = \frac{G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0,033 \cos \left( n \frac{360}{365} \right) \right] \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta \right] \quad (4)$$

Burada  $G_{sc}$  güneş sabitidir;  $\omega_s$  ise saat açısıdır. Bu formülasyondaki  $n$  değeri ise yılın herhangi bir gününü belirtir. Güneş sabiti ( $G_{sc}$ )  $1367 \text{ W/m}^2$  olarak alınmıştır (Anonim, 2012). Yılın herhangi bir gününe göre deklinasyon açısı bulunabilir (Külcü, 2015):

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{n+284}{365} \right) \quad (5)$$

Deklinasyon açısı 15 Haziran, 15 Temmuz ve 15 Ağustos ayları için sırasıyla  $23,32$ ;  $21,51$ ;  $13,725^0$ 'dir.

Saat açısı aşağıda gösterildiği üzere saat 12.00 baz alınarak bulunur (Al-Khawaja, 2004):

$$\omega_s = 15. (GS - 12) \quad (6)$$

Toplam solar radyasyon değeri ( $I_T$ ); güneş geliş açısı ( $\beta$ ), yerin yansıtma oranı ( $\rho$ ) yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışınım değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Ozel, 2012) :

$$I_T = I_h \left( 1 - \frac{I_d}{I_h} \right) R_b + I_d \left( 1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) + I_h \rho \left( 1 - \frac{\cos \beta}{2} \right) \quad (7)$$

Burada güneş geliş açısı ( $\beta$ ) dik yüzeyler için değerlendirilmiş ve  $90^0$  alınmıştır. Yerin yansıtma oranı ( $\rho$ )  $0,2$  alınmıştır ve bu formülasyonda  $R_b$ ; çeşitli zamanlarda yatay yüzey üzerindeki solar radyasyon oranıdır (Ozel, 2012).

Yaklaşık 10 yıllık ölçümlere dayanan, yatay bir yüzeydeki ortalama günlük yayınım güneş radyasyonu denklemi Tiris tarafından geliştirilmiştir (1995) ve  $I_d$  değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir (Kaynaklı ve Kaynaklı 2016):

$$I_d = I_h (0,703 - 0,414 K_T - 0,428 K_T^2) \quad (8)$$

Bu denklemde kullanılan  $K_T$  (berraklık indeksi) değeri  $\frac{I_h}{I_{o,h}}$  oranına tekabül eder. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için sırasıyla 0,56786; 0,5705 ve 0,7399'dur. (7) denkleminde kullanılan  $R_b$  ise şu şekilde hesaplanabilir (Ozel, 2012):

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (9)$$

$\theta$  ve  $\theta_z$  açıları sırasıyla geliş ve zenit açıları olarak tanımlanmaktadır. (10) ve (11) denklemleri ile bu açılar hesaplanabilmektedir (Kaynaklı ve ark. 2012).

$$\theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega \cos \gamma + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (10)$$

$$\theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (11)$$

Dik yüzey için  $\beta$ ,  $90^0$  alınmıştır. Dik yüzeyin yönüne göre azimut açısı ( $\gamma$ ) değişir ve bu durumdan dolayı denklem (10) kuzey, güney, doğu ve batı yönleri için ayrı ayrı yazılabilir. Güneye bakan yüzeyde azimut açısı  $0^0$ 'dır. Azimut açısı, doğu yönünde negatif değer alırken diğer yönlerde pozitif değer alır (Kaynaklı ve ark. 2012). Güneye bakan dik yüzey için:

$$\theta = \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \quad (12)$$

Batıya bakan yüzey için azimut açısı  $90^0$  olur. Denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\theta = \cos \delta \sin \beta \sin \omega \sin \gamma \quad (13)$$

Kuzeye bakan yüzey için azimut açısı  $180^0$  olur. Denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\theta = \sin \delta \cos \phi \sin \beta - \cos \delta \sin \phi \cos \omega \sin \beta \quad (14)$$

Doğuya bakan yüzey için azimut açısı  $-90^0$  olur. Denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\theta = -\cos \delta \sin \beta \sin \omega \quad (15)$$

Yöne bağlı olarak  $R_b$  değerleri bulunmuş; denklem (5) ile güne bağlı, denklem (6) ile de saate bağlı açılar ve bu değerler kullanılarak denklem (4) yardımıyla aylık ortalama günlük solar radyasyon değerleri bulunmuştur. Denklem (1)'deki değerler denklem (7)'de kullanılarak toplam solar radyasyon değerleri hesaplanmıştır.

Dış hava sıcaklığı üzerine solar radyasyonun etkisini ihtiva eden ve binalardaki soğutma yükünü hesaplamak için kullanılan güneş hava sıcaklığı, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Ozel ve Pihtili, 2006):

$$T_{sol-air} = T_a + \frac{I_T \alpha}{h_{o,c}} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_{o,c}} \quad (16)$$

Bu denklemde kullanılan  $h_{o,c}$  taşınım ve ışınlama kombine olmuş ısı transfer katsayısı,  $\alpha$  ise solar emicilik katsayısıdır.  $\alpha/h_{o,c}$  değeri koyu renkli düzlemler için  $0,052 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak alınmıştır (Al-Khawaja, 2004).  $\varepsilon \Delta R/h_{o,c}$  doğrulama faktörüdür ve ASHRAE'den dikey yüzey için '0' olarak kabul edilmiştir (Ozel, 2012).

$U$  duvarın toplam ısı transfer katsayısıdır ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ). Yalıtım olmayan tipik bir duvar için ısı transfer katsayısı aşağıdaki biçimde bulunur (Jinghua ve ark. 2009):

$$U_{un} = \frac{1}{R_i + R_w + R_o} \quad (17)$$

Burada  $R_i$  ve  $R_o$  sırasıyla duvarın iç ve dış hava film termal dirençleri olarak tanımlanmıştır ( $m^2K/W$ ) (Jinghua ve ark. 2009).  $R_w$  ise yalıtım olmayan kompozit duvar malzemelerinin termal direncidir (Jinghua ve ark. 2009).  $R_w$  hesaplanırken iç sıvanın, dış sıvanın, tuğlanın termal dirençleri ile iç ve dış ortamın ısı taşınım dirençleri toplamıyla bulunmuştur. Burada iç ve dış ortamın ısı taşınım dirençleri için TS-825 standartları baz alınmıştır; sırasıyla 0,13 ve 0,04  $W/m^2K$ 'dir. Yalıtımlı duvar için toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Sisman ve ark. 2007):

$$U_{ins} = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (18)$$

Burada  $R_{ins}$  yalıtımın termal direncidir ve ayrıca  $x/k$  olarak ifade edilebilir.  $k$  yalıtım malzemesinin termal iletkenliği iken ( $W/mK$ );  $x$  ise yalıtım malzemesinin kalınlığıdır (m) (Sisman ve ark. 2007). Dış duvarın ısı transfer katsayısının daha detaylı formüle edilmiş hali aşağıdaki gibi bulunabilir (Kaynaklı, 2007):

$$U_{o,w} = \frac{1}{1/h_i + R_w + \frac{x_{ins}}{k_{ins}} + 1/h_o} \quad (19)$$

Bu genişletilmiş denklemden  $h_i$  ve  $h_o$  sırasıyla duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayılarıdır (Kaynaklı, 2007). Literatürden yararlanarak bu çalışmada  $h_i$  8,3  $W/m^2K$  alınmıştır (Kaynaklı, 2007).  $h_o$  ise 17  $W/m^2K$  olarak belirlenmiştir (Jinghua ve ark. 2009).

CDD, sabit dış hava sıcaklığı üzerindeki güneş-hava sıcaklığında yılın belirli aylar arasında alınan soğutma günlerine bağlı hesaplanmıştır. Aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Jinghua ve ark. 2009) :

$$CDD = \sum_{j=1}^{N_c} (T_{sol-air} - T_b)_j = N_c \cdot \Delta T D_c \text{ için } T_{sol-air} \geq T_b \quad (20)$$

$N_c$  soğutma günlerinin toplam sayısıdır. Bursa ili için 2015'teki meteorolojik veriler dikkate alınmış ve buna göre değerlendirme yapılmıştır.  $\Delta TD_c$  güneş hava sıcaklığı ile ortalama taban sıcaklığı arasındaki farka denktir ve  $T_b$  ise taban sıcaklığıdır (Jinghua ve ark. 2009).

Yıllık soğutma yükü, yaz dönemi boyunca eklenen günlük iletim yüklerinden ayrı olarak hesaplanır (Ozel, 2012). Aşağıdaki formülde gösterildiği gibi duvarın birim alanı başına yıllık iletim yükü CDD metodunda derece-gün değerleri için CDH yöntemindeyse derece-saat değerleri için denklemler aşağıdaki gibidir (Ozel, 2012):

$$Q_c = 86400 \cdot CDD \cdot U \quad (21)$$

$$Q_c = 3600 \cdot CDH \cdot U \quad (22)$$

$CDD$  ve  $CDH$  sırasıyla soğutma derece-gün ve soğutma derece-saat değerleridir. Bursa iklimi için bu değerler duvar yönüne bağlı meteorolojik verilerden hesaplanmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken maliyet analizi yapılmalıdır. Bu analiz için mevcut şimdiki değer faktörü kullanılmıştır. Şimdiki değer faktörü (PWF) enflasyon oranı ( $g$ ) ve faiz oranına ( $i$ ) bağlıdır. Enflasyon ve faiz oranı için 2016 yılının verileri kullanılmıştır (Anonim, 2016).

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \begin{cases} i > g & r = \frac{i-g}{i+g} \\ i < g & r = \frac{g-i}{1+i} \end{cases} \quad (23)$$

$$PWF = \frac{N}{1+i}, \quad i = g \quad (24)$$

Denklemden  $N$  bina yaşı olarak 13 yıl alınmıştır ve aşağıdaki tablo bu doğrultuda oluşturulmuştur. Soğutma performans katsayısı literatürden alınmıştır (Ozel, 2012).

Duvarın birim alan başına toplam maliyeti aşağıdaki gibi verilmiştir (Ghedamsi ve ark. 2014):

$$C_t = C_{enr} \cdot PWF + C_i \cdot L_i \quad (25)$$

Burada  $C_{enr}$  enerji tüketim maliyetidir (TL/m<sup>2</sup>);  $C_i$  birim alan başına yalıtım maliyetidir (TL/m<sup>2</sup>); soğutma için duvarın birim alanı başına enerjinin yıllık maliyeti  $C_{enr}$ 'dir ve aşağıdaki gibi denkleme verilmiştir (Ghedamsi ve ark. 2014):

$$C_{enr} = \frac{Q_c \cdot C_{el}}{COP} \quad (26)$$

Burada  $COP$  sistemin soğutma performans katsayısı olup  $C_{el}$  ise elektriksel maliyettir (TL/kWh).

## 4. BULGULAR

### 4.1. Güneş Işınımı Hesaplaması

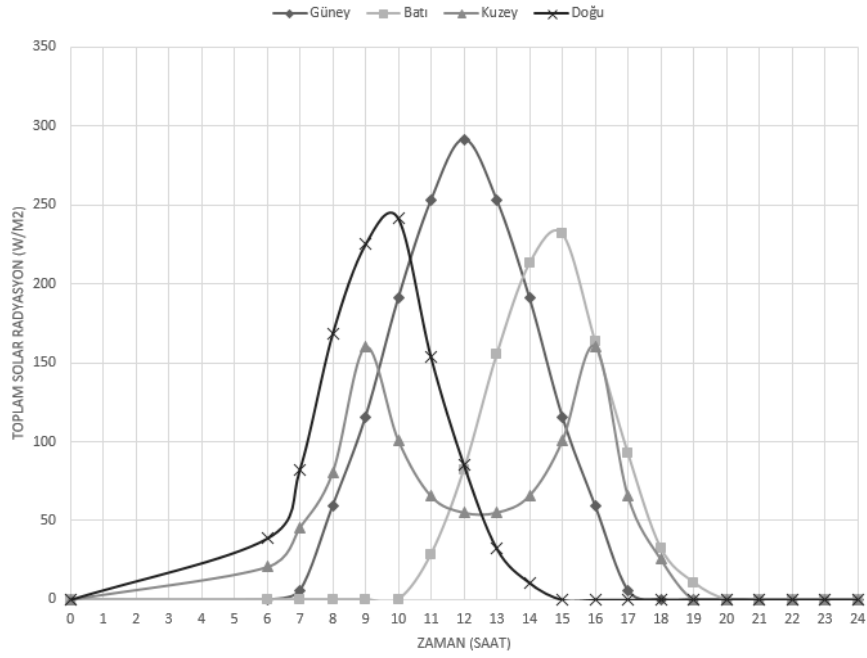
Güneş ışınımı, güneş tarafından yayılıp atmosfere ulaşan radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Direkt, yayılan ve yansıyan olmak üzere üç çeşit güneş ışınım çeşidi vardır. Yerel ışınım ise dünya ve atmosfer tarafından yayılan radyasyon olup güneş ışınımı ile toplanarak toplam güneş ışınımı bulunabilir (Anonim, 2012). Duvar yüzeyleri üzerinde saatlik toplam güneş ışınımı Bursa (40<sup>0</sup> kuzey enlemi ve 29<sup>0</sup> doğu boylamı) ili için hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Yaz aylarını temsil eden her gün için a ve b katsayıları ile izafi güneşlenme süresi değerleri

		15 Haziran	15 Temmuz	15 Ağustos
İzafi Güneşlenme Süresi (S/S <sub>0</sub> )		0,72955	0,7388	0,8413
Ampirik sabitler	a	0,29421	0,299	0,2813
	b	0,3751	0,37666	0,38583

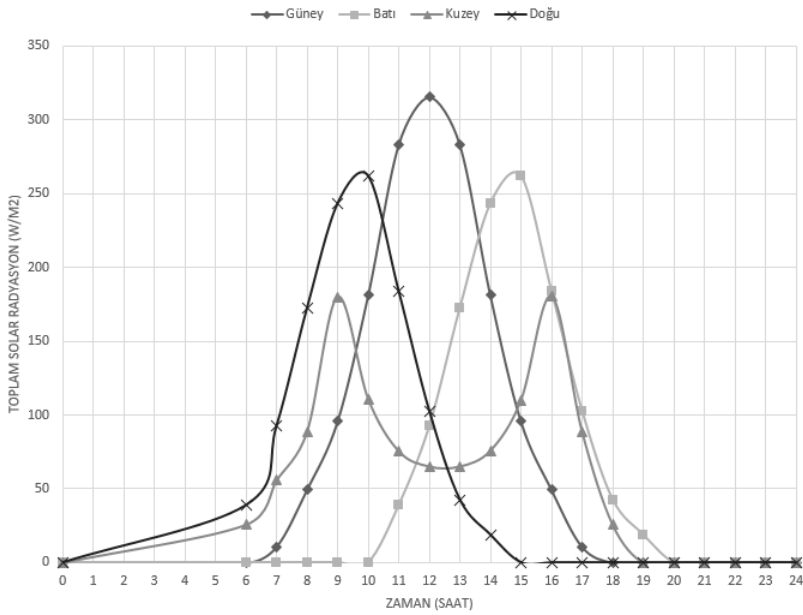
Her bir saat ve her bir yön için ayrı ayrı solar radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3.'de de görüldüğü üzere en yüksek solar radyasyon değerine saat 12:00'de güney yönünde ulaşılmıştır.

Literatürde ortalama solar radyasyonun 150 W/m<sup>2</sup> ila 70-75 W/m<sup>2</sup> arasında olduğu görülmektedir (Özdemir ve ark. 2012). Kıyaslama yapıldığında ortalama solar radyasyon her bir yön için ortalama 180 ila 80 W/m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır. Buna ek olarak saatlik solar radyasyon dağılımına bakıldığında kuzey yönünde sabah saatlerinde solar radyasyon etkisinin fazla olduğunu görülüyorken bu durum saat 10:00 ila 15:00 arasında en düşük değerde ve stabil kalmaktadır. Doğu, güney ve batı yönlerinde de saatlik maksimum alınan solar radyasyon durumlarının farklı saat aralığında olduğu görülmüştür (Pekdoğan, T., 2017). Mevcut çalışmada da bu yönler için aynı durumların söz konusu olduğu gözlenebilir.



**Şekil 4.1** 15 Haziran günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi

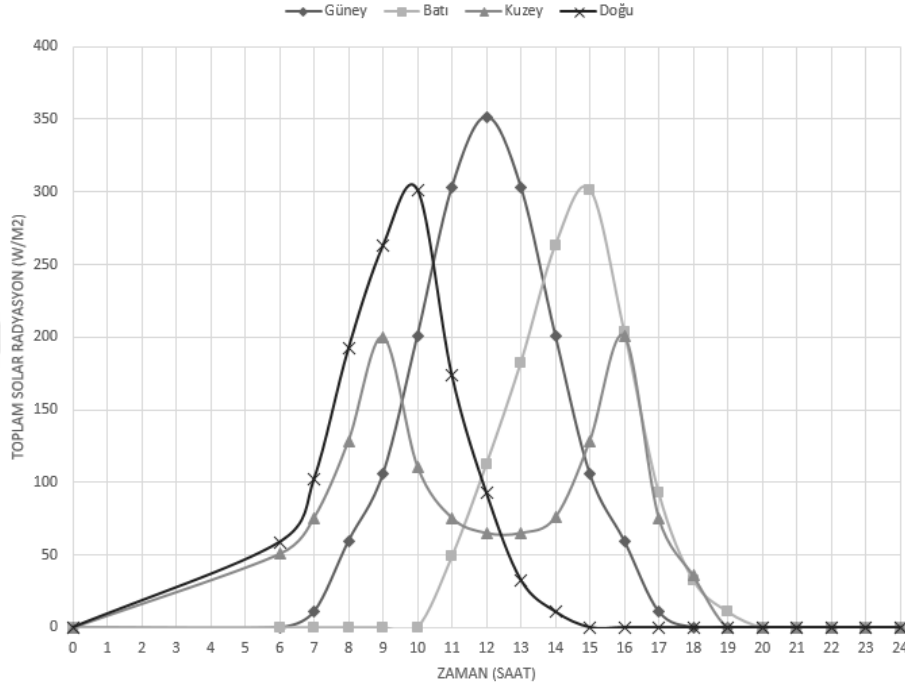
Şekil 4.2’de 15 Temmuz günü baz alınmıştır. Güneşin en tepede olduğu saat için (12:00) maksimum solar radyasyon yine güney yönünde ve 15 Haziran’daki değerden fazla olduğu gözlenirken minimum değer kuzey yönünde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.2.** 15 Temmuz günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi



Şekil 4.3'te 15 Ağustos günü baz alınmıştır. Güneşin en tepede olduğu saat için (12:00) maksimum solar radyasyon yine güney yönünde ve diğer aylarda bulunan değerlerden daha fazla olduğu gözlenirken minimum değer yine kuzey yönünde olduğu görülmektedir.



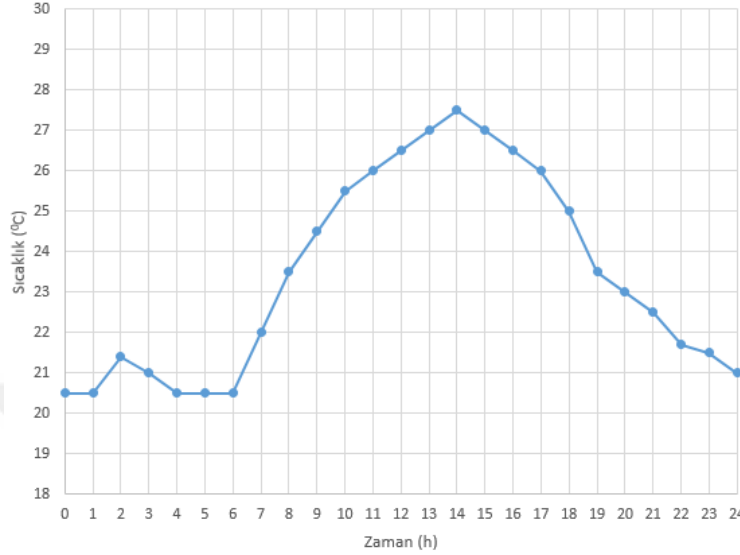
Şekil 4.3 15 Ağustos günü solar radyasyon değerlerinin yöne ve saate bağlı değişimi

Yöne bağlı solar radyasyon değişimine bakıldığında sabah saatlerinde doğu ve kuzey yönlerinde güneş ışığı alınırken ilerleyen saatlerde kuzey yönünde solar radyasyon azaldığında güney yönünde artış olduğu gözlenmektedir. Öğle saatlerinden sonra ise batı ve tekrar kuzey yönünde güneş ışığı alınmaktadır. Literatürde de benzer durumun meydana geldiği görülmektedir (Pekdogan, T., 2017). Bunun yanı sıra güney yönünde ortalama solar radyasyon değeri batı ve doğu yönündekine göre daha az olduğu hesaplanmıştır. Bu durumun literatürde de benzer şekilde olduğu gözlenmiştir (Tuncer, T., 2012).

#### 4.2. Güneş Hava Sıcaklığının Hesaplanması

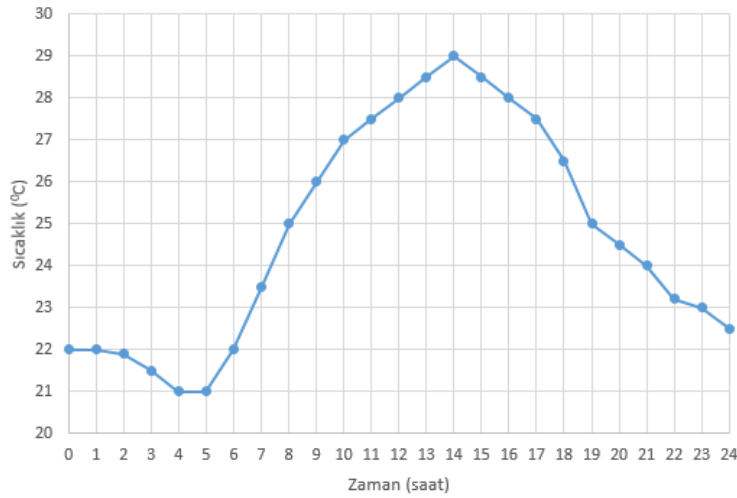
Meteorolojik verilerden faydalanarak saatlik olarak dış hava sıcaklık değerlerindeki değişim ( $T_a$ ) aşağıdaki gibi verilmiştir.

Solar dış hava sıcaklığı için hesaplama yapmadan önce bir ayı temsil edecek günler için dış hava sıcaklık değerleri bilinmelidir. Şekil 4.4'te haziran ayını temsil eden 15 Haziran günü için dış hava sıcaklık değerleri saatlik olarak meteorolojik verilerden elde edilmiştir.



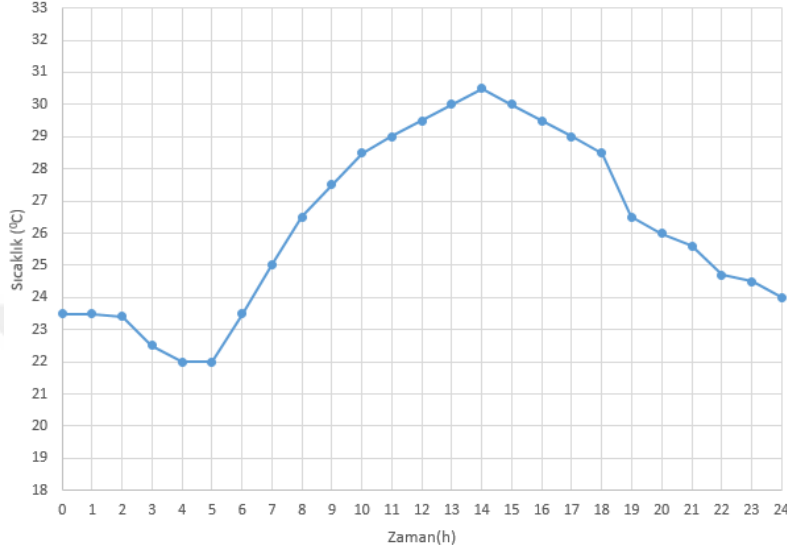
Şekil 4.4 15 Haziran için dış hava sıcaklık değerleri (°C)

Şekil 4.5.'te temmuz ayını temsil eden 15 Temmuz için dış hava sıcaklık değerlerindeki değişim görülmektedir. Maksimum dış hava sıcaklığının saat 14:00'te 29 °C olduğu meteorolojik verilerden sağlanmıştır.



Şekil 4.5. 15 Temmuz için dış hava sıcaklık değerleri (°C)

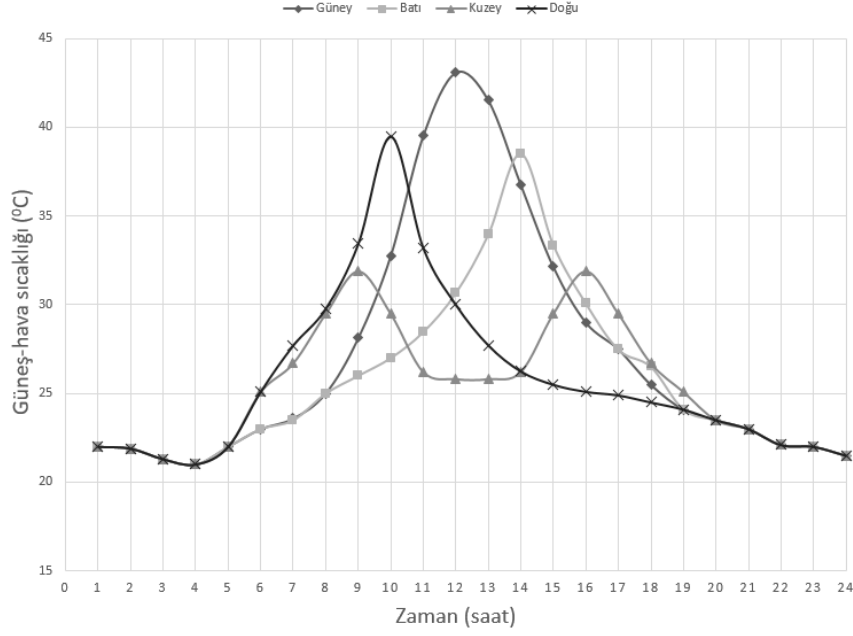
Şekil 4.6.'da ağustos ayını temsil eden 15 Ağustos günü için dış hava sıcaklık değerlerindeki değişim görülmektedir. Maksimum dış hava sıcaklığının saat 14:00'te 30,5 °C olduğu meteorolojik verilerden sağlanmıştır.



**Şekil 4.6.** 15 Ağustos için dış hava sıcaklık değerleri (°C)

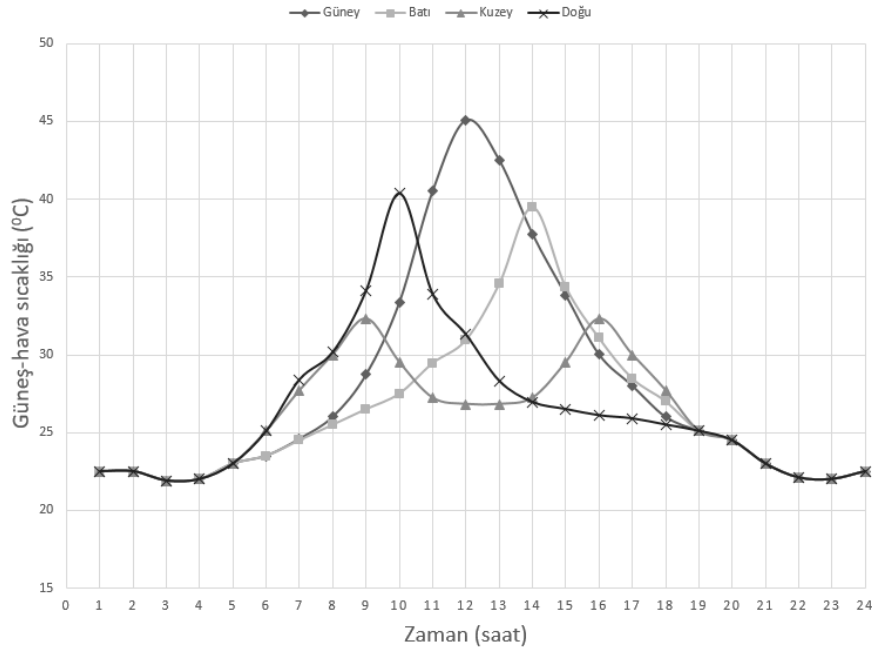
Güneş hava sıcaklığı denklem (17) ile hesaplanmış ve Şekil 4.7., 4.8. ve 4.9.'da gösterilmiştir. Bu değerler bulunarak soğutma derece-saat yöntemiyle soğutma yükü hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi solar radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu değerlerde güneş hava sıcaklığının en yüksek değerleri aldığı, solar radyasyonun en düşük değerlerinde ise güneş hava sıcaklığının yine en az değerlere sahip olduğu görülebilir. En yüksekten en düşük güneş-hava sıcaklık değerlerinin sırasıyla Ağustos, Temmuz ve Haziran aylarında olduğu görülmüştür.

Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere güneş hava sıcaklığının maksimum değerine (45 °C) solar radyasyonda olduğu gibi güney yönünde ulaşılır. Ortalama dış hava sıcaklık dağılımına bakıldığında ise kuzey yönünde minimum değerlere sahip olduğu görülebilir.



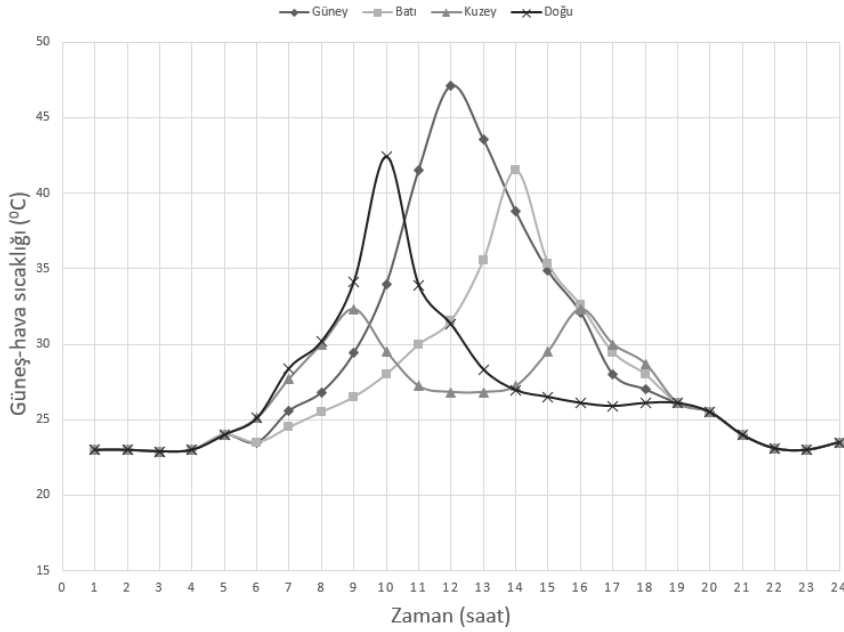
Şekil 4.7. 15 Haziran günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi

Şekil 4.8. incelendiğinde 15 Temmuz gününde güneş hava sıcaklığının maksimum güneş hava sıcaklık değerinin saat 12:00'de 45 ila 50 °C arasında güney yönünde olduğu aynı saatte bu değer batı yönünde minimum değerde (32-33 °C) seyrettiği belirlenmiştir.



**Şekil 4.8.** 15 Temmuz günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi

Şekil 4.9.'da 15 Ağustos günü için maksimum güneş hava sıcaklığının 50<sup>0</sup>C'ye yaklaştığı tespit edilmiştir. Aynı saat için batı yönünde minimum güneş hava sıcaklığı 33<sup>0</sup>C olmuştur.



**Şekil 4.9.** 15 Ağustos günü güneş hava sıcaklığının yöne ve zamana göre değişimi

**Çizelge 4.2** 15 Haziran günü için güneş hava sıcaklığının zamana ve yöne bağlı değişimi

Saat	Güney	Batı	Kuzey	Doğu
1	22	22	22	22
2	21,9	21,9	21,9	21,9
3	21,3	21,3	21,3	21,3
4	21	21	21	21
5	22	22	22	22
6	23	23	25,1	25,1
7	23,59	23,5	27,71	28,71
8	25,01	25	30,5	32,78
9	28,12	26	32,9	37,43
10	32,77	27	29,5	42,49
11	39,53	28,46	26,221	40,201
12	45,09	30,65	25,821	37,01
13	41,53	33,95	25,821	33,72
14	36,77	38,5	26,221	31,25
15	32,14	33,356	29,5	29,5
16	29,01	30,07	32,9	27,1
17	27,5	27,47	30,5	25,5
18	25,5	26,5	27,71	25,5
19	24,1	24,1	24,1	24,1
20	23,5	23,5	23,5	23,5
21	23	23	23	23
22	22,1	22,1	22,1	22,1
23	22	22	22	22
24	21,5	21,5	21,5	21,5

### 4.3 Isı Transfer Katsayısı Hesaplanması

Yalıtılmış dış duvarın ısı transfer katsayısını bulmak için duvar malzemeleri ile bu malzemelerin özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Termal iletkenlik değerleri literatürdeki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir (Ozel, 2012).

**Çizelge 4.3.** Duvar Malzemeleri ve Duvar Malzemelerinin Özellikleri

Duvar Malzemeleri	Kalınlık (m)	Termal iletkenlikler 'k' (W/mK)	Termal Dirençler 'R' (m <sup>2</sup> K/W)
İç Sıva	0,025	1	0,025
Tuğla	0,19	0,45	0,422
Dış Sıva	0,025	1,4	0,0178
XPS	x	0,029	x/0,029
EPS	x	0,038	x/0,038

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için yalıtım malzemelerinin kalınlıkları 0,01 m'den 0,08 m'ye kadar değer verilerek ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamada XPS ve EPS yalıtım malzemeleri için ayrı ayrı değerlendirme yapılmış ve aşağıdaki gibi tablo halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.4.** XPS Malzemesi Kullanılarak Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Isı Transfer Katsayısı Değişimi

XPS Malzemesinin Yalıtım Kalınlığına Göre Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	
U <sub>0,01</sub>	0,862654672
U <sub>0,02</sub>	0,664875937
U <sub>0,03</sub>	0,540871618
U <sub>0,04</sub>	0,45585185
U <sub>0,05</sub>	0,393929894
U <sub>0,06</sub>	0,346818764
U <sub>0,07</sub>	0,309772269
U <sub>0,08</sub>	0,279876422

**Çizelge 4.5.** EPS Malzemesi Kullanılarak Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Isı Transfer Katsayısı Değişimi

<b>EPS Malzemesinin Yalıtım Kalınlığına Göre Isı Transfer Katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)</b>	
U <sub>0,01</sub>	0,939509827
U <sub>0,02</sub>	0,760812194
U <sub>0,03</sub>	0,639228907
U <sub>0,04</sub>	0,551150995
U <sub>0,05</sub>	0,484405809
U <sub>0,06</sub>	0,432080262
U <sub>0,07</sub>	0,389957073
U <sub>0,08</sub>	0,355317436

#### 4.4 Soğutma Gün Derece (CDD) Hesabı

Soğutma gün derece (CDD) yöne ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Yöne bağlı soğutma gün derece değerleri

<b>Soğutma Gün Derece (CDD)</b>	
Güney Yönünde	457,203
Kuzey Yönünde	411,19
Batı Yönünde	553,35
Doğu Yönünde	553,35



**Çizelge 4.7.**  $T_{\text{sol-air}}$  ile  $T_b$  farkı ( $^{\circ}\text{C}$ ) - Güney tarafı

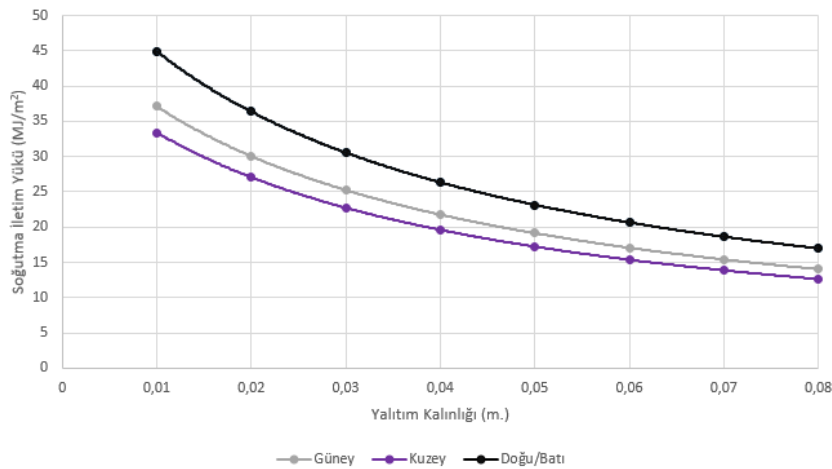
<b>Saat / Sıcaklık Farkı</b>	<b><math>T_{\text{sol-air}}</math> ile <math>T_b</math> farkı (<math>^{\circ}\text{C}</math>) - Güney tarafı</b>		
<b>Saat</b>	<b>15 Haziran</b>	<b>15 Temmuz</b>	<b>15 Ağustos</b>
19	0,107	1,1	2,05
18	1,5	2,09	2,97
17	3,567	3,816	4,19
16	5,01	6,14	6,55
15	8,14	8,96	9,22
14	12,77	13,02	14,10
13	17,53	19,29	20,37
12	21,09	22,426	23,50
11	15,53	16,77	17,2
10	8,77	9,44	11,25
9	4,12	5,61	7,39
8	0,01	1,098	2,17
7	0	0	0,78
6	0	0	0

Şekil 4.10.'dan anlaşılacağı üzere tüm yalıtım kalınlıklarında maksimum soğutma iletim yükü değerlerine doğuya bakan duvar yönünde ulaşılırken, yine tüm yalıtım kalınlığı değerlerinde minimum yalıtım kalınlığı değerlerine ise kuzey yönünde ulaşılır (19) ve (22) numaralı denklemler göz önünde bulundurulduğunda yalıtım kalınlığı arttıkça ısı transfer katsayısının azaldığı, ısı transfer katsayısıyla soğutma iletim yükü doğru orantılı olduğundan soğutma iletim yükünde de azalmanın gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 4.7'de güneş-hava sıcaklığı değişimi verilmiştir. Buna göre yöne bağlı olarak her üç ayı temsil eden ayın 15'i için her bir saat aralığında (Haziran, Temmuz ve Ağustos) güneş hava sıcaklığı ile taban sıcaklığının farkı alınmıştır. O gün için ortalama kaç derece fark olduğu bulunarak formülde yerine yazılmıştır.  $T_b$  için  $24^{\circ}\text{C}$  olarak alınmıştır (Jinghua ve ark. 2009). CDD değerleri için kıyaslama yapıldığında Bursa ile benzer iklim özelliklerinde olan İstanbul'da CDD değeri 523,6 olarak bulunmuştur (Kaynaklı ve ark. 2016). Mevcut çalışmada yöne bağlı soğutma derece gün değerleri için 2016 yılının meteorolojik verileri alındığından bu değerler yaklaşık 411 ile 553 arasında değişmektedir. Bunun sebebi her günü temsil eden bir gün ele alındığından o günkü sıcaklık değerleri için yapıldığıdır.

#### 4.5. Soğutma İletim Yükü Hesabı

Bu çalışmada soğutma derece-gün değeri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Yalıtım malzemesine kalınlığına ve duvar yönüne göre yıllık soğutma iletim yükü farklı sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.10. EPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü

**Çizelge 4.8.** EPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü

<b>Duvar Yönüne ve Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Soğutma İletim Yükü</b>			
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Duvar Yönüne Bağlı Toplam Soğutma İletim Yükü (MJ/m <sup>2</sup> )		
	Güney	Kuzey	Batı / Doğu
0,01	37,11259234	33,41740549	44,91338001
0,02	30,05366414	27,06131309	36,37071822
0,03	25,25087142	22,7367197	30,55841461
0,04	21,7716107	19,60387828	26,34783945
0,05	19,13503702	17,22982015	23,15707783
0,06	17,06806907	15,36865385	20,65564877
0,07	15,4041155	13,87037503	18,64194468
0,08	14,0357778	12,6382785	16,98599268

Çizelge 4.8.'dan anlaşılacağı üzere yalıtım kalınlığı minimum olan durum için (0,01 m.) en yüksek soğutma iletim yükünün doğu yönünde 44,91 MJ/m<sup>2</sup> ve minimum soğutma yükünün ise 33,41 MJ/m<sup>2</sup> ile kuzey yönünde olduğu hesaplanmıştır.

Isıtma yüküne göre değişikliğin ne şekilde olacağı literatürde belirtilmiştir (Ozel ve Pihtili 2008). Buna göre iklim bakımından Bursa ile benzer özellik taşıyan İstanbul'da ısıtma yükü ile değerlendirme yapıldığında yalıtım kalınlığı değerinin soğutma yükü ile bulunan sonuçlara kıyasla daha etkin olduğu, bu da ısıtma yükü ile hesaplamalar yapıldığında hem optimum yalıtım kalınlığında hem de toplam maliyet değerlerinde artış olacağı söylenebilir. Mevcut çalışma için bulunan optimum yalıtım kalınlığı 0.02'ye yakın

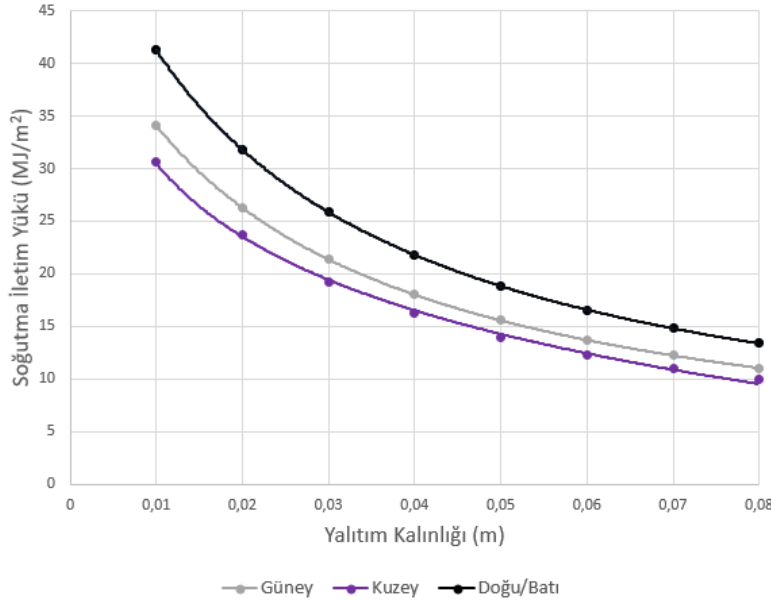
olduğundan ısıtma yükü ile işlem yapıldığında bu değerin daha da artacağı ve literatürdeki çalışmalara göre 0.04 cm'ye yaklaşacağı görülmektedir (Kaynakli ve Kaynakli, 2016).

**Çizelge 4.9.** XPS yalıtım malzemesi için duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü değerleri (MJ/m<sup>2</sup>)

<b>Duvar Yönüne ve Yalıtım Kalınlığına Göre Toplam Soğutma İletim Yükü</b>			
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Duvar Yönüne Bağlı Toplam Soğutma İletim Yükü (MJ/m <sup>2</sup> )		
	Güney	Kuzey	Batı ve Doğu
0,01	34,07665387	30,68374609	41,23931012
0,02	26,26398243	23,64895836	31,78447393
0,03	21,36555393	19,23825133	25,85643261
0,04	18,00709624	16,21418497	21,79205239
0,05	15,5610502	14,01168422	18,83186587
0,06	13,70006255	12,33598939	16,57971262
0,07	12,23664894	11,01828338	14,80870048
0,08	11,05570083	9,954918648	13,37952596

XPS yalıtım malzemesi ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı 0,01 m. için en yüksek soğutma iletim yükünün doğu yönünde 41,23 MJ/m<sup>2</sup> olduğu ve minimum soğutma iletim yükünün ise kuzey yönünde 30,68 MJ/m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır.

XPS yalıtım malzemesi kullanarak yalıtım kalınlığına bağlı soğutma iletim yükünün değişimi aşağıdaki Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça soğutma iletim yükünde beklendiği gibi düşüş yaşanmıştır.



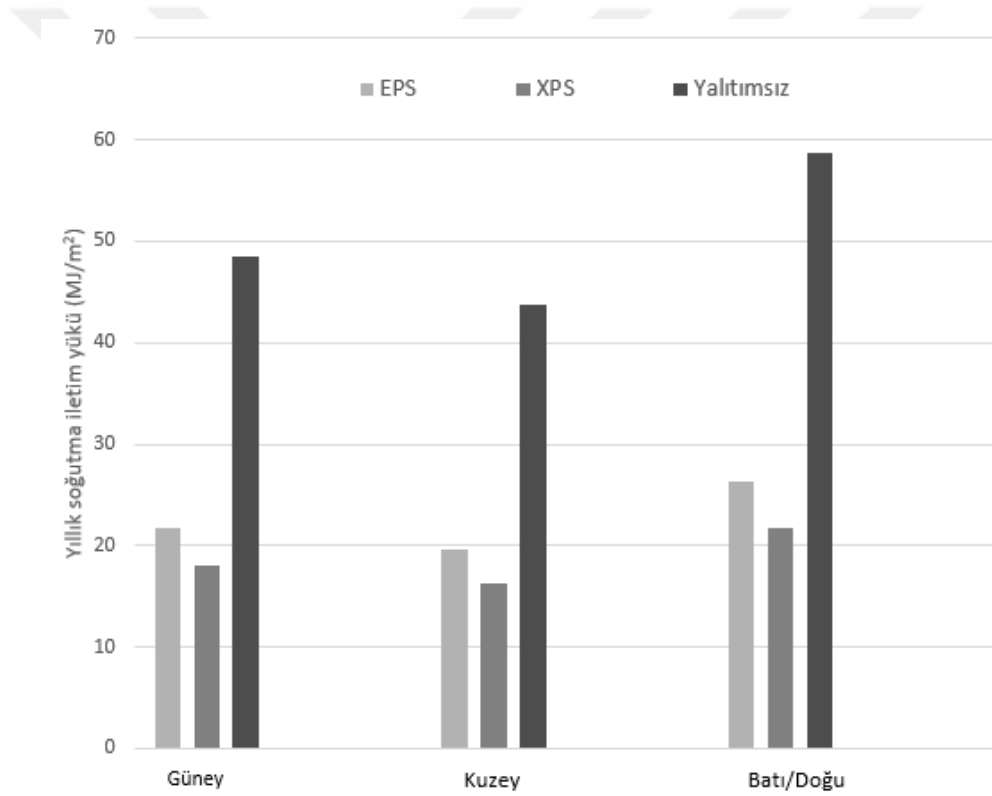
Şekil 4.11. XPS yalıtım malzemesinin duvar yönü ve kalınlığına göre soğutma iletim yükü

Çizelge 4.10. Duvar yönüne bağlı yalıtımsız ve 4 cm’lik yalıtımlı duvar için toplam soğutma iletim yükü değerleri

Yalıtım/Yön	Toplam Soğutma İletim Yükü (MJ/m²)		
	EPS (4 cm.)	XPS (4 cm.)	Yalıtımsız
Güneyde	21,77	18,007	48,505
Kuzeyde	19,603	16,214	43,675
Batı ve Doğuda	26,348	21,792	58,7

Yalıtımlı durumda ve yalıtımsız durumda yıllık soğutma iletim yüklerinde nasıl bir değişim olduğu aşağıdaki tablo ve şekillerden (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) net olarak görülebilir. Her yön için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında XPS malzemesine göre yıllık soğutma iletim yükü daha fazladır. Yalıtımsız duvarın yalıtılmış duvarlara oranla soğutma iletim yükü değerlerinin çok yüksek olduğu görülmüştür.

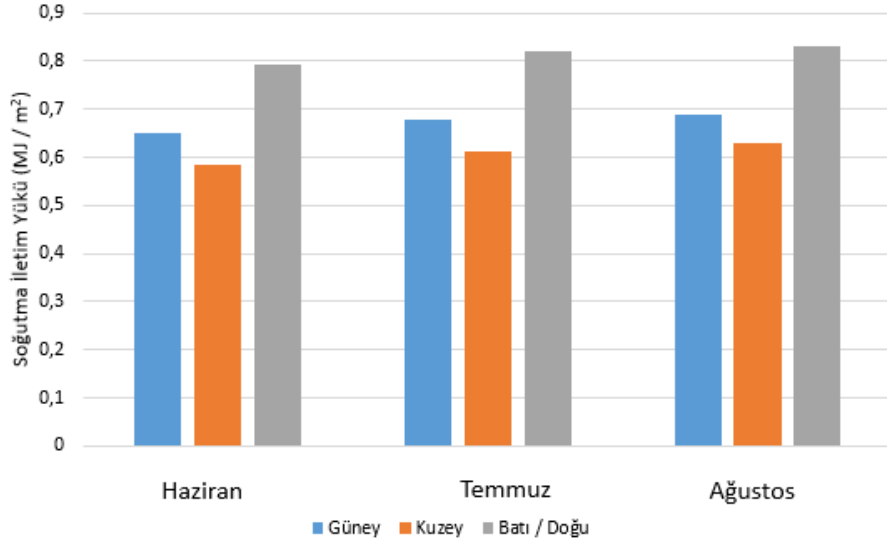
Mevcut çalışma Bursa'ya göre daha sıcak bir iklime sahip Antalya ili için yapılan çalışmayla kıyaslandığında (Ozel, M., 2012) soğutma iletim yükü değerleri çok daha düşük bulunmuştur. Soğutma iletim yükü bulunurken hem CDD hem de ısı transfer katsayısı değişken olarak kabul edilmiştir.



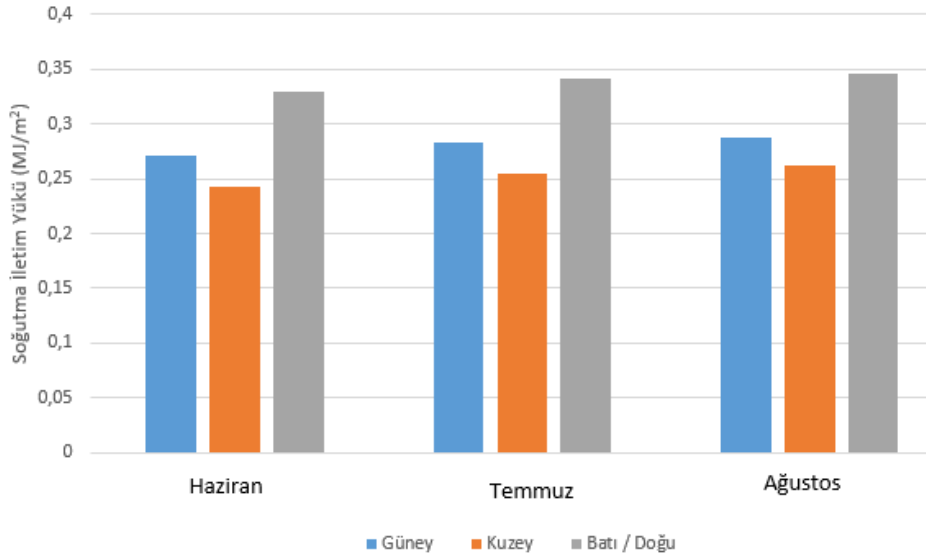
**Şekil 4.12.** Duvar yönüne bağlı yalıtımsız ve 4 cm'lik yalıtımlı duvar için toplam soğutma iletim yükü değerleri

Soğutma iletim yükleri aynı zamanda yaz ayları için (Haziran, Temmuz ve Ağustos) yöne bağlı bulunabilir. Hangi ayda ve hangi duvar yönünde daha fazla soğutma iletim yükü olduğu görülebilir. Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'te yalıtılmamış duvara göre, duvar yalıtıldığı takdirde ısı transfer katsayısının azalmasına bağlı olarak soğutma iletim yükünde de

azalmanın meydana geldiği görülebilir. En yüksek soğutma iletim yüklerinin ağustos ayında doğu ve batı yönünde gerçekleşirken en düşük soğutma iletim yükünün haziran ayında kuzey yönünde olduğu belirlenmiştir. Hesaplamalar, meteorolojik veriler dikkate alınarak yapılmıştır.



**Şekil 4.13.** Yalıtımsız duvar için yöne bağlı temsil edilen bir gün için (her ayın 15'inde) günlük soğutma iletim yükü



**Şekil 4.14.** 4 cm'lik XPS ile yalıtılmış duvar için yöne bağlı temsil edilen bir gün için (her ayın 15'inde) günlük soğutma iletim yükü

#### 4.6. Duvar Yönüne Bağlı Toplam Maliyet ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Şimdiki değer faktörünün enflasyon oranı ve faiz oranına bağlı hesaplandığı denklem (23) ve denklem (24)'te görülmektedir. Enflasyon ve faiz oranı için 2016 yılının verileri kullanılmıştır (Anonim, 2016). Bu değerlerle birlikte elektriksel maliyet ve soğutma performans katsayısı (COP) aşağıdaki çizelgede görülebilir. Burada COP, elde edilen ısı enerjisinin tüketilen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Örneğin, COP değeri 3,0 olan bir klima 1 kw'lık elektrik çekerek 3 kw'lık ısıtma elde eder.

**Çizelge 4.11.** Toplam maliyet için ekonomik parametreler

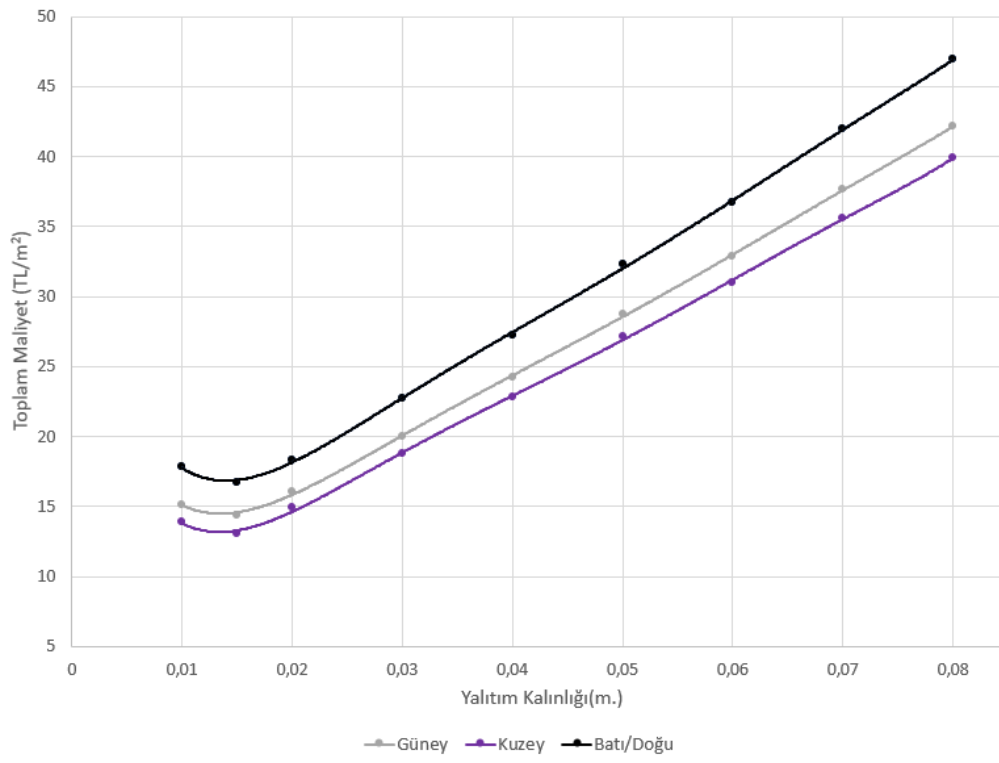
Parametreler	Değerler
Enflasyon Oranı (g)	7,16%
Faiz Oranı (i)	7,50%
Şimdiki Değer Faktörü (PWF)	11,113
Elektriksel Maliyet (TL/kwh)	0,42
Soğutma performans katsayısı (COP)	2,5

Isı yalıtımının kullanımı soğutma yükünü azaltır; bu nedenle yaz aylarında soğutmanın enerji maliyetinde de azalma meydana gelir (Ghedamsi ve ark. 2014). Bununla birlikte yalıtım malzemelerinin maliyeti yapının başlangıç maliyetini de arttırmaktadır. Sonuç olarak, yalıtım ve enerji tüketim maliyetlerine bağlı toplam maliyeti minimum yapan optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir (Ghedamsi ve ark. 2014).

Toplam maliyet yalıtım maliyetleri ve enerji maliyetinin toplamıdır. Optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için 13 yıllık bina yaşı üzerine enerji tüketim maliyetinin şimdiki



değeri ve yalıtım malzemesinin maliyetini içeren bir model olarak kullanılmıştır. Şekil 4.15'te ve Çizelge 4.9.'da gösterildiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça bir süre toplam maliyette azalma meydana gelirken belli bir kalınlıktan sonra (yöne bağlı değişen kalınlıkla) toplam maliyet ve yalıtım kalınlığında artış oluşmaktadır. Bunun sebebi yalıtım maliyetinde kalınlığa bağlı artış oranı ile enerji maliyetinde kalınlığa bağlı artış oranındaki değişim farklılığıdır. Toplam maliyeti minimum yapan yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığı olarak ortaya çıkmıştır.

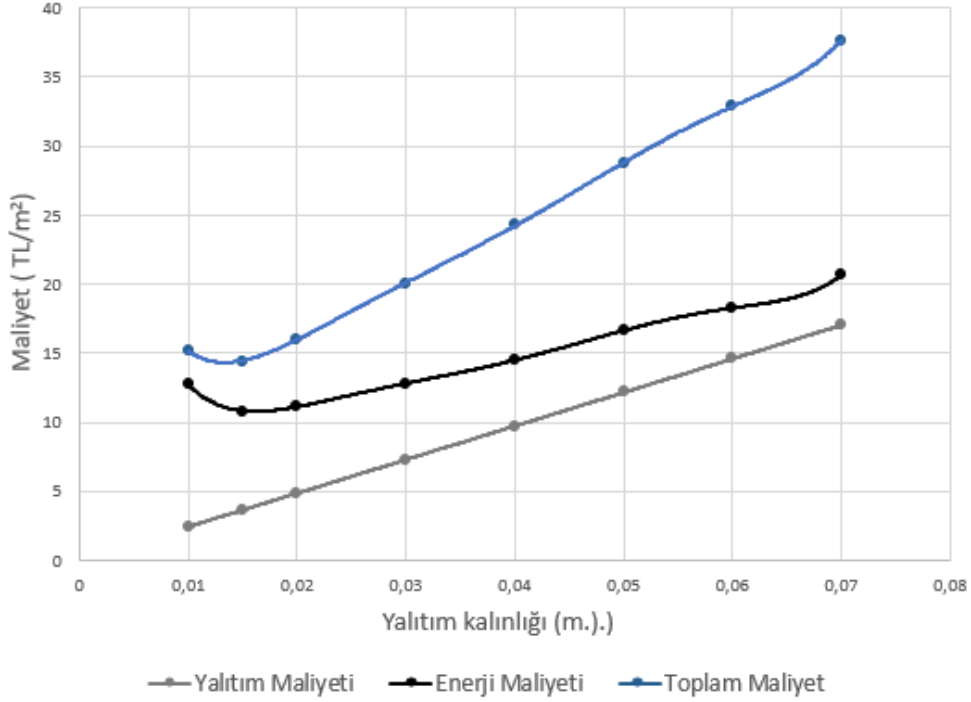


**Şekil 4.15.** Tüm duvar yönleri için yalıtım kalınlığına bağlı toplam maliyet değişimi

**Çizelge 4.12.** Tüm duvar yönlerinde XPS ile yalıtılmış duvar için yalıtım kalınlığına bağlı toplam maliyet değişimi

Yalıtım Kalınlığı (m.)	C <sub>t</sub> - Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )		
	Güney	Kuzey	Batı ve Doğu
0,01	15,15	13,88	17,83
0,015	14,43	13,36	16,7
0,02	16,03	14,92	18,38
0,03	20,06	18,79	22,75
0,04	24,24	22,8	27,3
0,05	28,78	27,13	32,28
0,06	32,86	31,05	36,71
0,07	37,66	35,61	41,99
0,08	42,15	39,89	46,93

Şekil 4.16.'da gösterildiği gibi güneye bakan duvar için yalıtım kalınlığı maliyetindeki değişim verilmiştir. Beklendiği gibi yalıtım kalınlığının artmasıyla enerji maliyeti azalmıştır.



Şekil 4.16. Güney yönüne bakan duvar için yalıtım kalınlığıyla maliyetin değişimi

Çizelge 4.13. Tüm duvar yönleri için XPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı ve minimum toplam maliyet değerleri

Duvar Yönü	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	Minimum Toplam Maliyet (TL/m²)
Güney	0,017	15,07
Kuzey	0,016	13,67
Batı/ Doğu	0,018	17,71

Çizelge 4.13’de toplam maliyeti minimum yapan yalıtım kalınlığı gösterilmiştir. Çizelge 4.10., 4.11’de ve Şekil 4.15’te gösterildiği gibi sırasıyla güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için optimum yalıtım kalınlığı 1,7; 1,6; 1,8 ve 1,8 cm’dir. Minimum maliyetin en düşük kuzey yönünde 13,67 TL/m<sup>2</sup> olurken en yüksek maliyetin güneş ışınımı ve soğutma yükü en yüksek olan doğu ve batı yönünde 17,71 TL/m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır. Güney yönünde ise 15,07 TL/m<sup>2</sup>’lik minimum toplam maliyetin çıktığı gözlenmiştir.

Optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak toplam enerji maliyeti ve yalıtım maliyeti değerleri ile Bursa ili için alınan örnek bir binanın geri ödeme süresi hesaplanabilir. Aşağıdaki tablolarda gösterilen değerler üzerinden interpolasyon yapılmış ve buna göre her bir duvar yönü için geri ödeme süreleri bulunmuştur.

**Çizelge 4.14.** Güney yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri

Yalıtım Kalınlığına Göre Enerji ve Yalıtım Maliyeti			C <sub>t</sub> - Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Yalıtım Maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )	Enerji Maliyeti - Güney Yönünde (TL/m <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub> (TL/m <sup>2</sup> )
0,01	2,43	12,72	15,15
0,015	3,64	10,78	14,43
0,02	4,86	11,17	16,03
0,03	7,29	12,77	20,06
0,04	9,72	14,52	24,24
0,05	12,16	16,62	28,78
0,06	14,59	18,27	32,86

**Çizelge 4.15.** Kuzey yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri

Yalıtım Kalınlığına Göre Enerji ve Yalıtım Maliyeti			C <sub>t</sub> - Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Yalıtım Maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )	Enerji Maliyeti - Kuzey Yönünde (TL/m <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub> (TL/m <sup>2</sup> )
0,01	2,43	11,45	13,88
0,15	3,64	9,71	13,35
0,02	4,86	10,05	14,91
0,03	7,29	11,5	18,79
0,04	9,72	13,08	22,8
0,05	12,16	14,97	27,13

**Çizelge 4.16.** Batı yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri

Yalıtım Kalınlığına Göre Enerji ve Yalıtım Maliyeti			C <sub>t</sub> - Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Yalıtım Maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )	Enerji Maliyeti - Batı Yönünde (TL/m <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub> (TL/m <sup>2</sup> )
0,01	2,43	15,39	17,82
0,15	3,64	13,06	16,7
0,02	4,86	13,51	18,37
0,03	7,29	15,46	22,75
0,04	9,72	17,57	27,29
0,05	12,16	20,12	32,28

**Çizelge 4.17.** Doğu yönüne bakan duvar için yalıtım, enerji ve toplam maliyet değerleri

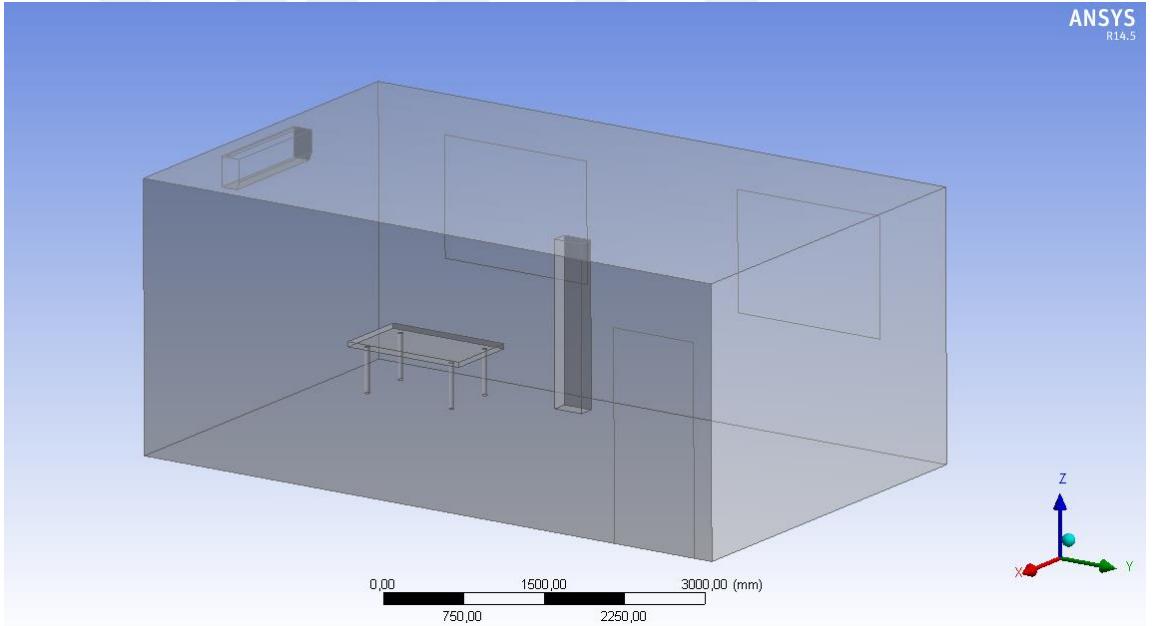
Yalıtım Kalınlığına Göre Enerji ve Yalıtım Maliyeti			C <sub>t</sub> - Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )
Yalıtım Kalınlığı (m.)	Yalıtım Maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )	Enerji Maliyeti - Batı Yönünde (TL/m <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub> (TL/m <sup>2</sup> )
0,01	2,43	15,39	17,82
0,15	3,64	13,06	16,7
0,02	4,86	13,51	18,37
0,03	7,29	15,46	22,75
0,04	9,72	17,57	27,29
0,05	12,16	20,12	32,28

Sadece soğutma durumu için literatürde yapılan çalışmalar ile mevcut çalışmayı kıyaslamak için Bursa iklimine yakın iklime sahip İstanbul ili ele alınmıştır. Buna göre bulunan sayısal verilere bakılırsa optimum yalıtımın 0 ile 0.02 m. arasında ve 0.02 m.'ye daha yakın olduğu görülmektedir (Kaynaklı ve Kaynaklı 2016). Mevcut çalışmada bulunan optimum yalıtım kalınlığı değerleri ise 0.016 ila 0.018 m. arasında değişmektedir. İstanbul için yapılan çalışmada optimum yalıtım maliyetinin ise m<sup>2</sup> başına yaklaşık 6 dolar bulunmuştur. Mevcut çalışmada ise bu değer yaklaşık 13 ila 17 TL/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu durum da sonuçların beklendiği gibi ortaya çıktığını göstermektedir.

#### 4.7. Modellenmiş Bir Oda İçin ANSYS Programını Kullanarak Çeşitli Faktörlere Bağlı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

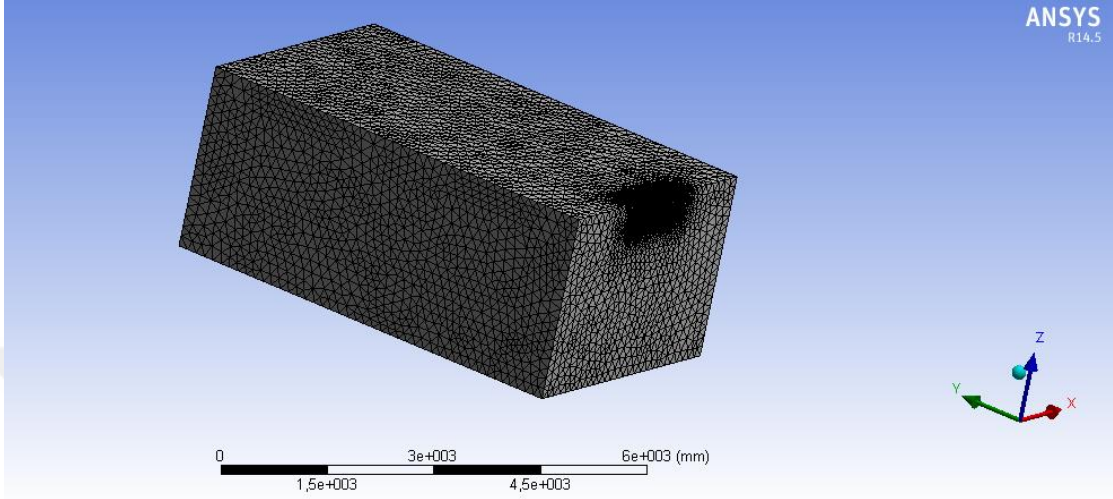
ANSYS programı yardımıyla bir oda modellenmiş ve farklı durumlar için analiz yapılmıştır. Solar radyasyonun göz önünde bulundurulduğu, solar radyasyonun göz önünde bulundurulmadığı iki durum ile tüm duvarların yalıtıldığı ve yalıtılmadığı durumlar olmak üzere dört farklı analiz yapılmıştır.

Şekil 4.18.'de olduğu gibi odanın içerisinde bir klima, iki pencere ve kapı modellenmiştir. Odanın boyutları Y ekseninde 6400 mm, X yönünde 3900 mm ve Z yönünde 2700 mm.'dir. Duvar tipi klima duvarın tam orta noktasında konumlandırılmıştır.



Şekil 4.17. ANSYS Programında Modellenmiş Bir Oda

ANSYS programı ile odanın içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımlarının daha doğru sonuçlar vermesi için mesh işlemi dikkatli bir şekilde yapılmış ve bu ağ yapısı Şekil 4.18.'da gösterilmiştir. Her bir eleman isimlendirilerek sınır koşulları belirlenmiştir.

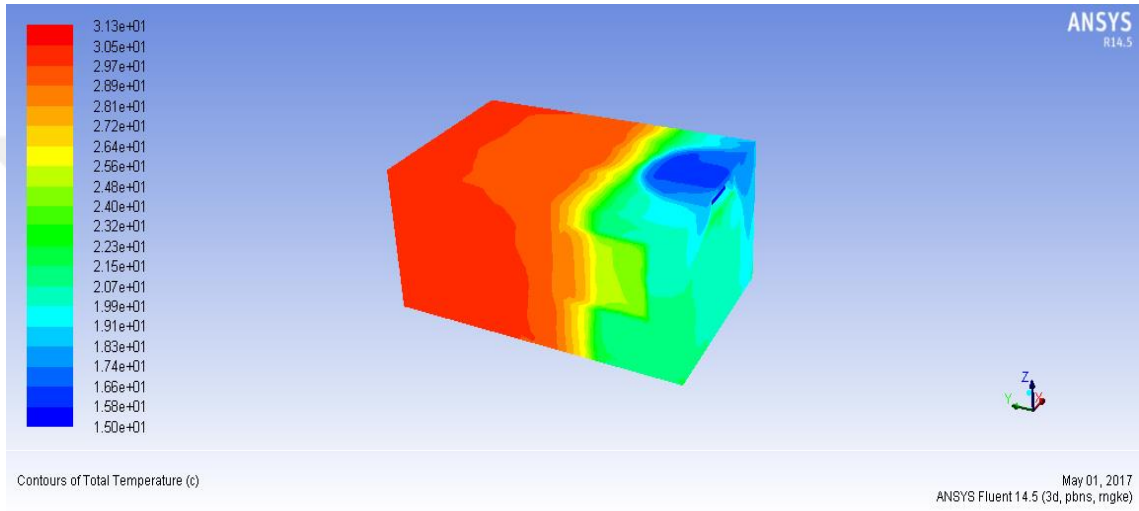


**Şekil 4.18.** ANSYS Programında Odanın Mesh Yapısı

ANSYS içerisindeki Setup bölümü üzerinde konum için Bursa'nın enlem ve boylam değerleri girilmiş ve radyasyonlu durum için solar radyasyon aktif edilmiştir. Pencerenin malzemesi 'glass' olarak seçilmiş yalıtımlı durum için duvarlardaki yalıtım malzemesinin (XPS'nin) termofiziksel özellikleri manuel olarak girilmiştir. Sınır koşulları içerisinde pencerenin yarı geçirgen olduğu belirlenmiştir. Klimanın üfleme hızı 1 m/s olarak tercih edilmiş akış yönü için kartezyen koordinatlar dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra girişteki sıcaklık değeri oda sıcaklığı ( $15^{\circ}\text{C}$ ) olarak belirlenmiştir. Duvarların yalıtılmış olduğu durumlar için duvar kalınlığına bağlı ısı transfer katsayısı değeri yalıtım malzemesinin termofiziksel özelliklerinde olduğu gibi manuel olarak girilmiştir. Tüm bu durumlara göre dört farklı durum göz önünde bulundurularak sıcaklık ve hız dağılımları üzerine değerlendirme yapılabilir. Öncelikle radyasyonun olmadığı ve radyasyonun olduğu durumlar için sonrasındaysa yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlar için sıcaklık ve hız değerlerindeki farklılıklar mukayese edilebilir.

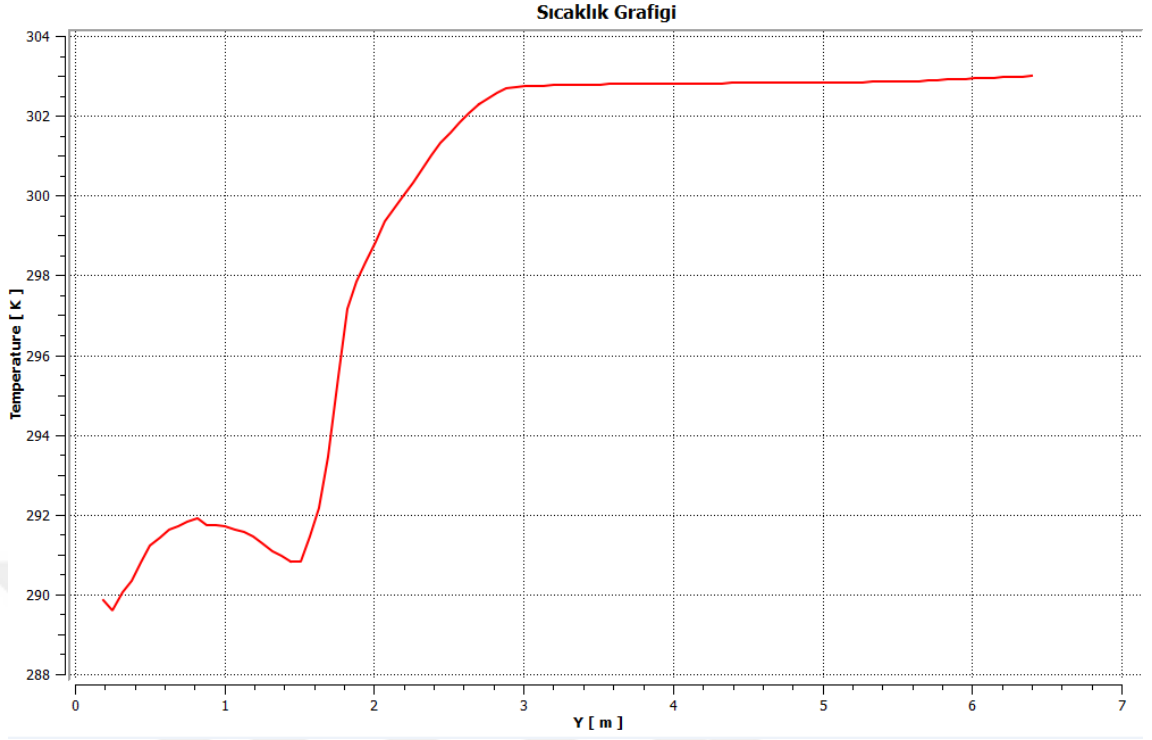


Solar radyasyonun sıcaklığı pozitif yönde etkilemesinden dolayı radyasyonlu durumda sıcaklık radyasyonsuz duruma göre çok daha fazladır. Bu farklılık tüm duvarlar için Şekil 4.19. ve Şekil 4.21’de görülebilir. Klimanın etkisinin belirli bir alana kadar etki ettiği pencerenin bulunduğu duvar göz önünde bulundurularak tespit edilebilir. Belirli bir alandan sonra bile solar radyasyonun etkisiyle sıcaklık gittikçe artarken radyasyonsuz durumda Y ekseninde sıcaklık neredeyse sabitlenmiştir. Bu durumda solar radyasyonun etkisinin sıcaklık dağılımı üzerine pozitif bir etki yarattığı söylenebilir.

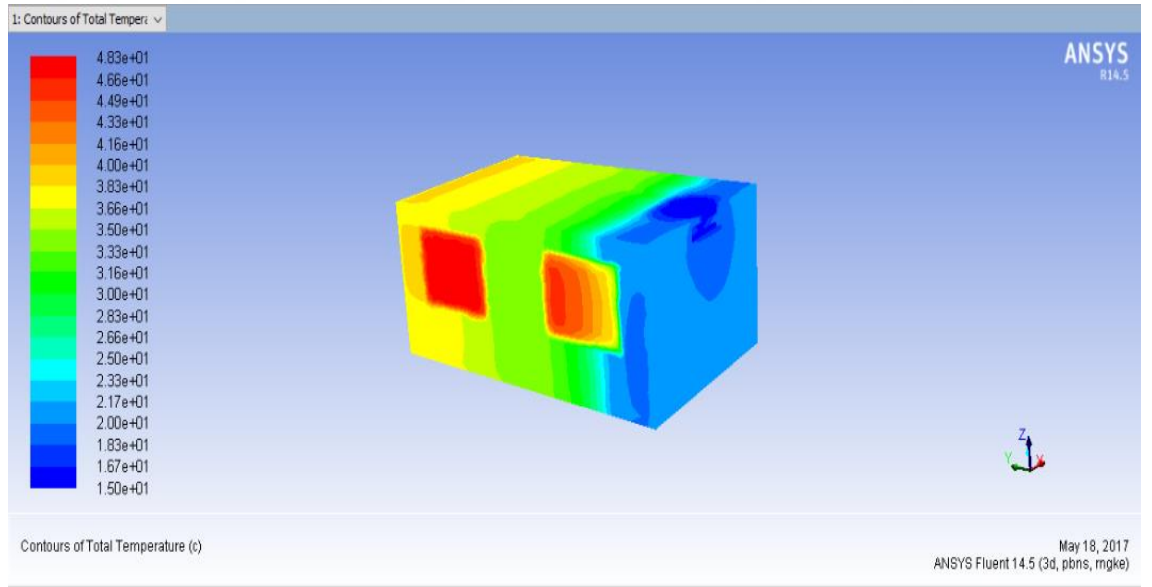


**Şekil 4.19.** Radyasyonsuz durum için sıcaklık dağılımı

Şekil 4.20’de radyasyonsuz durum için sıcaklığın Y ekseninde dağılımı görülmektedir. 2 m.’ye kadar sıcaklıktaki değişim farkının maksimum olduğu fakat 2 m.’den sonra sıcaklık dağılımında değişim olsa da ilk 2 m. kadar değişim olmamıştır. 3 m.’den 6 m.’ye kadar ise sıcaklık sabit şekilde devam etmiştir (30 °C).

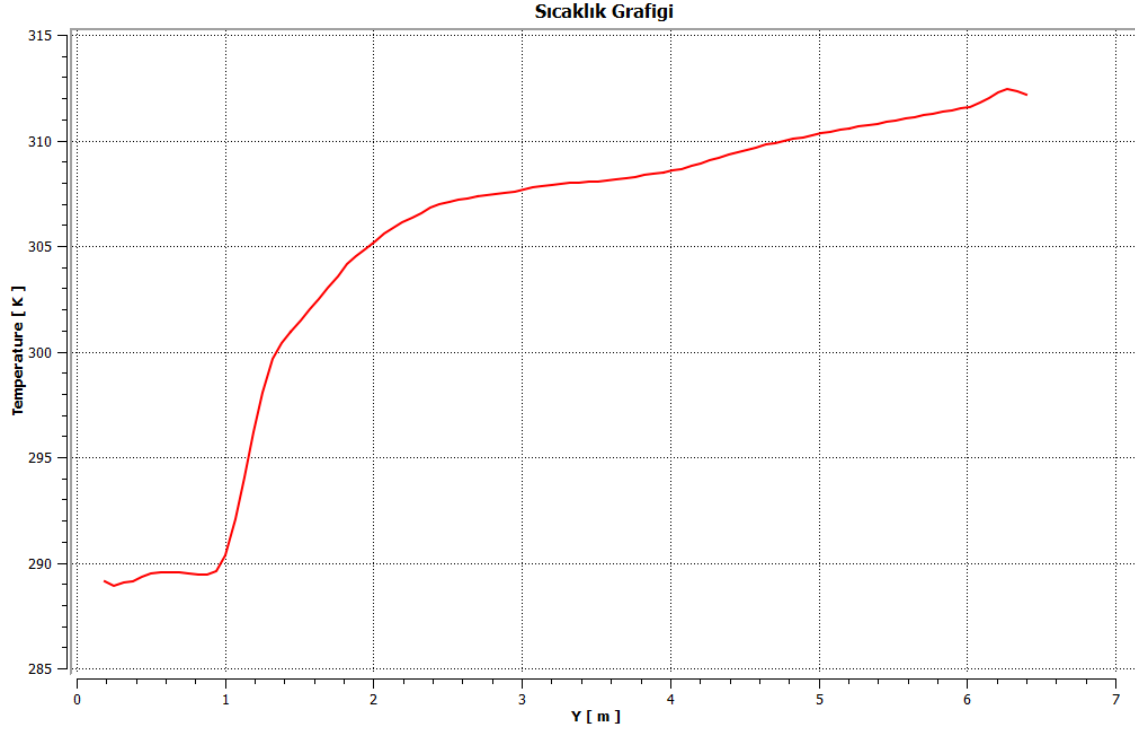


**Şekil 4.20.** Radyasyonsuz durum için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık dağılımı



**Şekil 4.21.** Radyasyonlu durum için sıcaklık dağılımı

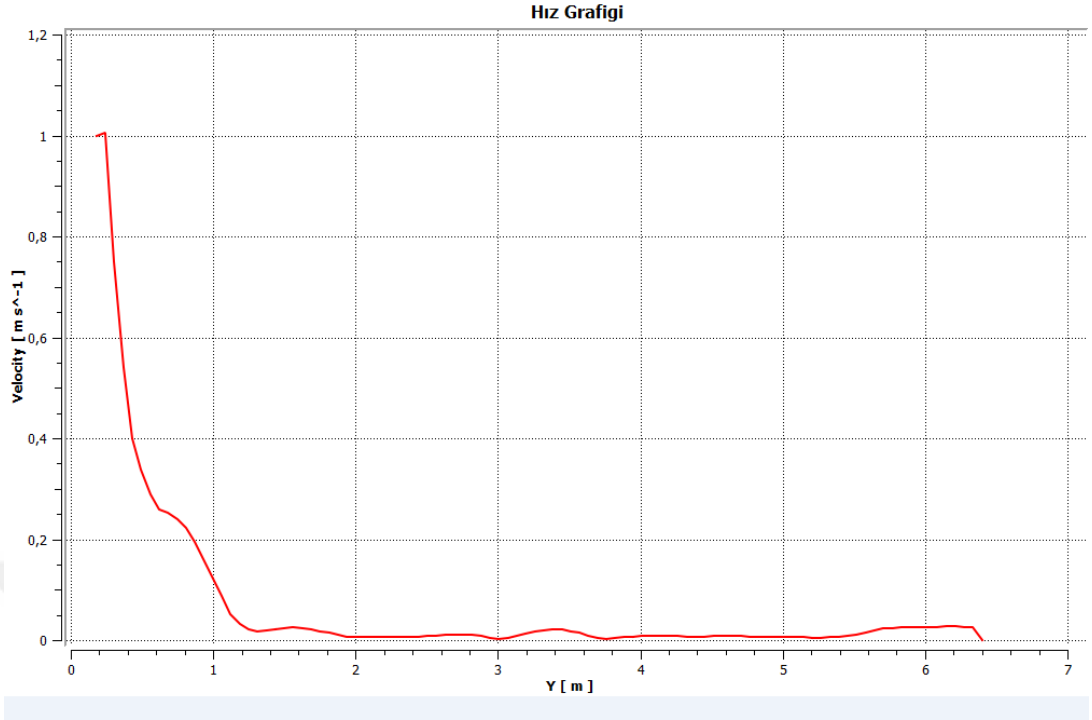
Şekil 4.22’de radyasyonlu durum için sıcaklığın Y ekseninde dağılımı görülmektedir. 1 m.’den sonra sıcaklıktaki değişimin çok yüksek olduğu ve sıcaklığın 6. m.’de yaklaşık 40 °C’ye ulaştığı görülmektedir.



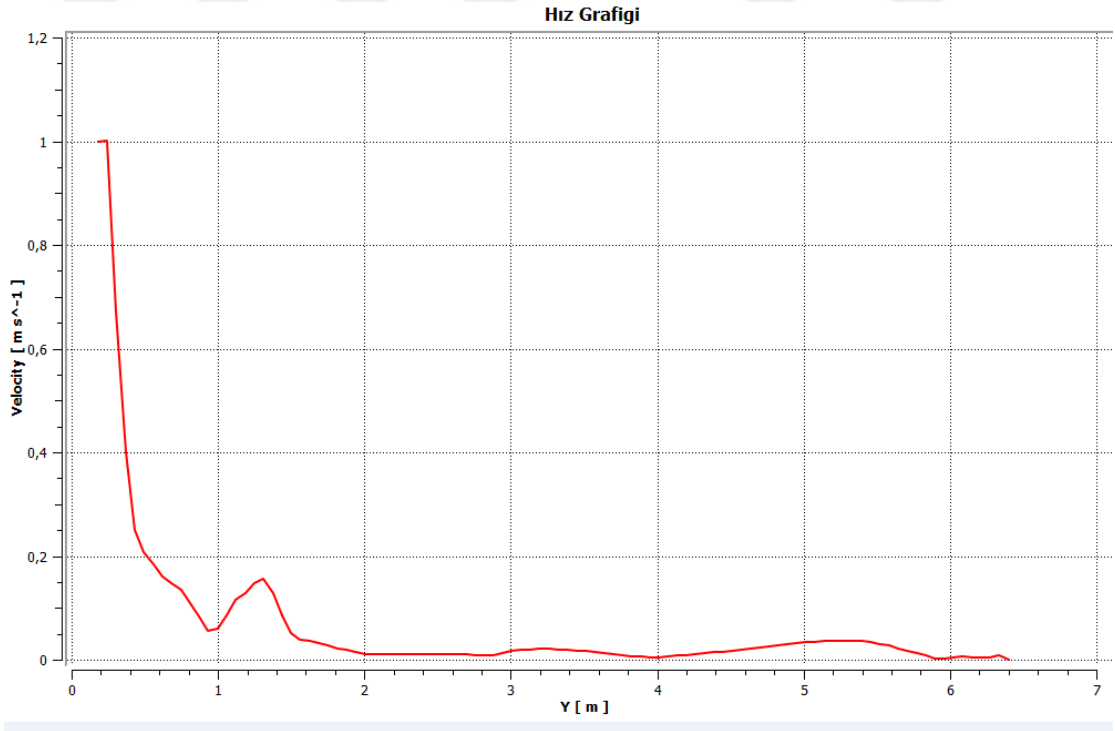
**Şekil 4.22.** Radyasyonlu durum için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık dağılımı

Klimanın üfleme hızı 1 m/s alındığında karşı duvara kadar hızın etkisinin ne şekilde kaybolduğu Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.’ten görülmektedir. Dolayısıyla radyasyonlu ve radyasyonsuz durumlar için klima hızındaki değişimin belli bir mesafeden sonra etkisinin çok fazla olmadığı söylenebilir.

CFD çalışması ile bulunan sonuçlar ile güneş-hava sıcaklığı değerleri kıyaslandığında teorik olarak bulunan solar hava sıcaklığı değeri, Çizelge 4.2’ye bakıldığında 15 Haziran gününde güneş en tepede olduğu an için maksimum 45 °C olmuştur. Şekil 4.21’de bu sonucun 48 °C’ye tekabül ettiği görülmektedir. Dolayısıyla 3 °C’lik bir fark söz konusu olmuştur. Güneş-hava sıcaklığının soğutma-gün dereceyi ve dolayısıyla soğutma iletim yükünü etkileyeceğinden benzer oranlarda bir değişiklik olacağı söylenebilir.

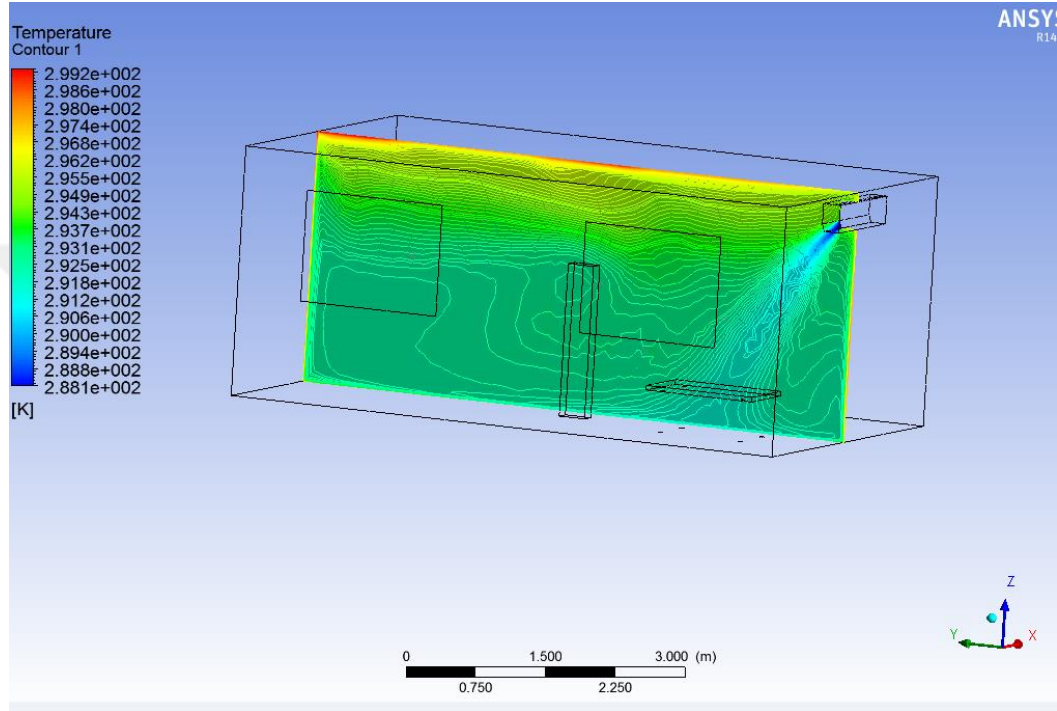


**Şekil 4.23.** Radyasyonsuz durum için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı

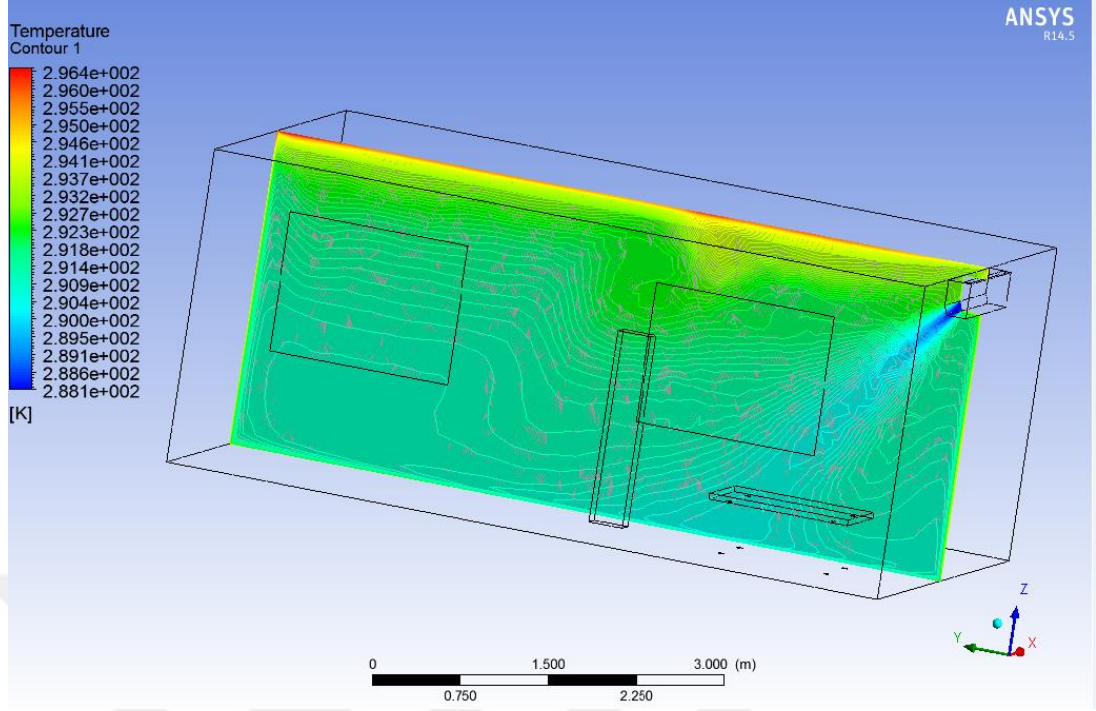


**Şekil 4.24.** Radyasyonlu durum için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı

Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.'ya bakıldığında sıcaklık kontürlerini orta düzlem boyunca yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için incelediğimizde yalıtılmış durumun yalıtılmamış duruma göre 3 °C'lik bir fark olduğu görülmektedir. Şekil 4.25. ve 4.26'da meydana gelen sıcaklık değişimlerini daha iyi incelemek için orta düzlemde grafik oluşturup buna göre değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır.

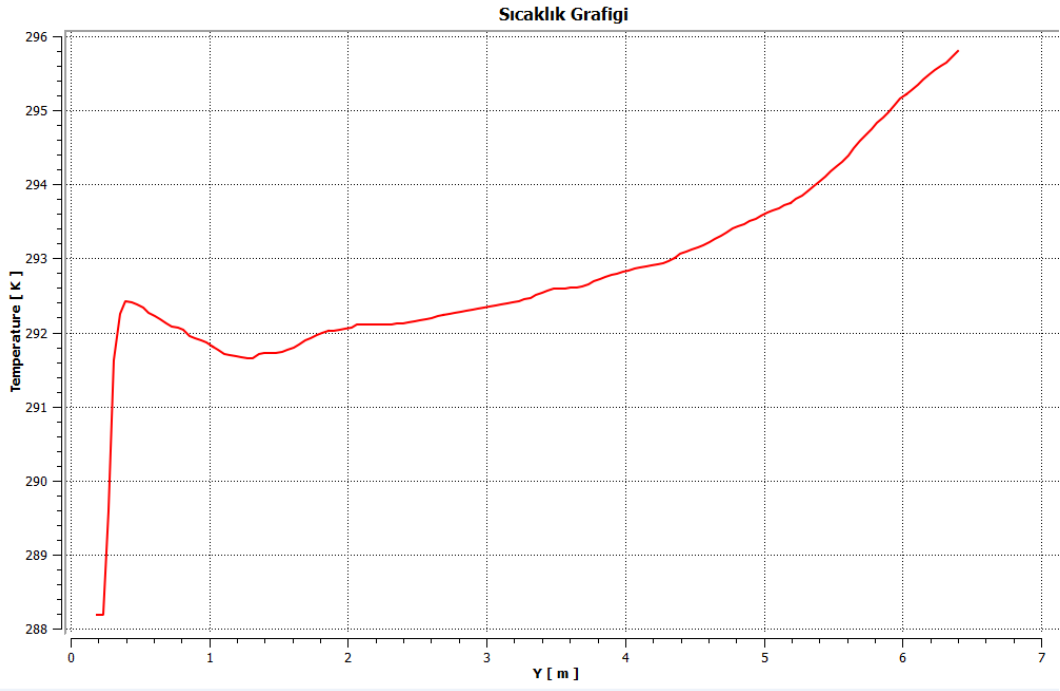


Şekil 4.25. Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık kontürü

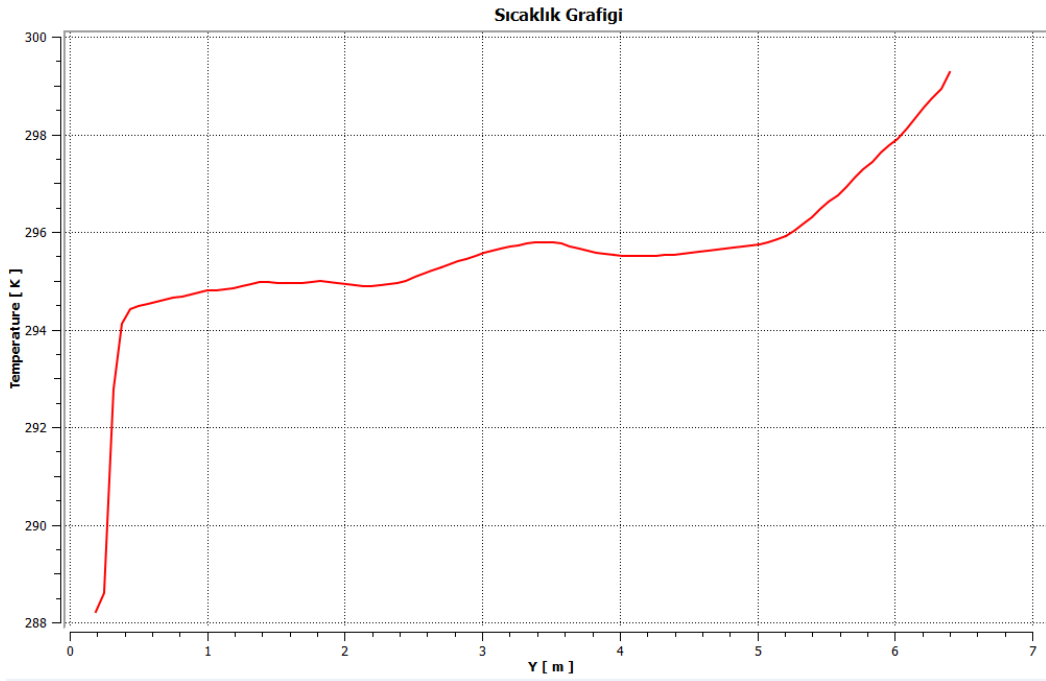


**Şekil 4.26.** Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık kontürü

Şekil 4.27. ve 4.28. incelendiğinde Y ekseninde 1 metreye kadar olan mesafede çok az sıcaklık değişimi olsa da bu mesafeden sonra aynı eksende sıcaklığın giderek arttığı söylenebilir. Klimanın etki alanı düşünüldüğünde iki durum için de tavanda sıcaklığın daha fazla olduğu tabandaysa tam tersi bir durumun söz konusu olduğu görülebilir. Bu duruma sebep olan ise klimanın üfleme hızı ve duvarların yalıtılmış olmasıdır.

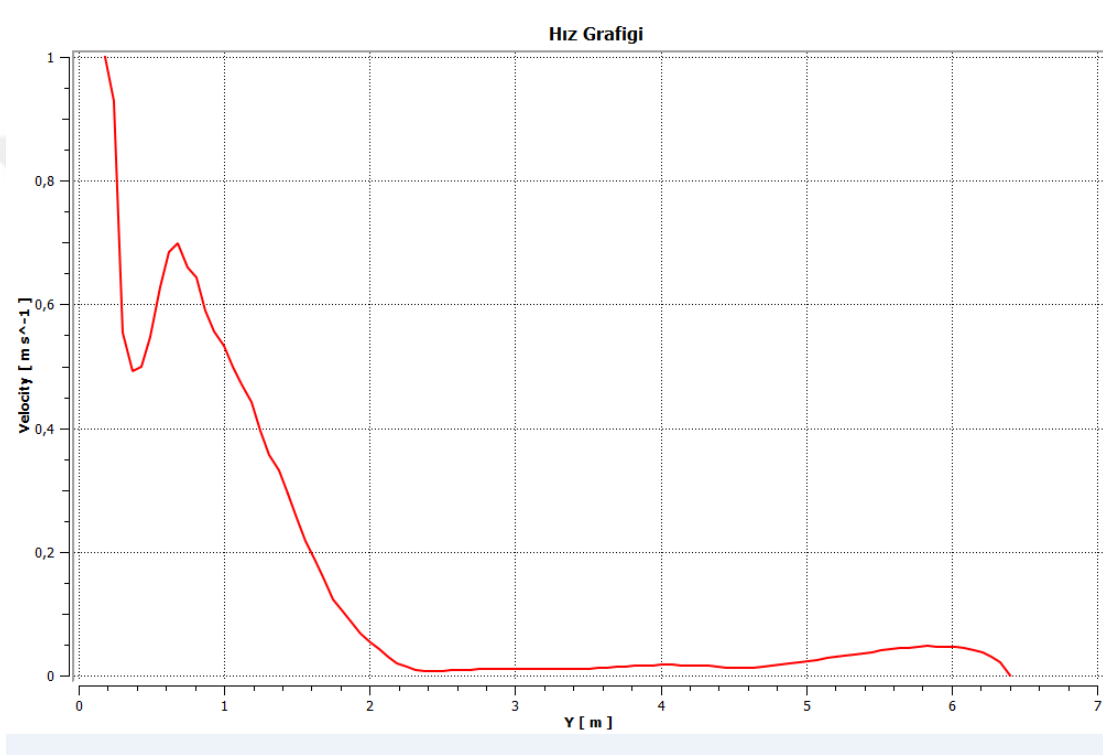


**Şekil 4.27.** Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık grafiği



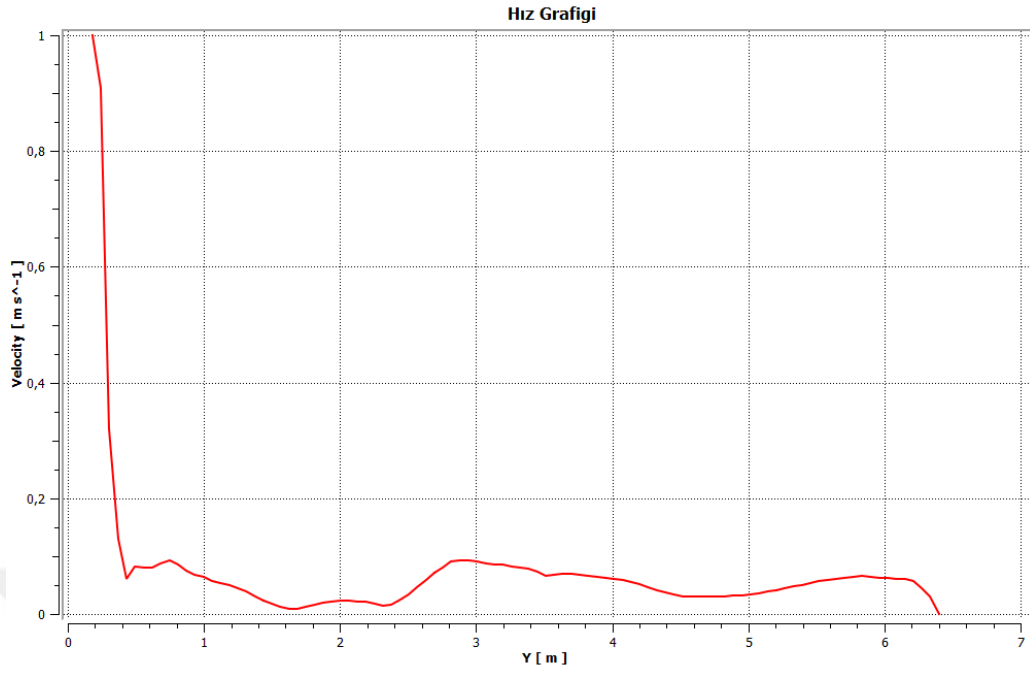
**Şekil 4.28.** Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde sıcaklık grafiği

Şekil 4.29. ve Şekil 4.30. ele alındığında her ikisinde de belirli bir mesafeden sonra hızda hafif dalgalanmalar olsa bile hız belli değerler arasında kalmıştır. Fakat y ekseninde 2 metreye kadar hızda yalıtılmış ve yalıtılmamış duvarlarda gözle görülebilir farklılık olduğu söylenebilir. Yalıtımsız duvar için hızda ani bir düşüş gözlenirken yalıtımlı durumda y eksenini boyunca 1 metreye kadar hızda bir dalgalanma mevcutken ancak 2 metrede bu durum dengelenmiştir. Radyasyonlu-radyasyonsuz durumun aksine yalıtımlı-yalıtımsız durum hızın belirli mesafeye kadar etkisi olduğu görülmektedir.

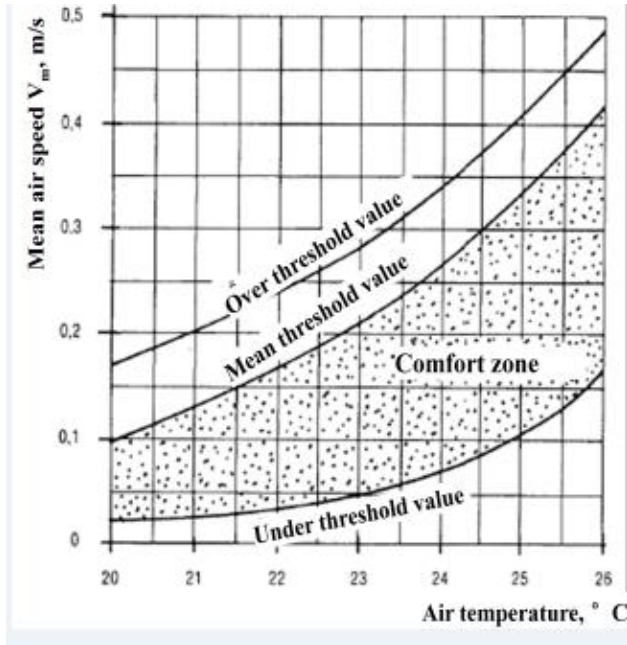


Şekil 4.29. Yalıtımlı duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı

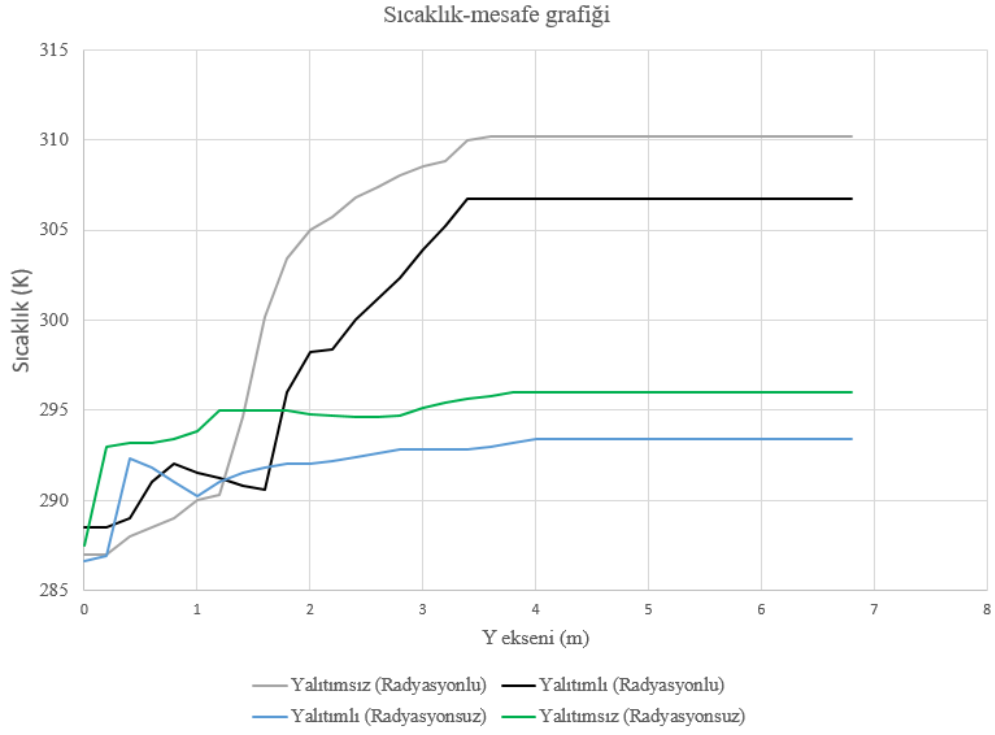




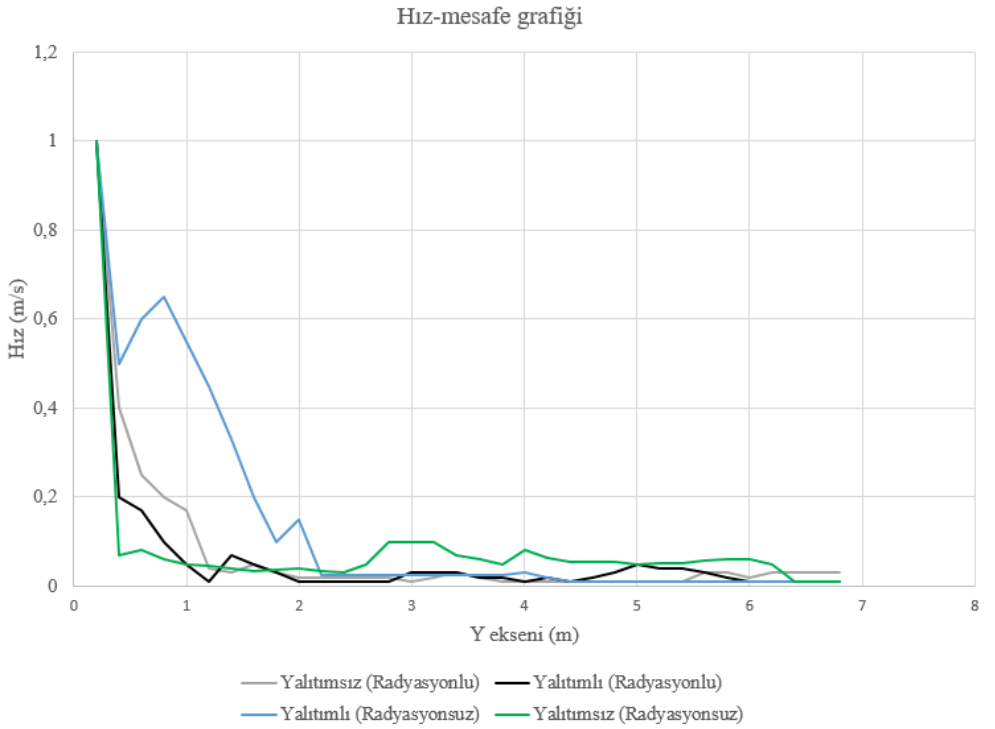
Şekil 4.30. Yalıtımsız duvarlar için orta düzlemde Y ekseninde hız dağılımı



Şekil 4.31. Konforlu bölge için ortalama hava hızı ve hava sıcaklığı değişimi



**Şekil 4.32.** 4 farklı durum için orta düzlemde sıcaklık-mesafe grafiği



**Şekil 4.33.** 4 farklı durum için orta düzlemde hız-mesafe grafiği

İnsanın boyutlarıyla çizilen durum dikkate alındığında Y ekseninde 2. metrede yer aldığı görülmektedir. Her bir durum için insanın bulunduğu konumun konforlu bölgede olup olmadığını belirlemek için DIN-1946 standartları baz alınır. Bu durumda aşağıdaki Şekil 4.31. kıstas olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33 dikkate alındığında radyasyonsuz durumda insanın bulunduğu konum için sıcaklığın konforlu bölgenin altında olduğu; yalıtımlı durum için konforlu bölgede olabileceği; yalıtımsız durumdaysa konforlu bölgede olduğu görülmektedir. Duvarın yalıtımlı veya yalıtımsız olduğu dikkate alındığında insanın bulunduğu konumun klimanın bulunduğu konuma uygun olduğu söylenebilir.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Bursa ili seçilerek yalıtılmış ve yalıtılmamış duvarlar için termal ve ekonomik parametreler kullanılarak her bir duvar yönü için optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Solar radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu değerlerde güneş hava sıcaklığının en yüksek değerleri aldığı, solar radyasyonun en düşük değerlerinde ise güneş hava sıcaklığının yine en az değerlere sahip olduğu görülebilir. Maksimum solar radyasyon değerine ve güneş hava sıcaklığına güney yönünde ulaşılırken minimum değerlerin ise kuzey yönünde olduğu görülmektedir.

Sonuçlar gösterir ki yalıtım kalınlığı ile ısı transfer katsayısı ters orantılı olduğundan yalıtım kalınlığı arttıkça ısı transfer katsayısında ve dolayısıyla soğutma iletim yükünde azalma meydana gelmektedir. Soğutma iletim yükünü etkileyen bir diğer faktör soğutma derece-gün değerleridir ve meteorolojik verilerle literatürden faydalanılarak soğutma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Doğu ve batı yönünde 553,35 °C.gün ile maksimum derece-gün değerlerine ulaşılırken minimum değerlere 411,19 °C.gün ile kuzey yönünde olduğu görülmüştür. Burada soğutma gün sayılarının önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Yıllık soğutma iletim yükü değerleri göz önünde bulundurulduğunda yalıtımsız duvar için soğutma iletim yükünün 4 cm'lik XPS ve EPS ile yalıtılmış dış duvarlara oranla çok daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Yalıtımsız duvar için en yüksek değer 58,7 MJ/m<sup>2</sup> ile doğu ve batı yönünde ulaşıldığı minimum yıllık soğutma iletim yüküne de 4 cm'lik XPS ile yalıtılmış duvar için 16,21 MJ/m<sup>2</sup> ulaşılmıştır. Bununla birlikte her yön için XPS ile yalıtılmış duvarın soğutma iletim yükü değerlerinin EPS'ye göre daha düşük değerlere sahip olduğu elde edilmiştir.

Duvar yönüne bağlı maliyet hesaplaması yapılırken yalıtım malzemesi maliyeti, enerji tüketim maliyeti değerleri, faiz ile enflasyon oranları, soğutma performans katsayısı ve şimdiki değer faktörü gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Yalıtım kalınlığı arttıkça toplam maliyette azalma meydana gelmiş fakat belirli kalınlıktan sonra toplam maliyette artışın meydana geldiği görülmüştür. Toplam maliyeti minimum yapan yalıtım

kalınlığı değeri optimum yalıtım kalınlığını verir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı 0,016 m ile kuzey yönünde meydana gelirken en yüksek optimum yalıtım kalınlığı değerine 0,018 m ile batı ve doğu yönünde ulaşılmıştır. Güney yönü için optimum yalıtım kalınlığı 0,017 m'dir. Dolayısıyla toplam maliyetin en düşük olduğu duvar yönünün kuzey, en yüksek olduğu duvar yönününse doğu yönünde olduğu yine tespit edilen diğer bir durumdur. Buna göre toplam maliyet değerleri sırasıyla güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için 15,07; 13,67; 17,71 TL/m<sup>2</sup>'dir.

Sadece soğutma durumu için literatürde yapılan çalışmalar ile mevcut çalışmayı kıyaslamak için Bursa iklimine yakın iklime sahip İstanbul ili ele alınmıştır. Buna göre bulunan sayısal verilere bakılırsa optimum yalıtımın 0 ile 0.02 m. arasında ve 0.02 m.'ye daha yakın olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmada bulunan optimum yalıtım kalınlığı değerleri ise 0.016 ile 0.018 arasında değişmektedir. İstanbul için yapılan çalışmada optimum yalıtım maliyetinin ise m<sup>2</sup> başına yaklaşık 6 dolar bulunmuştur. Mevcut çalışmada ise bu değer yaklaşık 13 ile 17 TL/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu durum da sonuçların beklendiği gibi ortaya çıktığını göstermektedir.

Isıtma yüküne göre değişikliğin ne şekilde olacağı literatürde belirtilmiştir. Buna göre iklim bakımından Bursa ile benzer özellik taşıyan İstanbul'da ısıtma yükü ile değerlendirme yapıldığında yalıtım kalınlığı değerinin soğutma yükü ile bulunan sonuçlara kıyasla daha etkin olduğu söylenebilir. Bu da ısıtma yükü ile hesaplamalar yapıldığında hem optimum yalıtım kalınlığında hem de toplam maliyet değerlerinde artış olacağı söylenebilir. Bu doğrultuda bundan sonra bu çalışma üzerinden devam edeceklere ısıtma yükü dikkate alınıp yalıtım kalınlığı üzerine değerlendirme yapılabileceği söylenebilir.

ANSYS programı yardımıyla bir oda modellenmiş ve farklı durumlar için analiz yapılmıştır. Öncelikle radyasyonlu ve radyasyonsuz durumlar dikkate alınmış ve buna göre çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Solar radyasyonun sıcaklığı pozitif yönde etkilemesinden dolayı radyasyonlu durumdaki sıcaklığın radyasyonsuz durumdakine

göre çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Klimanın etkisinin belirli bir alandan sonra bile solar radyasyonun etkisiyle sıcaklık gittikçe artarken radyasyonsuz durumda Y ekseninde sıcaklık neredeyse sabitlenmiştir. Bu durumda solar radyasyonun etkisinin sıcaklık dağılımı üzerine pozitif bir etki yarattığı söylenebilir. Hızın belirli bir mesafeden sonra etki etmediği de analiz sonucu elde edilen grafiklerden anlaşılabilir. Dolayısıyla radyasyonlu ve radyasyonsuz durumlar için klima hızındaki değişimin belli bir mesafeden sonra etkisinin çok fazla olmadığı söylenebilir.

Yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarda sıcaklık ve hız etkisi incelendiğinde sıcaklık kontürlerini orta düzlem boyunca yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için yalıtılmış durumun yalıtılmamış duruma göre 3 °C'lik farkın olduğu görülmektedir. Y ekseninde 1 metreye kadar olan mesafede çok az sıcaklık değişimi olsa da bu mesafeden sonra aynı ekseninde sıcaklığın giderek arttığı söylenebilir. Hızda hafif dalgalanmalar olsa bile, belirli bir mesafeden sonra belli değerler arasında kalmıştır. Fakat y ekseninde 2 metreye kadar hızda yalıtılmış ve yalıtılmamış duvarlarda gözle görülebilir farklılık olduğu söylenebilir. Yalıtımsız duvar için hızda ani bir düşüş gözlenirken yalıtımlı durumda y eksenini boyunca 1 metreye kadar hızda bir dalgalanma mevcutken ancak 2 metrede bu durum dengelenmiştir. Radyasyonlu-radyasyonsuz durumun aksine yalıtımlı-yalıtımsız durumda hızın belirli mesafeye kadar etkisi olduğu görülmektedir. Isıl konfor için ise radyasyonsuz durumda insanın bulunduğu konumun sıcaklığın konforlu bölgenin altında olduğu; yalıtımlı durum için konforlu bölgede olabileceği; yalıtımsız durumdaysa konforlu bölgede olduğu görülmektedir. Duvarın yalıtımlı veya yalıtımsız olduğu dikkate alındığında insanın bulunduğu konumun klimanın bulunduğu konuma uygun olduğu söylenebilir.

Tüm durumları dikkate alıp bunun üzerinde devam edecekleri kış ayları için solar radyasyon ve solar hava sıcaklığını da göz önünde bulundurarak ısıtma iletim yükünün de dahil edilmesiyle optimum yalıtım kalınlığının ve toplam maliyetin ne şekilde değiştiği belirlenebilir. Bu çalışmada yalıtım kalınlığını belirlemek için soğutma iletim yükünün önemli bir faktör olduğu değerlendirilmiş ve dolayısıyla sadece yaz ayları için hesaplamalar yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Al-Khawaja, M., 2004.** Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation. *Applied Thermal Engineering*. 24: 2601–2610.
- Al-Sanea, S., 2002.** Optimum insulation thickness for building walls in a hot-dry climate. *International Journal of Ambient Energy*. 23(3): 115-126.
- Al-Sanea, S., A., Zedan M., F., Al-Ajlan S., A., 2005.** Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model. *Applied Energy*. 82: 313–330.
- Anonim 1999,** TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Mecburi Standart Tebliği, Ankara.
- Anonim, 2012.** EPDK Rüzgar ve Güneş Ölçüm Standardı Tebliği. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İstanbul, Türkiye.
- Anonim, 2015.** Turkey's Energy Profile And Strategy. <http://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>. (Erişim Tarihi: 04.04.2017)
- Anonim, 2016.** TÜİK, İstatistiklerle Türkiye, 2016. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- Anonim, 2017.** Bursa için Saatlik Hava Tahmini. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İstanbul, Türkiye. <https://www.mgm.gov.tr/tahmin2016/saatlik.aspx#sfU>. (Erişim Tarihi: 04.04.2017)
- Axaopoulos I., Axaopoulos, P., Gelegenis, J., 2014.** Optimum insulation thickness for external walls on different orientations considering the speed and direction of the wind. *Applied Energy*. 117: 167–175.
- Aydın, İ., 2010.** Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya.
- Bolattürk, A., 2007.** Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*. 43: 1055–1064.
- Çomaklı, K., Yüksel, B., 2002.** Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*. 23: 473–479.
- Dağsöz, A.K., Işık, K., Bayraktar, K.G., 1999.** Yapılarda Sıcak Etkisinin Getirdiği Problemlerin Isı Yalıtımı ile Çözümü ve Enerji Tasarrufu, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*. 329-339.
- Daouas, N., 2010.** 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.

- Dombaycı, Ö., A., Gölcü M., Pancar Y., 2005.** Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*. 83: 921–928.
- Fertelli, A., 2013.** Determination of Optimum Insulation Thickness For Different Building Walls In Turkey. *Transactions Of Famena XXXVII-2*. ISSN 1333-1124: 103-113.
- Ghedamsi, R., Settou, N., Saifi, N., Dokkar, B., 2014.** Contribution on buildings design with low consumption of energy incorporated PCMs. *Energy Procedia*. 50: 322 – 332.
- Hasan, A., 1999.** Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy* 63: 115-124.
- İbanoğlu, F., Atmaca, M., Kurtuluş, A., B., 2014.** Eski ve Yeni Üniversite Yapılarında Enerji Verimliliği. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*. 3: 65-80.
- Jafri A.H., Bharti, P., K., Ahmad, M., J., 2015.** Optimum Insulation Thickness for Building Evolope-A Review. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 4(9): 214-218.
- Jinghua, Y., Changzhi Y., Liwei T., Dan L., 2009.** A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*. 86: 2520–2529.
- Karadağ, Ç., Gülsaç, I. I., Ersöz, A., Çalışkan, A., 2009.** Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları. *Bilim ve Teknik*. 24-27.
- Karagöz, N., 2004.** Konutlarda Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*.
- Kaynaklı, Ö., 2007.** A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*. 33: 1164–1172.
- Kaynaklı, Ö., Kaynaklı, F., 2016.** Determination of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls Considering The Heating, Cooling, Annual Energy Requirements. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 21(1): 227-241.
- Kaynaklı, Ö., Özdemir, S., Karamangil, M. İ., 2012.** Güneş Işınımı ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 27(2): 367-374.
- Kilic, A., Ozturk, A., 1983.** *Solar Energy (in Turkish)*, Kipas Distribution Inc., Istanbul.
- Koç, E., Şenel, M., C., 2013.** Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine*. 54(639): 32-44.
- Külcü, R., 2015.** Isparta İli İçin Yeryüzüne Ulaşan Güneş Işınımının Modellenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 10 (1):19-26.
- Liua, X., Chena Y., Geb, H., Faziob, P., Chena, G., 2015.** Determination of Optimum Insulation Thickness of Exterior Wall with Moisture Transfer in Hot Summer and Cold Winter Zone of China. *Procedia Engineering*. 121: 1008 – 1015.



- Mahlia, TMI., Iqbal, A., 2010.** Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls Maldives. *Energy*. 35:2242–5.
- Nematchoua, K. M., Raminosa, R., R., C., Mamiharijaon, R., René, T., Orosa, J., A., Elvis, W., Meukam, P., 2015.** Study of The Economical and Optimum Thermal Insulation Thickness for Buildings in a Wet And Hot Tropical Climate: Case of Cameroon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 50: 1192–1202.
- Ozel, M., 2008.** Dynamic approach and cost analysis for optimum insulation thicknesses of the building external walls. *J Fac Eng Archi Gazi Univ*. 23(4):879–884.
- Ozel, M., 2011.** Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method. *Applied Energy*. 88: 2429–2435.
- Ozel, M., 2012.** Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in a hot climate. *Energy Conversion and Management*. 66:106–114.
- Ozel, M., Pihili, K., 2006.** Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations. *Building and Environment*. 42: 3051-3059.
- Pekdogan, T., 2017.** Duvar Yönlenmesinin Isı Kayıp ve Kazançlarına Etkisi. *Makine Mühendisliği Odası Bina Fiziği Sempozyumu*. 1969-1986.
- Ramin, H., Hanafizadeh, P., Akhavanbehabadi, M., A., 2016.** Thermal, Economic and Environmental Optimization of Insulation Thickness in Residential Building's Wall. *Second International Conference on air conditioning and heating / cooling installations*. 1-4.
- Sezer, F., Ş., 2005.** Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2): 79-85.
- Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., 2007.** Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions. *Energy Policy*. 35: 5151–5155.
- Tuncer, T., 2012.** Konutlarda Enerji Verimliliği ve Derece Gün Bölgelerine Göre Farklı Malzemelerde Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti. *Yüksek Lisans Tezi*, DEU. Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı, İzmir.
- Ucar, A., Balo, F., 2009.** Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*. 35: 88-94.
- Yılmaz, A. 2012.** Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya ve Erzincan Örneği). *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Konya.
- Yılmazoğlu, Z., M., 2011.** Binalarda Isı Yalıtımının Örnek İki Binada Karşılaştırılması ve Ekonomik Analizleri, *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, 71(4): 48-56.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erhan Arslan

Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi / 07.03.1992

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Fatih Lisesi/ Bursa

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -

İletişim (e-posta) : [arslan.erhan92@gmail.com](mailto:arslan.erhan92@gmail.com)

Yayınları\* : **Arslan, E., Karagöz, İ., 2017.** Determination of optimum insulation thickness on different wall orientations in a hot climate, 3<sup>rd</sup> International Sustainable Buildings Symposium, 15-17 March 2017, Dubai.