

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKDENİZ İKLİM BÖLGESİ İÇİN
ENERJİ ETKİN BİNA KABUĞU TASARIMINDA
YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan YÖRÜK

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı - Akışkan Programı

EYLÜL 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKDENİZ İKLİM BÖLGESİ İÇİN
ENERJİ ETKİN BİNA KABUĞU TASARIMINDA
YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burhan YÖRÜK
503121133**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı - Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ARISOY

EYLÜL 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503121133 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burhan YÖRÜK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **AKDENİZ İKLİM BÖLGESİ İÇİN ENERJİ ETKİN BİNA KABUĞU TASARIMINDA YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet ARISOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hasan HEPERKAN**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Ağustos 2014**
Savunma Tarihi : **11 Eylül 2014**

Aileme ve Arkadaşılarırma,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının şekillenmesinde ve ilerlemesinde büyük emeği olan ve hiçbir desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Ahmet ARISOY'a; beni koşulsuz destekleyen annem, babam ve kardeşlerime; günleri birlikte geçirdiğim arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

AĞUSTOS 2014

Burhan YÖRÜK
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOLLER	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Motivasyon.....	3
1.4 Metodoloji	4
2. BİNA KABUĞU VE BİLEŞENLERİ	5
2.1 Çatı	5
2.2 Pencere	5
2.2.1 Çerçeve.....	6
2.2.2 Cam	6
2.3 Duvar	7
2.3.1 Duvar Konstrüksiyonları.....	7
2.3.2 Duvar Yalıtımı	8
3. ANALİZ YÖNTEMİ VE ÖRNEK BİNA İÇİN SONUÇLAR.....	11
3.1 EnergyPlus Programı ve Hesap Algoritması.....	11
3.1.1 İletim transfer fonksiyonu (CTF) yöntemi.....	11
3.2 Yöntem	14
3.3 Örnek Bina	16
3.3.1 Örnek bina konstrüksiyon özellikleri	17
3.3.1.1 Dış duvar konstrüksiyonu	17
3.3.1.2 Pencere konstrüksiyonu	17
3.3.2 Örnek bina için sayısal sonuçlar	18
4. DUVAR VE PENCERE ANALİZLERİ	21
4.1 Duvar Yalıtım Kalınlığı Analizleri.....	21
4.2 Duvar Yalıtım Yeri Analizleri.....	26
4.3 Duvar Kütlesi Analizleri	27
4.4 Pencere Analizleri	31
4.4.1 Kaplamalı pencere ile aydınlatma ilişkisi	34
5. BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASINDA YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR	37
5.1 Farklı Yönlerdeki Duvarlara Farklı Yalıtım Kalınlığı Uygulanması	37
5.2 Dinamik Yalıtım.....	39
5.2.1 Sezonluk dinamik yalıtım	39

5.2.2 Günlük dinamik yalıtım	42
5.3 Pasif Yaklaşımların Birlikte Uygulanması	48
6. SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	59

KISALTMALAR

BLAST	: Building Loads Analysis and System Thermodynamics
CTF	: Conduction Transfer Function
DOE-2	: Department of Energy
EC	: Electrochromics
EPS	: Expanded Polystyrene
GC	: Gasochromics
HPI	: High Performance Insulation
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
LWC	: Lightweight Concrete
OSB	: Oriented Strand Board
PCM	: Phase Change Material
SC	: Solar Gain Control
SIP	: Structurally Insulated Panels
TIM	: Transparent Insulation Material
XPS	: Extruded Polystyrene

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Örnek bina için dış duvar bileşenleri.....	17
Çizelge 3.2 : Örnek bina için pencere bileşenleri.	18
Çizelge 3.3 : Örnek bina için toplam enerji ihtiyaçları sonuçlar.	18
Çizelge 4.1 : Yalıtım kalınlığı ile soğutma enerjisi ihtiyacının değişimi.	22
Çizelge 4.2 : İzmir için yalıtımsız duvar halinde duvar kütesine göre aylık soğutma enerjisi ihtiyaçları.	28
Çizelge 4.3 : Pencere analizinde kullanılan değerler.	32
Çizelge 4.4 : Çerçeve ve cam iyileştirilmesi sonucunda oluşan enerji ihtiyaçları.....	33
Çizelge 5.1 : Farklı yöndeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması durumunda soğutma enerjisi ihtiyaçları.	38
Çizelge 5.2 : Yalıtım katmanının sezonluk değiştirilmesi ile gerçekleşen soğutma enerjisi ihtiyaçları.	40
Çizelge 5.3 : Isıtma enerjisi de dikkate alındığında sezonluk dinamik yalıtım ile gerçekleşen ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları.	41
Çizelge 5.4 : Günlük dinamik yalıtım için simülasyon program çizelgesi.	46
Çizelge 5.5 : Günlük dinamik yalıtım ile gerçekleşen ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları.	47
Çizelge 5.6 : Örnek bina ve pasif önlemler sonucu elde edilen enerji ihtiyaçları.	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Durum uzay çözümü için tek katman yapı bileşeni örneği.	13
Şekil 3.2 : İzmir için yıllık ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri.	15
Şekil 3.3 : İzmir için yıllık ortalama en yüksek ve en düşük bağıl nem değerleri.	15
Şekil 3.4 : Simülasyona temel alınan bina ve boyutları.	16
Şekil 4.1 : Yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.	21
Şekil 4.2 : Kuzey yönlü bir duvardan geçen ısıнын Temmuz ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.	23
Şekil 4.3 : Kuzey yönlü duvarlardan geçen ısıнын Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.	24
Şekil 4.4 : Güney yönlü duvardan geçen ısıнын Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.	24
Şekil 4.5 : İzmir için Mayıs ve Temmuz aylarındaki 1 haftalık dış hava sıcaklığı grafikleri.	25
Şekil 4.6 : Yalıtım yerine göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.	26
Şekil 4.7 : İzmir için duvar kütlesi ve yalıtım yerine göre yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı.	27
Şekil 4.8 : Güney yönlü bir duvar için Mayıs ve Temmuz aylarında yalıtım yerine göre toplam ısı geçişi grafiği.	29
Şekil 4.9 : Güney yönlü bir duvar için beton kütlesi ve yalıtım yerine göre Temmuz ayında toplam ısı geçişi.	30
Şekil 5.1 : Mayıs ayında duvarlardan gerçekleşen ısı geçişleri.	43
Şekil 5.2 : Mayıs ayındaki bir hafta için gece ve gündüz gerçekleşen toplam ısı geçişleri.	44
Şekil 5.3 : Temmuz ayında duvarlardan gerçekleşen ısı geçişleri.	45
Şekil 5.4 : Temmuz ayındaki bir hafta için gece ve gündüz gerçekleşen toplam ısı geçişleri.	45
Şekil 5.5 : Mayıs ayında referans durumla dinamik yalıtım yapılması halinde duvarlardan gerçekleşen toplam ısı transferi.	48

SEMBOLLER

A	: Isı geçiş yüzey alanı
C	: Isıl kapasite
c_p	: Özgül Isı
h	: Isı taşınım katsayısı
l	: Uzunluk
k	: Isı iletim katsayısı
q_i''	: İç tarafa olan ısı akısı
q_o''	: Dış tarafa olan ısı akısı
R	: Isıl direnç
ρ	: Yoğunluk
$T_{i,t}$	: t anındaki sıcaklık değeri
X_j	: CTF katsayısı
Y_j	: CTF katsayısı
Z_j	: CTF katsayısı
Φ_j	: CTF katsayısı

AKDENİZ İKLİM BÖLGESİ İÇİN ENERJİ ETKİN BİNA KABUĞU TASARIMINDA YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR

ÖZET

Türkiye’de binalar 263 milyar kWh enerji ihtiyacı ile toplam enerji tüketiminin %30’undan sorumludur. Türkiye kullandığı doğalgaz ve petrolün neredeyse tamamını ithal ettiği için, binalardaki enerji tüketiminin büyük bir kısmından sorumlu olan ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarının azaltılması gerekliliği yadsınamaz.

Bu tez çalışmasında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde bulunan bir binada uygulanacak pasif önlemler ile binanın enerji ihtiyacının düşürülmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu pasif önlemler, bina kabuğunun en önemli bileşenleri olan duvarlar ve pencereler ile sınırlandırılmış ve iklimlendirme sistemleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Ayrıca döşeme ve çatı adyabatik olarak kabul edilmiş ve binadaki ısı kaybının ve kazancının sadece çalışma kapsamında yer alan duvarlar ve pencerelerden (dış kabuktan) gerçekleşmesi sağlanmıştır. İnsan, aydınlatma ve cihaz kaynaklı iç yükler de aynı düşünce ile dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla bina enerji ihtiyacında meydana gelebilecek herhangi bir değişiklik doğrudan incelenen parametre ile ilişkilendirilebilmiştir.

Çalışmada sayısal çözümler, günümüzde enerji analizinde sıkça kullanılan EnergyPlus programı ile yapılmıştır. 3 boyutlu bina modeli SketchUp programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bina konstrüksiyon ayrıntıları, malzeme özellikleri, iklimlendirme sistemleri ve bunlara ait zaman çizelgeleri ise OpenStudio programı ile girilmiştir.

İlk bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı verilmiştir. Bazı çalışmaların sonuçları literatür özeti olarak bu bölüme dahil edilmiştir. Bahsi geçen çalışmalar, Akdeniz ve diğer bazı soğutma ağırlıklı iklimlerde bulunan bina kabukları için enerji analizlerini içermektedir.

İkinci bölüm bina kabuğu ve bileşenleri ile ilgili kısa bilgiler içermektedir. Bu bilgilere, bina kabuğunun tamamı, pencereler ve dış duvarlarla ilgili yapılan bazı çalışma sonuçları da dahil edilmiştir.

Üçüncü bölümde, öncelikle, EnergyPlus’da ısı akılarının hesaplanmasında kullanılan temel hesap algoritma olan Conduction Transfer Function algoritması kısaca açıklanmıştır. İkinci olarak çalışmanın metodolojisi ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Daha sonra, örnek bina olarak TS 825’e uygun bir bina modellenmiş, soğutma ve ısıtma enerjisi ihtiyaçları EnergyPlus ile hesaplanmıştır. Analizler, Akdeniz iklimi için soğutma ağırlıklı örnek bir şehir olan İzmir’in hava durumu bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda, İzmir ve benzer Akdeniz iklimleri için soğutma enerjisi ihtiyacında yapılacak iyileştirmelerin binanın toplam enerji performansına büyük oranlarda etki edeceği ortaya çıkmıştır.

Dış duvar ve pencere analizleri 4. bölümde yapılmıştır. Yalıtım kalınlığı 50 cm’ye kadar parametrik olarak incelenmiştir. Buna göre TS 825 standartına göre yapılacak

yalıtımın ısıtma enerjisi ihtiyacında %71'lik bir iyileşmeye sebep olduğu, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyacındaki iyileşmenin sadece %0,6'da kaldığı görülmüştür. Soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde yıllık toplam soğutma enerjisi performansının artırılması için yalıtım kalınlığının mümkün olduğunca artırılmasının, doğru bir strateji olarak görülmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Duvar yalıtım yeri parametresi, yalıtım katmanının duvarın iç yüzeyinde veya dış yüzeyinde olmasına göre ve duvar kütlesi ise 300, 800 ve 1600 kg/m³ değerleri ile parametrik olarak incelenmiştir. Duvarın termal kütesinin artması ile yalıtım yerinden bağımsız olarak soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme gözlemlenmiştir. İçten yapılan yalıtım neticesinde gündüz olan ısı kazancı artmış, gece meydana gelen ısı kaybı da dıştan yapılan yalıtıma göre fazlaşmıştır. Büyük bir termal kütle ile içten yapılan yalıtımın etkin bir şekilde kullanılması sonucunda, gece gerçekleşen ısı kaybından mümkün olduğunca yararlanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Pencere için yapılan analizler sonucunda pencerenin ısı özelliklerinin iyileştirilmesinin duvar analizleri ile benzer sonuçlar verdiği, bunun yanında cama, güneş geçirgenliğini azaltacak bir kaplama yapılması durumunda ise soğutma enerjisi ihtiyacında %55'lik bir azalma olduğu görülmüştür.

Bu analizlerin ardından çalışmanın asıl konusunu oluşturan yenilikçi pasif yaklaşımlar 5. Bölüm'de incelenmiştir. İlk önce farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlıklarının uygulanması analiz edilmiştir. Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması durumu incelendiğinde soğutma enerjisi ihtiyacında 1229 kWh/yıl azalma gözlemlenmiştir.

Dinamik yalıtım, belirli bir zaman çizelgesine göre istenildiğinde uygulanıp istenildiğinde kaldırılabilen bir katman olarak düşünülmüş ve sezonluk ve günlük olarak alt başlıklarda incelenmiştir. Belirli aylar boyunca uygulanan yalıtım katmanı sezonluk dinamik yalıtım, gün içinde belirli saatler boyunca uygulanıp kaldırılan yalıtım katmanı ise günlük dinamik yalıtım olarak tanımlanmıştır.

İlk olarak, sezonluk dinamik yalıtım için zaman çizelgesi, sadece soğutma enerjisi ihtiyacını azaltmaya yönelik oluşturulmuştur. Yalıtım katmanı; kış ve dış hava sıcaklığının nispeten düşük seyrettiği aylarda kaldırılmış, kalan aylarda ise Güney yönlü duvarlar gibi güneş kazançlarının yüksek olduğu duvarlara uygulanmıştır. Sonuç olarak soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl'dan 32516 kWh/yıl'a düşmüştür.

İkinci olarak, ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacının birlikte değerlendirildiği toplam enerji ihtiyacı yaklaşımı modellenmiştir. Bu durumda yalıtım katmanı Kasım'dan Mart'a kadar 5 ay boyunca duvarlara uygulanmış, kalan aylarda ise sadece Kuzey yönlü duvarlardaki yalıtım katmanı kaldırılmıştır. Sonuç olarak 33128 kWh/yıl soğutma enerjisi ihtiyacı elde edilmiştir.

Günlük dinamik yalıtım durumu EnergyPlus'daki TIM modülü ile çözümlenmiştir. Bu yaklaşımda Mart'dan Aralık'a kadar 9 ay boyunca gece oluşan ısı kaybından mümkün olduğunca yararlanmak üzere bir zaman çizelgesi oluşturulmuştur. Günlük dinamik yalıtım yapılması ile soğutma enerjisi ihtiyacının %13 oranında, 29801 kWh/yıl değerine kadar düşürülebileceği görülmüştür.

5. Bölüm'de son olarak çalışmanın bütününde ele alınan iyileştirmeler toplu olarak analiz edilmiştir. Toplam enerji ihtiyacını azaltmak amacıyla, duvarlara, günlük dinamik yalıtım katmanı; pencerelere ise sezonluk dinamik kaplama uygulanmış ve

duvarlarda kullanılan beton yoğunluğu 2 katına çıkarılarak bina enerji ihtiyaçları simüle edilmiştir.

Buna göre uygulanan pasif önlemler sonucunda binanın ısıtma enerjisi ihtiyaı 6127 kWh/yıl'dan 8463 kWh/yıl'a çıkmış, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyaı 34160 kWh/yıl'dan 12157 kWh/yıl değerine inmiştir. Böylece toplam enerji ihtiyaı %48 gibi önemli bir oranda azalarak 40287 kWh/yıl'dan 20620 kWh/yıl değerine dşmştir.

Son olarak, çalışmanın asıl amaçlarından birisi olan, incelenen iklim bölgesi için soğutma enerjisi ihtiyaının en aza indirilmesi konusu tek başına değerlendirildiği durumda ise bu çalışmada önerilen bütün yaklaşımlar birlikte uygulandığında soğutma enerjisi ihtiyaını % 67 oranında, 11373 kWh/yıl değerine kadar düşürmenin mümkün olduğu grlmştir. Bu değer, dinamik yalıtım ve kaplama için oluşturulan zaman çizelgelerinin, dış hava sıcaklığı ve gneş ışınım miktarına göre optimize edilmesi ile daha da azaltılabilir.

INNOVATIVE PASSIVE APPROACHES TO ENERGY EFFICIENT BUILDING ENVELOPE DESIGN FOR MEDITERRANEAN CLIMATE REGION

SUMMARY

Buildings account for 263 billion kWh energy demand as 30% of the total energy consumption in Turkey. Since Turkey imports practically all the oil and gas it uses, it's crucial to reduce heating and cooling energy demands which are responsible for huge portion of energy consumption in buildings.

In this study, some passive approaches for building envelope in Mediterranean climate region have been analyzed through building energy simulation software. External walls and windows, which are the most important components for a building envelope, were considered. Floors and roofs were not taken into consideration and modeled as an adiabatic boundary. People, lights, electric equipment and other loads were not also considered. Thus any changes in building energy demand were directly correlated with the parameters studied.

Numerical solutions have been evaluated with EnergyPlus which is widely used for building energy analysis. 3D building model was generated in SketchUp. Construction details, material properties, air conditioning system and its schedules were modeled in OpenStudio software.

In the first chapter, aim and scope of this study was given. Some study results were included in a literature review. These studies include energy analysis for building envelope in Mediterranean and some other cooling-weighted climates. And methodology of the study was introduced in the same section.

Second chapter gives a brief information about building envelope and its components. Energy saving results in some studies for whole envelope, windows and external walls were also included.

In the third chapter, firstly, Conduction Transfer Function algorithm which is the default calculation algorithm in EnergyPlus for calculating heat fluxes was explained. Secondly, methodology of the study was presented in detail.

Then, a TS825 standard validated building was modeled and its heating and cooling energy demands were calculated with EnergyPlus. Calculations were made with weather data for Izmir which can be considered as a sample location for cooling-weighted Mediterranean climate. Results show that any improvement on cooling energy demand in Mediterranean climate will have a substantial impact on total energy efficiency.

External walls and windows analysis was evaluated in Chapter 4. Insulation thickness was studied parametrically up to 50 cm. An insulation layer determined by TS825 decreases annual heating energy demand 71%. However, decrease in annual cooling energy demand is no more than 0,6%. It was found that, to improve the annual cooling energy performance of a building located in a cooling-weighted Mediterranean

climate, increasing the insulation thickness as much as possible can not be considered as a reasonable strategy.

Location of insulation was studied as a layer applied to internal surface and external surface of external walls. Weight of external walls parameter was evaluated with varying density (300, 800 and 1600 kg/m³). It is seen that annual cooling energy demand decrease by higher densities of external walls regardless of the location of insulation. Day-time heat gain and night-time heat loss was increased by choosing wall insulation as an internal layer. It is understood that to increase the cooling performance, it should be taken advantage of night-time heat loss by an internal insulation with a high wall density.

Results obtained from windows analysis show that improving the thermal properties of windows has a similar effect with increasing wall insulation thickness. However, 55% decrease in annual cooling demand energy was achieved by a low-e coated glazing.

Passive approaches for increasing building energy efficiency, as the aim of this study, is developed and analyzed in Chapter 5. Applying different insulation thicknesses to walls in different orientations was studied as the primary approach. 1229 kWh/annum reduction of cooling energy demand was obtained after removing the insulation layer from North-faced walls.

Dynamic insulation was considered as a layer which could be removed and applied based on a schedule and was analyzed in sub-sections as seasonal dynamic insulation and daily dynamic insulation. Insulation layer that removed and applied on a monthly basis was defined as seasonal dynamic insulation and that on a hourly basis was described as daily dynamic insulation.

Firstly, seasonal dynamic insulation schedule was generated for decreasing cooling energy demand only. Insulation layer was removed for winter and months that outdoor temperature is relatively low, and applied to the walls, which have big solar gain like South oriented, for the remaining months. As a result, cooling energy demand was reduced from 34160 kWh/annum to 32516 kWh/annum.

Secondly, total energy demand approach, which heating energy demand is considered along with cooling energy demand, was modeled. In this case, insulation layer was applying to all of the walls for 5 months (November to March) and removed from North oriented walls for the remaining months. 33128 kWh/annum cooling energy demand was obtained with this schedule.

Daily dynamic insulation approach was evaluated through Transparent Insulation Material module of EnergyPlus. In this approach, schedule was selected to make the most profit of night-time cooling for 9 months, March to December. Results show that it's possible to decrease the cooling energy demand by 13%, down to 29801 kWh/annum by daily dynamic insulation.

Last section of chapter 5 contains evaluation of all the passive approaches together. As total energy demand was considered, daily dynamic insulation was applied to walls and seasonal dynamic low-e coating was applied to windows. Concrete density that used in external walls was doubled.

Simulation results show that heating energy demand of building was increased from 6127 kWh/annum to 8463 kWh/annum and cooling energy demand was decreased from 34160 kWh/annum to 12157 kWh/annum. Thus total energy demand was

decreased by a significant amount of 48%, from 40287 kWh/annum to 20620 kWh/annum.

Finally, if cooling energy demand is considered only, 67% energy saving could be achieved by the methods that suggested in this study. It's possible to improve this result by optimizing dynamic insulation and coating schedules according to outdoor temperature and solar radiation rates.

1. GİRİŞ

Sınırlı enerji kaynakları tüketiminin yaklaşık %38'inden sorumlu ticari binalar ve konutlarda enerji tasarrufu gerekliliği, günümüzdeki önemli konulardan birisi haline gelmiştir (Avrupa Komisyonu, 2012). Dolayısıyla binalardaki enerji tüketiminde önemli payı olan ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjinin azaltılması, enerji tasarrufunda önemli bir yer tutmaktadır.

Binalarda ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjinin büyük bir bölümü, bina kabuğundan gerçekleşen ısı kayıp ve kazançları ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle bina kabuğu, bina enerji performansının artırılmasında büyük önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde, bina kabuğunda ele alınacak pasif önlemler ile binanın enerji ihtiyacının düşürülmesine yönelik stratejiler oluşturmaktır. Bina kabuğu elemanları olarak da duvarlar ve pencereler ele alınmaktadır. Çatı ve döşemede yapılacak iyileştirmeler ile HVAC sistemlerinde elde edilecek “aktif” tasarruflar bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Dolayısıyla sonuçlar sadece “enerji ihtiyacı” cinsinden verilmiştir.

Çalışmanın önceliği, yenilikçi pasif stratejiler kullanılarak duvarların neden olduğu soğutma enerjisi ihtiyacının düşürülmesidir. Isıtma enerjisi ihtiyacında oluşacak değişiklikler ikinci planda düşünülmektedir. Bunun en önemli nedeni olarak ısıtma durumunun daha statik bir yapıya sahip olmasına karşın, soğutma durumunun dinamik doğası gereği enerji tasarrufu potansiyelinin daha yüksek olmasıdır. Burada statik terimi, özellikle kış aylarında sürekli bir ısı kaybı durumunun söz konusu olması nedeniyle ile kullanılmıştır. Soğutma durumunun dinamik yapısı ise, soğutma ihtiyacının gerçekleştiği zamanlarda bile aynı gün içinde hem ısı kaybı hem de ısı kazancının olması durumunu açıklamaktadır.

Çalışmanın ikinci ana konusu, günümüzde geçerli olan yalıtım stratejilerinin soğutma ağırlıklı iklimlerde geçerli olup olmadığının belirlenmesidir. Bu bağlamda yalıtım

kalınlığı, soğutma ağırlıklı bir iklim için parametrik olarak incelenecek ve yalıtım kalınlığına göre duvardan geçen ısıların günlük olarak analizi yapılacaktır.

Son olarak ise pencerelerde yapılacak iyileştirmelerin, özellikle soğutma enerjisi ihtiyacını nasıl etkilediği incelenecektir.

1.2 Literatür Araştırması

Sadineni, Madala ve Boehm (2011)'in çalışmalarında da bahsettiği gibi, bina kabuğu ve bina kabuğunun bina enerji tüketimine etkisi üzerinde birçok araştırmacı çok sayıda çalışma yapmıştır. Yunanistan'da apartman binalarındaki enerji tasarrufu potansiyeli üzerine çalışma yapan Balaras, Drousta, Argiriou ve Asimakopoulos (2000), çalışmalarında Yunanistan'daki 3 iklim bölgesi için duvarlar, çatı ve döşemede yalıtımın iyileştirilmesi ve düşük infiltrasyon stratejileri geliştirilmesiyle %20 - %40 oranında enerji tüketiminde iyileştirme yapılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Aynı çalışmada gölgeleme elemanları ve açık renk duvar ve çatı kullanılarak soğutma yükünün %30'a kadar azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Bolattürk (2008) dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek üzere, Türkiye'de Akdeniz iklim bölgesinde bulunan 7 şehir için bir çalışma yapmıştır. Hesaplamaları derece gün metoduna göre yapmış ve yalıtım kalınlıklarını ısıtma ve soğutma durumu için ayrı ayrı vermiştir. Isıtma için optimum yalıtım kalınlıklarını 0,016 – 0,027 m, soğutma için 0,032 – 0,038 m arasında bulmuştur.

Eskin ve Türkmen (2008) bir ofis binasını EnergyPlus programı ile modellemiş, sonuçları deneysel ölçümlerle karşılaştırıp doğruladıktan sonra iklim koşulları, yalıtım, termal kütle gibi değişkenleri parametrik olarak incelemişlerdir.

Cheung, Fuller ve Luther (2005) Hong-Kong'da ele aldıkları referans bir bina için soğutma enerjisi ihtiyacını azaltmaya yönelik pasif tasarım yaklaşımları öne sürmüşlerdir. Sonuç olarak yüksek bir apartman dairesi için Hong-Kong'da toplam yıllık enerji tüketiminde %31,4, pik yüklerde ise %36,8 enerji tasarrufu elde etmişlerdir.

Soğuk iklimlerde uygulama alanı olan pasif güneş duvarları E.S. Morse tarafından 19. yüzyılda geliştirilmiş ve günümüzde de kendi adıyla anılan Trombe tarafından yeniden tasarlanmıştır. Trombe duvarları üzerine günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır.

Özellikle Ji ve diğ. (2009) çalışmalarında bahsi geçen tasarım düzenlemesiyle, klasik trombe duvarlarından %56 daha yüksek bir verim elde etmişlerdir.

Duvarların tamamen betondan imal edilmesi durumunda yalıtım özelliklerinin bir miktar kötüleşmesi beklenen bir durumdur. Ancak betonun konstrüksiyon özelliklerinden çok fazla taviz verilmeden yalıtım özelliklerinin artırılması gaz beton (autoclaved aerated concrete, AAC) kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Gaz beton, $600 - 800 \text{ kg/m}^3$ yoğunluk aralığı ile diğer hafif beton duvarlardan daha iyi ısı direnç özelliği göstermektedir. Günümüzde gaz beton kullanımı oldukça yaygınlaşmış durumdadır. Al-Jabri, Hago, Al-Nuaimi ve Al-Saidy (2005) çalışmalarında gaz beton dışında, polistiren baloncuğu, magnezyum vs.. eklenerek düşük iletim özellikleri olan, yeni hafif beton yapıları daha klasik duvar konstrüksiyonları ile karşılaştırmışlardır.

Hafif beton duvarlarda ısı iletimin azaltılması için yoğunluğun azaltılması, duvarın ısı depolama kapasitesinin de azalması sonucunu doğurmaktadır. Dolayısıyla odanın sıcaklık genliği yükselmektedir. Duvarın ısı depolama kapasitesinin artırılması için hafif beton duvarlara faz değiştiren malzeme (phase change material, PCM) enjeksiyonu son zamanlarda üzerinde çalışılan konulardan birisidir. Kuznik ve Virgone (2009) deneysel çalışmalarında PCM kullanılarak odanın en yüksek sıcaklığının $4,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ düşürülebileceğini göstermişlerdir.

Binaların kabuğunu oluşturan diğer önemli elemanlar pencerelerdir. Pencerelerin ısı performanslarının artırılması ve doğal aydınlatma etkisinin optimum seviyelerde tutulabilmesi için son zamanlarda cam teknolojilerinde oldukça ilerleme kaydedilmiştir. Bu teknolojiler; güneş kontrollü camlar, düşük emisiviteli (low-e) kaplamalar, camlar arasındaki boşluğun tamamen boşaltılması, aerogel veya düşük iletim özellikli gazlarla doldurulması gibi gelişmeleri içermektedir (Robinson ve G Hutchins, 1994). Gustavsen, Arasteh, Jelle, Curcija ve Kohler (2008) ise yaptıkları özet çalışmalarında düşük iletim özelliklerine sahip pencere çerçevelerinin ısı hesaplarının nasıl yapılması gerektiği üzerinde durmuşlardır.

1.3 Motivasyon

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) (2009)'nın raporuna göre, Türkiye'de binalarda tüketilen toplam enerji 1973 yılında 117,19 milyar kWh olarak gerçekleşirken, 2008 yılına gelindiğinde %124 artarak 262,86 milyar kWh'a çıkmıştır. Bu değer

Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %30,3'üne denk gelmektedir. Dolayısıyla binalardaki tüketilen enerjilerin büyük bir kısmını oluşturan ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarında yapılacak bir iyileştirmenin, enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümünü ithal eden Türkiye için gerekli olduğu gerçeği yadsınamaz.

1.4 Metodoloji

Çalışmada ilk olarak TS 825'e göre örnek bir bina ele alınmış ve enerji ihtiyaçları belirlenmiştir. Enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için EnergyPlus programı kullanılmıştır. Daha sonra duvar yalıtımı ile ilgili analizler yine EnergyPlus programında yapılmış ve duvar yalıtım kalınlığı, duvar yalıtım yeri, duvar kütlesi gibi parametreler değerlendirilmiştir.

Pencere analizleri ise çerçeve ve cam ayrı ayrı olarak yine aynı programda değerlendirilmiş ve enerji gereksinimlerine etkisi araştırılmıştır.

Son bölümde ise ele alınan pasif yaklaşımların enerji ihtiyaçlarını nasıl etkileyeceği analiz edilmiştir. Bu bölümde farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlıklarının uygulanması, sezonluk ve günlük dinamik yalıtım uygulanması gibi çözümler değerlendirilmiştir. Son olarak bahsi geçen bütün pasif önlemler birlikte uygulanırsa nasıl bir sonuç alınacağı ile bu analizler bitirilmiştir.

Analizlerde uygulanan yöntemle ilgili daha ayrıntılı bilgi Bölüm 3.2'de verilmiştir.

2. BİNA KABUĞU VE BİLEŞENLERİ

Bina kabuğu; binada iç ortam ile dış ortam arasında ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyler olarak düşünüldüğünde, binayı dış çevre koşullarından ayıran dış duvar, pencere, çatı ve döşeme gibi yapı elemanlarının bütünü olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla beton, yalıtım malzemesi, pencere çerçevesi, cam, termal kütle gibi bileşenler bina kabuğunun oluşturulmasında kilit öneme sahip elemanlardır. Yapılan çalışmalar bina kabuğunda yapılacak iyileştirmelerin özellikle soğutma yükleri için toplam yıllık enerji tüketiminde %30, pik yüklerde ise %40 oranında enerji tasarrufu elde edilebileceğini ortaya koymaktadır (Balaras ve diğ., 2000).

2.1 Çatı

Çatılar, yüksek oranda güneş ışınlamına maruz kalmaları ve özellikle az katlı binalarda alan oranlarının yüksek olması nedeniyle yüksek ısı kazancı ve kayıplarına sebep olduklarından bina kabuğunda kritik bir öneme sahiptir.

Soğutma ağırlıklı iklimlerde çatılarda alınacak pasif önlemler genellikle güneş kazanımını azaltmaya yöneliktir. Bu önlemlere çatının kubbeli yapılması, absorpsiyonu azaltacak şekilde açık renklere boyanması, yeşil çatı (green roof) ile gölgeleme ve nem sağlanması gibi örnekler verilebilir. Ayrıca doğal ya da mekanik olarak havalandırma, mikro havalandırma, çift çatı gibi konstrüksiyonlar da çatıda soğutma enerjisi ihtiyacını azaltacak yöntemlerdir.

Çatılara yapılacak kaplamalar, güneş ışınlamını azaltmada kullanılan bir diğer yöntemdir. Kaplamaların yüksek güneş yansıtabilirliği ve emisivitesi, gündüz olan kazancı ve gece olan kaybı artırmada büyük rol oynamaktadır (Sadineni ve diğ., 2011)

2.2 Pencere

Pencereler, binadaki ısı konforun sağlanması ve aydınlatma için önemli bileşenlerdir. Transmisyonla ısı geçişinin yanında; kışın infiltrasyon nedeniyle ısı kayıplarında, yazın ise özellikle güneş ışınlamı nedeniyle ısı kazançlarında bina enerji tüketimi için

önemli bir yer tutmaktadır. Bir pencerenin performansı cam ve çerçevenin ortak performanslarına bağlıdır.

2.2.1 Çerçeve

Çerçeveler, toplam pencere alanının yaklaşık %20'sini oluşturmalarına rağmen iyi tasarlandığında pencerelerde oluşacak ısı köprülerini ve infiltrasyonu azaltıcı etkileri nedeniyle pencereler için önem arz etmektedir. Önceleri, çerçeveler için kullanılan öncelikli malzeme ahşap iken, günümüzde PVC çerçeveler yoğun olarak kullanılmaktadır. Ahşap ve PVC'nin yanısıra ısıl direnci daha düşük olan alüminyum, çelik gibi metaller de çerçeve malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır.

2.2.2 Cam

Pencerelerin enerji etkinlikleri, kapladıkları alan nedeniyle büyük oranda cam konstrüksiyonuna bağlıdır. Cam konstrüksiyonlarının iyileştirilmesi ile pencerelere yüksek performanslı yalıtım (HPI) ve güneş kazancı kontrolü (SC) özellikleri kazandırılabilir.

Camlar arasındaki boşluklar, cam konstrüksiyonunun iyileştirilmesinde ilk ele alınan özelliktir. Cam konstrüksiyonu genellikle 2 veya 3 camın aralarında 3 mm'den 16 mm'ye kadar boşluk bırakılarak oluşturulur. Bu boşluk yine genellikle durgun bir hava tabakası ile doludur. Isıl performansın iyileştirilmesine yönelik, hava yerine iletim katsayısı daha düşük olan argon ve kripton gibi gazlar da tercih edilebilir. Daha az uygulama alanı bulmasına rağmen, aradaki boşluğun tamamen vakumlanması ile camdaki toplam ısı geçiş katsayısının 1 W/m²K değerine kadar düşürülmesi mümkün olabilmektedir (Sullivan ve Beck, 1996).

Camlar arası boşluktaki yapılacak iyileştirmeler daha çok ısı kaybını azaltmaya yönelik önlemlerdir. Buna karşılık soğutma ağırlıklı iklimlerde, ısı kazancını azaltmaya yönelik camların güneş ışıını geçirgenliğini azaltacak önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin başında güneş ışıını azaltıcı basit kaplamalar başı çekmektedir. Ancak bu kaplamaların aynı zamanda görülebilir ışığı da engellemesi bir dezavantaj olarak yorumlanabilir. Bu dezavantajı en aza indirmek üzere istenildiğinde açılıp istenildiğinde karararı malzemeler kullanılabilir. Malzemenin bu optik özellikleri düşük bir doğru akımla (EC, elektrokromik) ya da hidrojen gazıyla (GC, gazokromik) değiştirilebilir. Papaefthimiou, Syrrakou ve Yianoulis (2006) yaptıkları

çalışmada elektrokromik bir pencerenin, yaşam süresi boyunca Yunanistan’da enerji analizini yapmıştır. Sonuç olarak elektrokromik pencerenin geri ödeme süresi 9 yıl olarak gerçekleşmiş ve 25 yıllık süre boyunca 569 €/m² tasarruf elde edilmiştir.

2.3 Duvar

Duvarlar, bina kabuğunun ısıl performans açısından en önemli bileşenleridir. Özellikle yüksek binalarda duvarların toplam kabuk alanına oranının yüksekliği, bu önemi daha da artırmaktadır. Dolayısıyla duvarların termal direnci, binanın toplam enerji tüketimini doğrudan ve büyük oranda etkilemektedir.

Klasik olarak duvar konstrüksiyonları ahşap, metal ve betonarme malzemeler kullanılarak oluşturulur. Her bir konstrüksiyonun kendine has avantajları ve dezavantajları sıralanabilir. Ancak gelişen teknoloji ile duvarların enerji etkenliğini artırmak üzere bazı gelişmiş konstrüksiyonlar oluşturulmuştur.

2.3.1 Duvar Konstrüksiyonları

Pasif güneş duvarları, genellikle soğuk iklimlerde güneş ışınımını en etkin biçimde kullanmak üzere oluşturulan konstrüksiyonlardır. İlk defa E.S. Morse tarafından önerilmiş ve 19. yüzyılda, kendi adıyla anılan, Trombe tarafından geliştirilmiştir. Bu konstrüksiyon en basit olarak binanın en çok güneş alan tarafına yaklaşık 30 cm’lik beton duvar ve önünde sera etkisi oluşturmak üzere boşluklu bir kaplama bileşenlerinden oluşmaktadır.

Hafif beton duvarlar, yoğunluğu 2000 kg/ m³’den daha az olmak üzere tamamen betondan oluşturulması ile elde edilen duvar konstrüksiyonlarıdır. Günümüzde en çok kullanım alanı bulan hafif beton konstrüksiyonları (LWC) gazbetonlardır. Gazbetonlar çok iyi ısıl dirençleri ile özellikle ısıtma ağırlıklı iklimlerde avantaj sağlamaktadırlar.

Havalandırılmalı veya çift kabuklu duvarlar, iki beton duvar katmanı arasında bir boşluk konulması ile elde edilen konstrüksiyonlardır. Havalandırma, duvarlar arasındaki boşlukta doğal olarak veya zorlanmış olarak hava akımı geçirilmesiyle elde edilir. Genel olarak havalandırılmalı duvarlar pasif soğutma uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Ciampi, Leccese ve Tuoni (2003) yaptıkları çalışmada iyi tasarlanmış bir havalandırılmalı duvarın yazınki soğutma enerjisi ihtiyacında %40’a varan tasarruf elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Gizli ısı depolu duvarlar, hafif duvar yapılarına faz değıştiren malzemelerin (PCM) eklenmesiyle elde edilir. PCM'ler genellikle alçı veya beton bünyesine katılarak konstrüksiyon oluşturulur. Yapılan çalışmalar PCM'li duvarlara sahip odaların en yüksek sıcaklığının normal duvarlara göre 4°C düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca geceki ısıtma ihtiyacında da düşüş elde edilmiştir (Athienitis, Liu, Hawes, Banu ve Feldman, 1997).

2.3.2 Duvar Yalıtımı

Isı yalıtımı, odaya olan ya da odadan olan, iletimle, taşınım ve ışınlama ile olan ısı geçişini ısı direnç göstererek azaltan malzeme ya da konstrüksiyonlara denilebilir. Doğru uygulandığında HVAC sisteminin üzerindeki pik yükleri de azaltıcı etki göstererek sadece toplam enerji tüketiminde değil, ilk kurulum maliyetlerinde de fayda sağlar.

Isı yalıtımının seçilmesinde en önemli faktörler ısı iletimi ve ısı atalet özellikleridir. Özellikle ısı iletiminin düşük olması, yalıtım malzemesinden beklenen en önemli özelliktir. İkincil faktör olarak da malzemenin tutuşabilirliğinin az olması, yangın durumları için önem arz etmektedir.

Isı yalıtım malzemeleri; fiberglas ve taşıyıcı gibi seyrek lifli elemanlardan, selüloz ve perlit gibi betona veya alçıya karıştırılabilecek elemanlardan, polistiren ve XPS, EPS gibi rijit panel elemanlarından, poliüretan gibi köpük ya da püskürtülebilen elemanlardan ve alüminyum folyo gibi yansıtıcı elemanlardan oluşabilir.

Duvarlara yapılacak ısı yalıtımının en yüksek performanslılarından bir tanesi, vakumlanmış izolasyon panelleridir. Vakumlanmış izolasyon panelleri, gözenekli bir çekirdek malzemenin, gözeneklerindeki havanın tamamen vakumlanmasıyla oluşturulur. Bu malzemelerden en çok kullanılanı pirojenik silika (SiO_x)'dır. Pirojenik silikanın sıkıştırılması ile elde edilen izolasyon panellerinin atmosfer basıncı ve kuru şartlarda ısı iletim katsayısı 0,02 W/mK seviyelerindedir. Bu değer yoğun olarak kullanılan panellerin yarısı kadardır (Baetens ve diğ., 2010).

SIP olarak adlandırılan ve önceden üretilip kullanıma hazır olarak gelen kompozit paneller de yalıtım elemanlarından sayılabilir. Bu paneller iki yapısal levhanın arasına yalıtım elemanlarının yerleştirilmesi ile elde edilmektedir. Levhalar genellikle OSB ahşap levhalar olurken, yalıtım elemanları olarak polistiren köpük veya poliüretan köpük tercih edilir. Bu panellerin toplam ısı geçirgenlikleri 0,5 W/m²K civarlarındadır.

Yalıtım tipi ve malzemesi, binanın bütünü ile değerlendirilmesi gereken parametrelerdendir. Özellikle binanın bulunduğu iklim, bina yönü, binanın ısıtma ya da soğutma ağırlıklı olması, nem durumu gibi etkenler birlikte değerlendirilerek yalıtım tipi ve malzemesine karar verilmelidir.

3. ANALİZ YÖNTEMİ VE ÖRNEK BİNA İÇİN SONUÇLAR

Bu bölüm, çalışmada uygulanan enerji analiz yöntemlerini ve bu yöntemlerle elde edilen örnek bina için sayısal sonuçları içermektedir.

Çalışmada sayısal çözümler, günümüzde enerji analizinde sıkça kullanılan EnergyPlus programı ile yapılmıştır. EnergyPlus; ısı analizlerinde, kullanıcı arayüzü olmadan temel çözücü olarak görev almaktadır ve binanın 3 boyutlu modellenmesi, konstrüksiyon özelliklerinin ve iklimlendirme sistemlerinin tanımlanması için yardımcı programlara ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada 3 boyutlu bina modeli SketchUp programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bina konstrüksiyon ayrıntıları, malzeme özellikleri, iklimlendirme sistemleri ve bunlara ait zaman çizelgeleri ise OpenStudio programı ile girilmiştir.

3.1 EnergyPlus Programı ve Hesap Algoritması

EnergyPlus 1970'li yıllarda enerji ve yük simülasyonu için kullanılan BLAST ve DOE-2 programları temel alınarak ABD Enerji Bakanlığı'nca (U.S. Department of Energy) geliştirilmiş ve günümüzde HVAC sistem tasarımı ve enerji performans optimizasyonu gibi konularda sıkça kullanım alanı bulan bir bilgisayar programıdır.

EnergyPlus, binanın mimari ve mekanik sistem bilgisinin kullanıcı tarafından girilmesi ile belirtilen ısı koşulları sağlamak için gerekli olan enerji hesaplamalarını yapmaktadır. Bu hesaplamalar ısı yüklerinin eş zamanlı olarak hesaplandığı ısı dengesi temelli algoritmaları içermektedir.

3.1.1 İletim transfer fonksiyonu (CTF) yöntemi

Bina kabuğundan olan ısı transferi hesaplamalarında esas olarak iletim transfer fonksiyonu (conduction transfer function, CTF) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde ısı akısı, iletim transfer fonksiyonu elemanları içeren denklemler halinde ifade edilmektedir. Bu denklemler;

$$q_{ki(t)}'' = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ki,t-j\delta}'' \quad (3.1)$$

$$q_{ko(t)}'' = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ko,t-j\delta}'' \quad (3.2)$$

olarak yazılabilir. Denklem (3.1) iç taraftaki ısı akısını, denklem (3.2) ise dış taraftaki ısı akısını göstermektedir. İfadelerde yer alan X_j , Y_j , Z_j ve Φ_j CTF katsayılarıdır. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi yöntem görece basit, sabit katsayılı lineer denklem çözümünü içermektedir. Denklemlerdeki CTF katsayıları, her konstrüksiyon tipi için yalnızca bir kere hesaplanması gereken sabit katsayılarıdır. EnergyPlus, CTF katsayıları hesaplamaları için Ceylan ve Myers (1980)'ın da çalışmalarında belirttiği durum uzay metodunu kullanmaktadır. Temel durum uzay sistemi denklem (3.3)'de verilen lineer matris denklemleri formuyla tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \frac{d[x]}{dt} &= [A][x] + [B][u] \\ [y] &= [C][x] + [D][u] \end{aligned} \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde x durum değişkeni matrisi, u bağımsız girdiler matrisi, y ise çıktı vektörüdür.

Bu yöntem, zamana bağlı ısı iletiminin, bina kabuğunu oluşturan katmanların sonlu farklarla ifade edilerek çözülmesinde kullanılabilir. Bu durumda, durum değişkenleri katmanların uç sıcaklıkları, bağımsız girdiler iç ve dış ortam sıcaklıkları, çıktı ise katmanın iki yüzeyindeki ısı akılarıdır. Böylece sonlu fark değişkenleri ile ifade edilen durum uzay sistemi denklem (3.4) ve (3.5) ile verilir.

$$\frac{d \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}}{dt} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\begin{bmatrix} q_i'' \\ q_o'' \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Seem (1987) doktora tezinde Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, iki tarafında da taşınım olan tek katmanlı bir yapı bileşenini şöyle ayrıştırmıştır.

$$C \frac{dT_1}{dt} = hA(T_o - T_1) + \frac{T_2 - T_1}{R} \quad (3.6)$$

$$C \frac{dT_2}{dt} = hA(T_i - T_2) + \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (3.7)$$

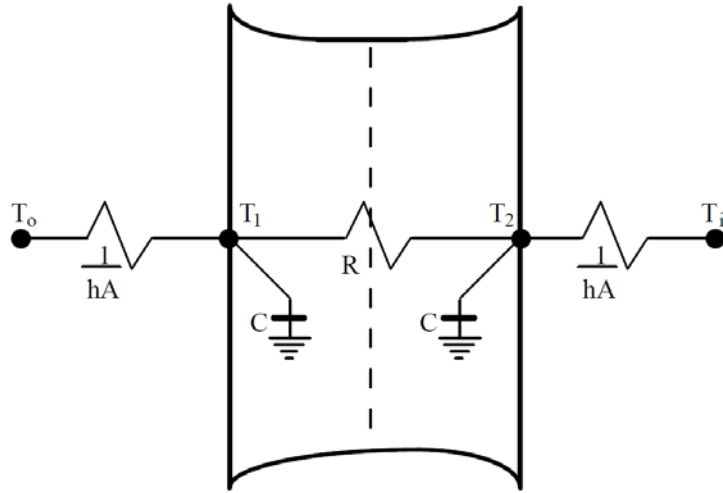
$$q_i'' = h(T_i - T_2) \quad (3.8)$$

$$q_o'' = h(T_1 - T_o) \quad (3.9)$$

Bu denklemlerde yer alan ısıl direnç ve ısıl kapasite, sırasıyla denklem (3.10) ve denklem (3.11) olarak verilmiştir.

$$R = \frac{l}{kA} \quad (3.10)$$

$$C = \frac{\rho c_p l A}{2} \quad (3.11)$$



Şekil 3.1 : Durum uzay çözümü için tek katman yapı bileşeni örneği.

A, ısı geçişinin gerçekleştiği yüzey alanı olmak üzere çözülmesi gereken matrisin son hali denklem (3.12) ve (3.13) olarak yazılır.

$$\begin{bmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC} - \frac{hA}{C} & \frac{1}{RC} \\ \frac{1}{RC} & -\frac{1}{RC} - \frac{hA}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{hA}{C} & 0 \\ 0 & \frac{hA}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_o \\ T_i \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$\begin{bmatrix} q_o'' \\ q_i'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -h \\ h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & h \\ -h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_o \\ T_i \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

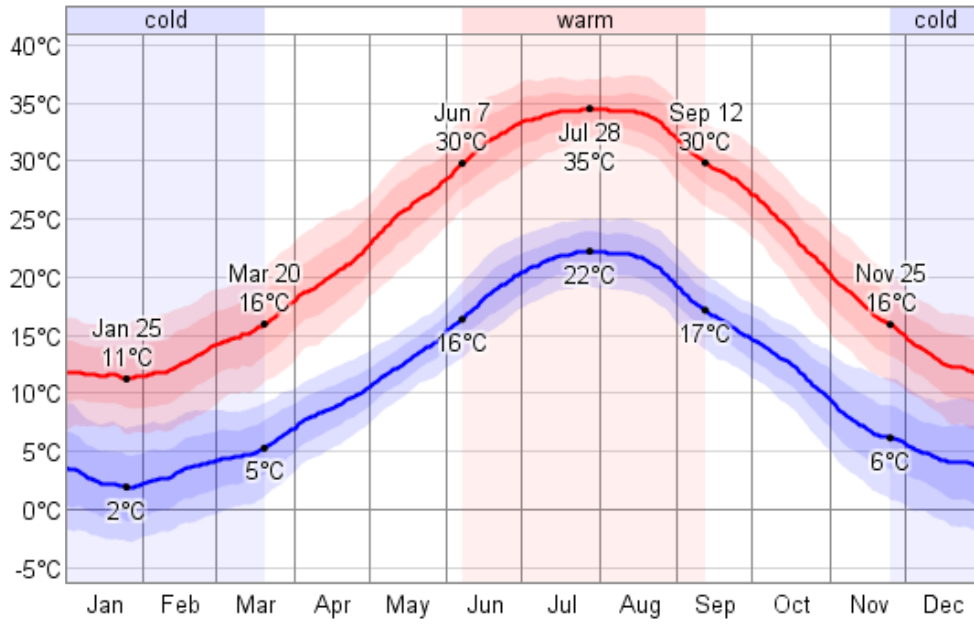
CTF katsayılarının hesaplanmasında durum uzay çözüm yönteminin doğruluğu literatürde yer almaktadır. Ceylan ve Myers (1980) çalışmalarında durum uzay çözümlemelerini, içlerinde analitik çözümün de olduğu çeşitli çözüm yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Tek katmanlı bir bileşen için durum uzay yönteminin analitik çözümden sadece %1 saptığını belirtmişlerdir. Seem (1987) ise tezinde, CTF katsayılarının, A,B,C ve D matrisleri kullanılarak nasıl hesaplanacağını anlatmıştır. Ayrıca Laplace dönüşüm yöntemine göre metodun avantajları yine belirtilen tezde yer almaktadır.

3.2 Yöntem

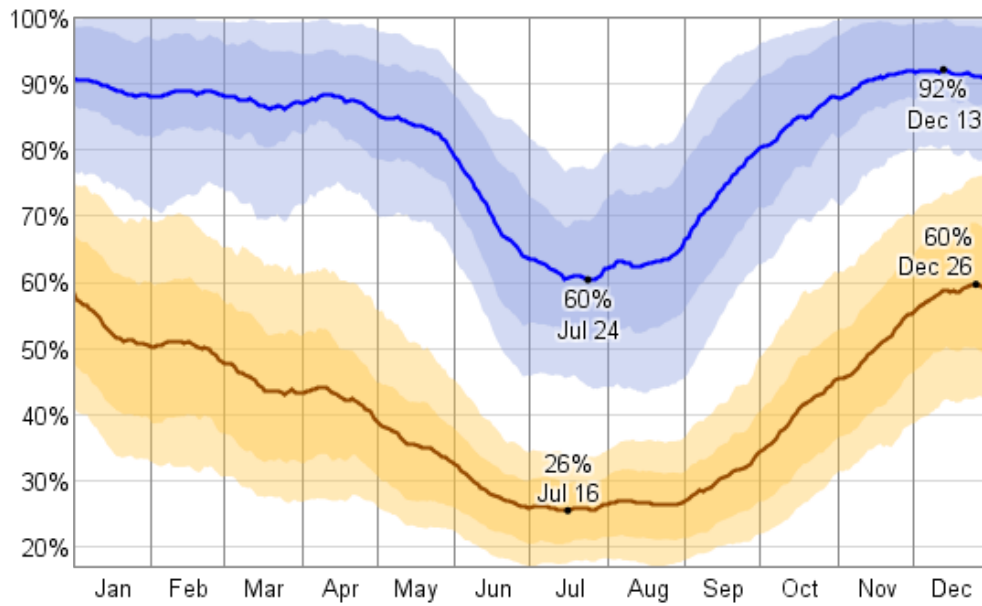
Bu çalışmanın kapsamı, önceki bölümlerde de belirtildiği gibi bina enerji performansının iyileştirilmesinde pasif önlemlerin etkisiyle sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla iklimlendirme sistemleri gibi aktif değişkenler göz önüne alınmamıştır. Bina ısı performansındaki değişim, ısıtma ve soğutma yüklerinin değişimi ile ilişkilendirilmiş ve çalışmada iklimlendirme sistemiyle ilgili bir sonuç verilmemiştir.

Analizler, dinamik etkilerin daha çok öne çıktığı soğutma ağırlıklı akdeniz iklim bölgesinde yer alan İzmir için yapılmıştır. Isıtma ağırlıklı iklimlerde yıl boyunca neredeyse sürekli bir ısı kaybı nedeniyle statik bir davranış söz konusudur. Bu durumda bina dış kabuğunun dinamik özellikleri etkisiz kalmaktadır. Örneğin, yalıtımın artırılması bu durumda iyi bir stratejidir. Hâlbuki soğutma ağırlıklı bir iklimde gün boyu değişken bir davranış söz konusudur. Gündüz ısı kazancı varken, gece ısı kaybı olur. Bu durumda binanın ve onun dış kabuğunun davranışları önem kazanmaktadır. Bu durumda örneğin, izolasyon kalınlığının artırılması yerine değişken bir yalıtım uygulanması çok daha kazançlı olabilir. Bu nedenle dinamik etkilerin öne çıktığı bir iklim ele alınmış ve bina dış kabuğu ısı performansını bu iklim için analiz edilmiştir. İzmir, Akdeniz iklimi için soğutma ağırlıklı örnek bir şehirdir. Hava durumu bilgileri EnergyPlus'ın kütüphanesinden alınmıştır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 İzmir için yıllık ortalama iklim değerlerini göstermektedir.

Tavan, çatı ve döşemede alınacak pasif önlemler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Bu yüzden binada döşeme ve çatı adyabatik olarak kabul edilmiş ve binadaki ısı kaybının ve kazancının sadece çalışma kapsamında yer alan duvarlar ve pencerelerden (dış kabuktan) gerçekleşmesi sağlanmıştır. İnsan, aydınlatma ve cihaz kaynaklı iç yükler de aynı düşünce ile dikkate alınmamıştır.



Şekil 3.2 : İzmir için yıllık ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri.



Şekil 3.3 : İzmir için yıllık ortalama en yüksek ve en düşük bağıl nem değerleri.

Simülasyonda, ideal şartlarda, sürekli çalışan bir iklimlendirme sistemi kabul edilmiştir. Şartlandırılan odalar ısıtma durumunda sabah 08:00'e kadar 16°C'de, 24:00'e kadar 21°C'de tutulmaktadır. Soğutma durumunda ise sabah 08:00'e kadar soğutma kesilmekte, bu saatten 24:00'e kadar iç hacimler soğutma ile 25°C'de tutulmaktadır.

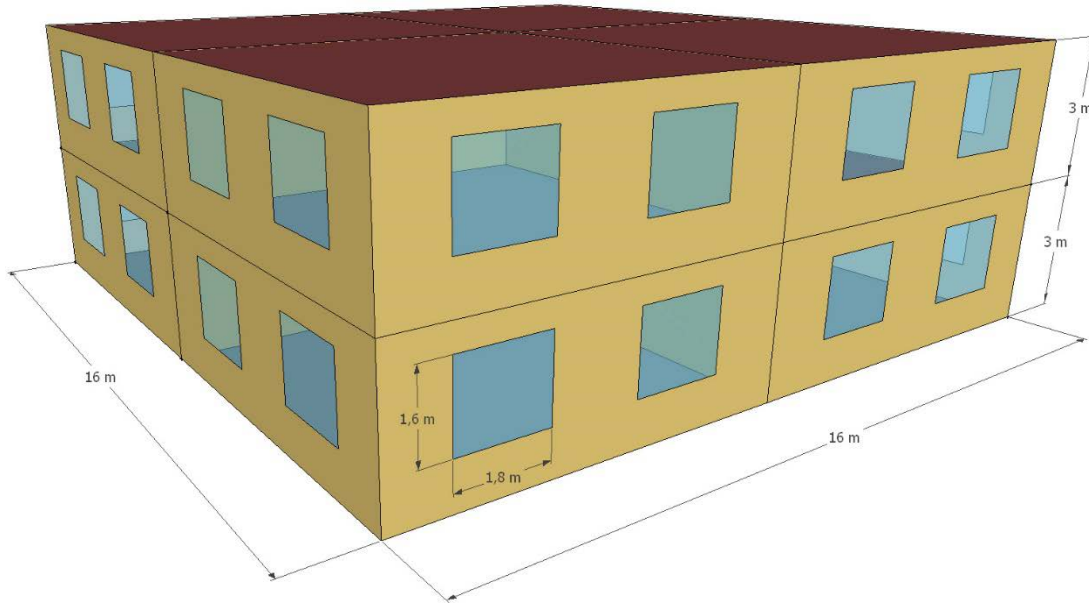
İlk olarak TS825 standardına uygun örnek bir bina modellenmiş ve binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. Bu sonuçlar temel alınarak daha sonra yapılacak hesaplamalar bu sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Duvar ve pencere analizlerine, duvar yalıtım kalınlığının toplam ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacına etkisi incelenerek başlanmıştır. Bu bağlamda diğer bütün değişkenler sabit tutulup dış duvar yalıtımı 0 cm ile 50 cm arasında değiştirilerek parametrik çözüm yoluna gidilmiştir.

İkinci analiz, duvar yalıtımının içerden ya da dışardan yapılması durumunun simülasyonunu içermektedir. Bu analizde, yine yalıtım kalınlığının 0 – 50 cm arasında parametrik olarak değiştirilmesiyle toplam enerji ihtiyaçlarının nasıl değişeceği incelenmiştir.

3.3 Örnek Bina

Simülasyona temel olarak, Şekil 3.4’de görüldüğü gibi iki katlı, toplam 512 m² alana sahip, herbiri 2,88 m²’lik 32 adet penceresi bulunan bir bina seçilmiştir.



Şekil 3.4 : Simülasyona temel alınan bina ve boyutları.

Bina, yöne bağlı değişimleri ortadan kaldırmak için her yönde aynı uzunlukta 4 zonlu ve simetrik olarak düşünülmüştür. Ortada bir çekirdek zon bulunmamaktadır. Böyle bir çekirdek zon bulunması durumunda burada yıl boyu soğutma söz konusu olacaktır. Bu durumda kullanılacak uygun bir HVAC sistemi ile ısı geri kazanımı mümkündür. Belirli zonlardan çekilen ısı ihtiyaç olan diğer zonlara transfer edilebilir. Bu çalışmada

ana hedef bina dış kabuğunun davranışları ve buradan hareketle uygun bina tasarımı olduğu için, çevreden etkilenmeyen çekirdek zonun varlığı ihmal edilmiştir. Bu nedenle bu çalışma sonuçları konut tipi ve taban alanı fazla olmayan binalar için daha geçerlidir. Pencereelerde, uygulamada en çok karşılaşılan ölçülerden biri olan 160x180 cm'lik profil çerçeveler kullanılmıştır. Binanın pencere duvar oranı %24'tür.

Her bir katta aynı özelliklere sahip 4 adet oda bulunmaktadır. 64 m² alana sahip odalar 3 m tavan yüksekliğine sahiptir.

3.3.1 Örnek bina konstrüksiyon özellikleri

Örnek bina konstrüksiyonu TS825 (2009) esas alınarak tasarlanmıştır. Duvar ve pencerelerin toplam ısı geçiş katsayıları standartta belirtilen sınırlar içinde kalmıştır. Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri de yine standart ekinde verilen tablolar temel alınarak belirlenmiştir.

3.3.1.1 Dış duvar konstrüksiyonu

Örnek alınan binada dış duvara ait konstrüksiyon özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Örnek bina için dış duvar bileşenleri.

Yapı Bileşeni	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m ³]	İletim Katsayısı [W/mK]
Dış Sıva (Anorganik Esaslı Sıva Harcı)	0,008	900	0,35
XPS Köpük Yalıtım Levhası	0,05	265	0,045
Hafif Betondan Duvar Plakası	0,05	800	0,29
İç Sıva (Kireç – Çimento Harcı)	0,02	1800	1

Dış duvar yapı bileşenleri verilen şekilde seçilip, iç ve dış taşınım katsayıları TS825'de tavsiye edilen değerler olarak sırasıyla 7,7 W/m²K ve 25 W/m²K olarak alındığında, duvarın toplam ısı geçiş katsayısı 0,67 W/m²K olarak hesaplanabilir.

3.3.1.2 Pencere konstrüksiyonu

Pencereler için klasik 58mm kalınlığında PVC profil çerçeveli, kaplamasız çift camlı konstrüksiyon referans olarak alınmıştır. Çizelge 3.2'de konstrüksiyon için kullanılan bileşenler ve özellikleri görülebilir.

Çizelge 3.2 : Örnek bina için pencere bileşenleri.

Yapı Bileşeni	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m ³]	İletim Katsayısı [W/mK]
PVC	0,058	1700	0,17
Cam	0,004	2700	0,84

Pencere konstrüksiyonunda aralarında 9 mm boşluk bulunan çift çam seçildiğinde, bu pencere konstrüksiyonu için toplam ısı geçiş katsayısı 3,15 W/m²K, sızdırganlık ise 25 Pa için 2,766 m³/hm olmaktadır.

3.3.2 Örnek bina için sayısal sonuçlar

Örnek olarak belirlenen bina için ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları, EnergyPlus programında 1 saatlik adımlarla 1 yıl boyunca hesaplanmıştır. Sonuçlar aylık toplamlar olarak Çizelge 3.3’de görülebilir.

Sonuçlar incelendiğinde yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacının 6127 kWh olarak, soğutma enerjisi ihtiyacının ise 34160 kWh olarak gerçekleştiği görülmektedir. Değerler, diğer çalışmalarla kolay karşılaştırılması bakımından normalize edilebilir. Bu durumda ısıtma ihtiyacı 11,9 kWh/m²yıl, soğutma ihtiyacı ise 66,72 kWh_{ısı}/m²yıl olarak hesaplanabilir. Burada söz konusu olan ısıtma ve soğutma ihtiyacı sadece dış kabuktan (dış duvar ve pencereler) olan dış ısı kazancı ve kaybına bağlı değerlerdir.

Çizelge 3.3 : Örnek bina için toplam enerji ihtiyaçları sonuçları.

	Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	1577	280
Şubat	1284	411
Mart	559	1136
Nisan	133	1616
Mayıs	1	4197
Haziran	0	5760
Temmuz	0	6289
Ağustos	0	6352
Eylül	0	5205
Ekim	39	2156
Kasım	749	619
Aralık	1785	141
TOPLAM	6127	34160

Bu enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılacak sistemlerin verimleri ve COP'leri ortalama bir değer alınarak hesaba katıldığında her iki enerji ihtiyacının da literatürde yer alan değerlere oldukça yakın olduğu görölebilir. Örneğin ısıtma için kullanılacak sistemin %75 verimle, soğutma için kullanılacak sistemin de ortalama 3 COP değeri ile çalıştığı düşünöldüğünde ısıtma için harcanacak enerji 15,87 kWh/m²yıl, soğutma için harcanacak elektrik enerjisinin ise 22,24 kWh_{elec}/m²yıl olarak gerçekleştiği görölmektedir. Bu değerleri literatürdeki çalışmalarla veya standart değerlerle karşılaştırırken, bu çalışmada çatı ve döşemenin adyabatik alındığı ve hiçbir i yükün dikkate alınmadığı göz önüne alınmalıdır.

Aylık gerçekleşen toplam enerji ihtiyaçları göz önüne alındığında İzmir için Ocak, şubat, Kasım ve Aralık ayları ısıtma sezonu, kalan aylar da soğutma sezonu olarak düşünölebilir. Bu bağlamda İzmir ve benzer Akdeniz iklimleri için soğutma enerjisi ihtiyacında yapılacak iyileştirmelerin binanın toplam enerji performansına büyük oranlarda etki edeceği sonucuna ulaşılabilir.

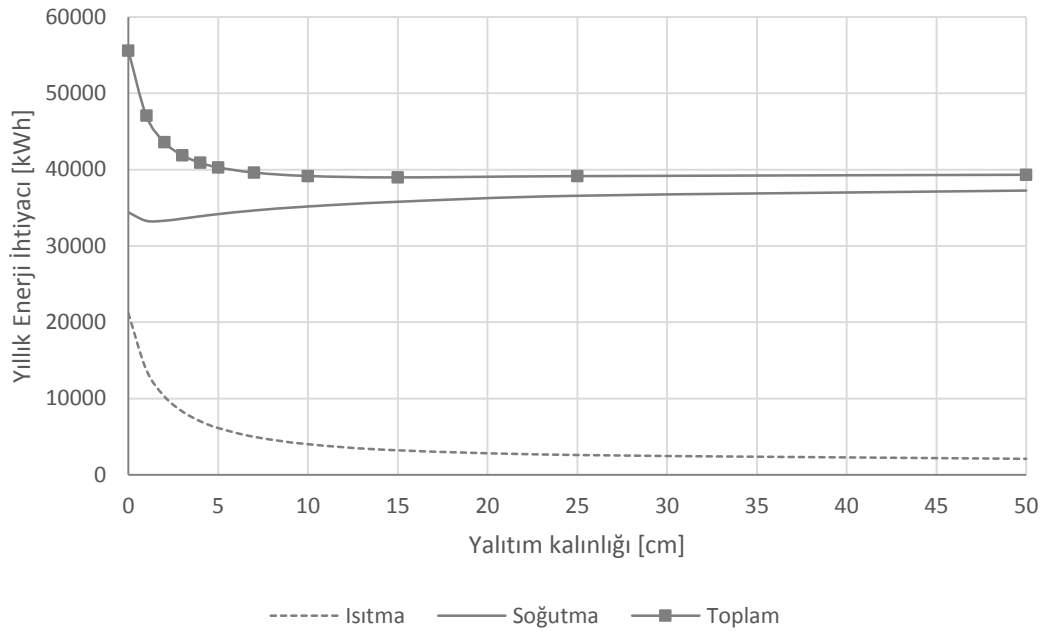
4. DUVAR VE PENCERE ANALİZLERİ

Bu bölüm, bina kabuğunda yapılacak değişikliklerin enerji tasarrufunda ne kadar rol oynayabileceği ile ilgili sayısal hesaplamaları ve analizleri içermektedir.

4.1 Duvar Yalıtım Kalınlığı Analizleri

Binalarda ısı yalıtımının Avrupa Birliği ülkelerinde zorunlu tutulduğu 30 sene boyunca duvarlarda ısı yalıtımı kalınlığı her geçen yıl artmıştır (Papadopoulos, 2005). Ülkemizde 1982’de ortalama 3 cm olan yalıtım kalınlığı, 1999’a gelindiğinde 5 cm’ye kadar çıkmıştır.

Duvar yalıtım kalınlığının enerji ihtiyaçları üzerine olan etkisi incelenmek üzere EnergyPlus programında yalıtım kalınlığı İzmir için örnek binada parametrik olarak 0 cm’den 50 cm’ye kadar değiştirilerek sonuçlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

Bina dış duvarlarında herhangi bir ısı yalıtımı olmaması durumunda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı 21204 kWh/yıl ($41,4 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$), toplam soğutma enerjisi ihtiyacı ise 34289 kWh/yıl ($67,17 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$) olarak gerçekleşmektedir. Bina duvarlarına TS825

standartına göre 5 cm yalıtım uygulandığı durumda ise değerler sırasıyla 6127 kWh/yıl ve 34160 kWh/yıl olmaktadır.

Bu sonuçlara göre duvarlara standartlara göre uygulanacak bir ısı yalıtımı ısıtma enerjisi ihtiyacında % 71'lik bir iyileşme sağlamaktayken soğutma enerjisi ihtiyacındaki iyileşme % 0,6 ile oldukça sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla standartların yalıtım kalınlığının belirlenmesi hususunda ısıtma enerjisi ihtiyacını temel alması anlaşılabilir bir durum olarak görülmektedir.

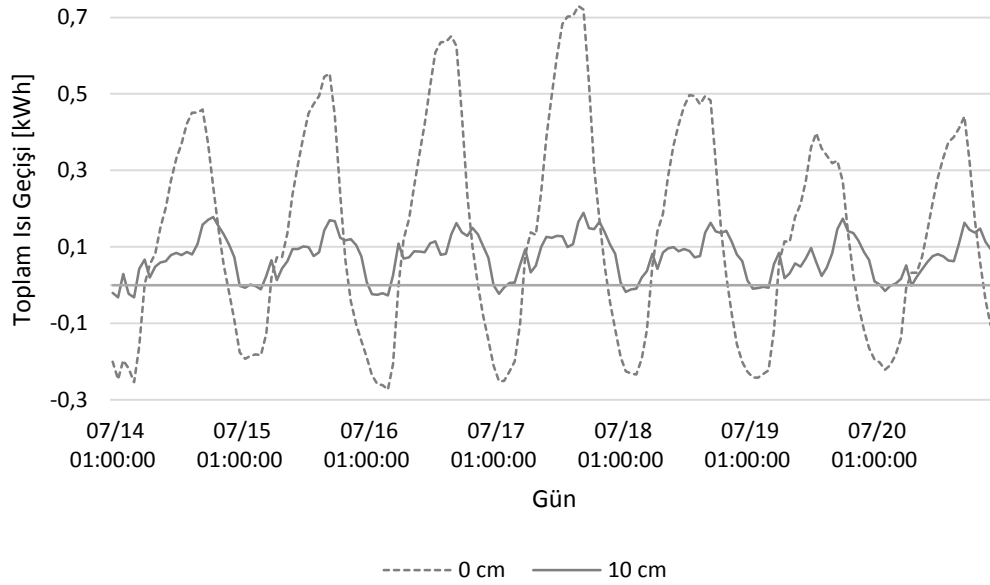
Yalıtım kalınlığı standartta belirtilen değerin 2 katı olan 10 cm'ye çıkartıldığında ise ısıtma enerjisinde fazladan %50 düşüş görülmesine rağmen soğutma için harcanacak enerjideki küçük artış dikkat çekmektedir. Çizelge 4.1 incelendiğinde yalıtımın soğutma enerjisi ihtiyacını, dış sıcaklığın yüksek değerlerde seyrettiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında azalttığı buna karşılık diğer aylarda artırdığı görülebilir.

Çizelge 4.1 : Yalıtım kalınlığı ile soğutma enerjisi ihtiyacının değişimi.

	0 cm kalınlık için Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	10 cm kalınlık için Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	235	321
Şubat	349	462
Mart	925	1307
Nisan	1236	1853
Mayıs	4014	4340
Haziran	6123	5770
Temmuz	6826	6254
Ağustos	6819	6331
Eylül	5337	5270
Ekim	1846	2378
Kasım	559	708
Aralık	120	163
TOPLAM	34389	35156

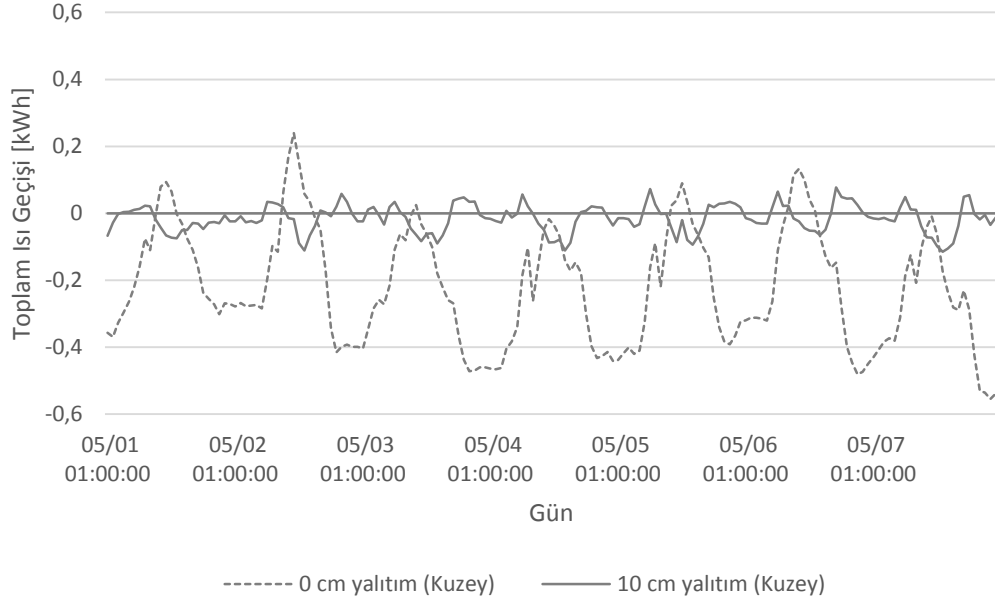
Yalıtım kalınlığının, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında soğutma enerjisi ihtiyacına pozitif etki etmesi ile diğer aylarda negatif etki etmesinin nedenlerine Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 incelenerek ulaşılabilir. Grafiklerde pozitif yönlü ısı geçişi iletim ve taşınım ile duvardan odaya olan toplam ısı geçişini göstermektedir. Temmuz ayında kuzey yönlü bir duvarda 1 haftalık ısı geçişi grafiği incelendiğinde yalıtım olmaması

durumunda odaya olan ısı geçişinin 10 cm yalıtıma göre yaklaşık 3 kat artması, soğutma enerjisi ihtiyacının bu aylarda neden yalıtımlı duruma göre yükseldiğini göstermektedir. İncelenen hafta için yalıtımsız durumda binanın bu duvardan olan ısı kazancı toplam 32,6 kWh iken, yalıtım bu değeri 12,7 kWh'e kadar düşürmüştür. Aynı grafikte odanın ısı kaybının da yalıtımlı duruma göre oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Bu duvar yalıtımlı iken ısı kaybı 0,3 kWh, yalıtımsız iken 10,4 kWh değerleriyle gerçekleşmektedir. Bu aylar için ısı kazancının yanında kayıpların düşük kalması soğutma enerjisi ihtiyacındaki asıl etkiyi sağlamaktadır. Yaz aylarında dış hava sıcaklığının gün içinde çok az bir süre odanın tutulmak istenilen sıcaklığından daha düşük değerlere düşmesi, ısı kaybını azaltmaktadır. Yapılacak yalıtım her ne kadar ısı kaybını önemli ölçüde azaltsa da, çok kısa bir süre boyunca gerçekleşen ısı kaybı, daha uzun süre boyunca devam eden ısı kazançlarının yanında önemsiz kalmaktadır.

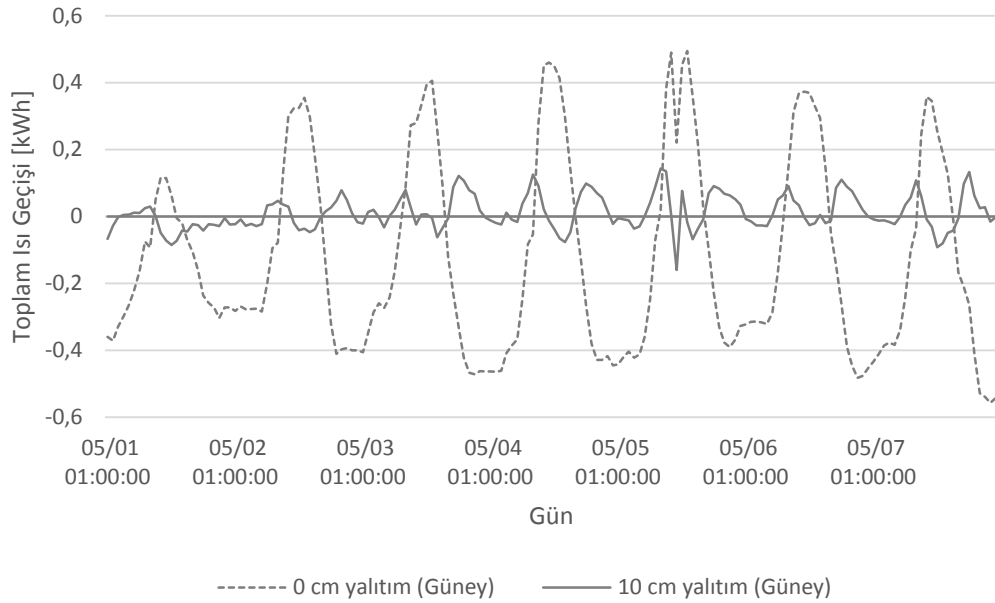


Şekil 4.2 : Kuzey yönlü bir duvardan geçen ısıнын Temmuz ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'den Mayıs ayının 1 haftası için Kuzey ve Güney yönlü duvarlardan geçen ısılar incelendiğinde ise yalıtımın iyileştirilmesinin, bahsi geçen 3 ay dışında kalan aylar için neden soğutma için gerekli olan enerjide negatif etki ettiği görülebilir.



Şekil 4.3 : Kuzey yönlü duvarlardan geçen ısı'nın Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.



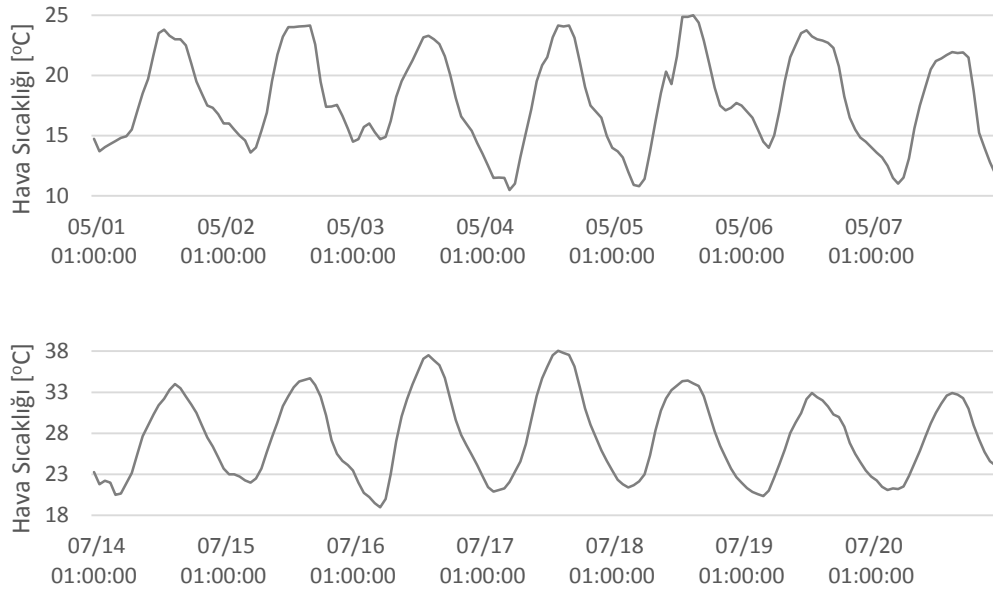
Şekil 4.4 : Güney yönlü duvardan geçen ısı'nın Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Duvarların iyi bir şekilde yalıtılması akşam ve gece vakitlerindeki ısı kaybının önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Hatta 7 Mayıs'ta gerçekleşen ısı geçişleri Şekil 4.5'deki Mart ayı dış hava sıcaklık değerleri ile beraber değerlendirildiğinde durum daha belirgin bir hal almaktadır. 7 Mayıs'ta neredeyse gün boyu 21°C'nin altında gerçekleşen dış hava sıcaklığı, Kuzey yönlü duvardan gündüz vaktinde dahi ısı

kaybının gerçekleşmesini sağlamıştır. Böylece güneşten olan ısı akısının neden olduğu Güney yönlü duvardan olan ısı kazançlarının bir kısmı, ek herhangi bir sisteme gerek kalmadan Kuzey yönlü duvardan kaybedilmektedir.

Sonuç olarak hiç yalıtım yapılmadığı durumda gerekli olan soğutma enerjisi ihtiyacı, 10 cm yalıtım yapıldığında gerekli olan enerji ihtiyacından, binanın daha rahat ısı kaybedebileceği, yaz ayları dışında kalan zaman içerisinde toplam 2181 kWh daha az olarak gerçekleşmektedir. Bina ısı kaybının neredeyse sıfırlandığı yaz ayları içerisinde ise yalıtımlı durum 1414 kWh avantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla binaya yalıtım yapılması, toplam yıllık soğutma enerjisi ihtiyacında 767 kWh artışa neden olmaktadır. Yalıtım kalınlığının artırılmasının binanın toplam soğutma enerjisi ihtiyacına negatif etkisi bu sezonluk farklardan kaynaklanmaktadır. Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında gerçekleşen soğutma enerjisi ihtiyaçlarını göz önüne almadığımızda bile kalan aylarda, binanın yalıtımlı olması durumunda 376 kWh fazladan enerji ihtiyacı doğmaktadır.

Bütün bunlar gözönüne alındığında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde yıllık toplam soğutma enerjisi performansının artırılması için yalıtım kalınlığının mümkün olduğunca artırılması, doğru bir strateji olarak görülmemektedir.

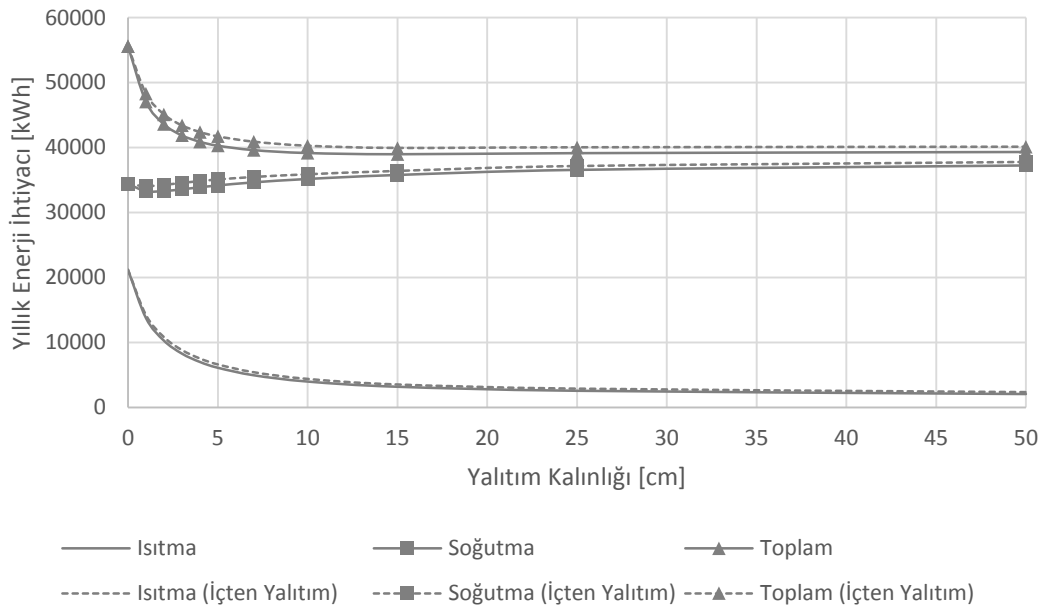


Şekil 4.5 : İzmir için Mayıs ve Temmuz aylarındaki 1 haftalık dış hava sıcaklığı grafikleri.

4.2 Duvar Yalıtım Yeri Analizleri

Isı köprülerinin olmadığı ideal bir durum düşünüldüğünde, ısı yalıtımından en etkin, yalıtımın, ısı girişinin olduğu yüzeye yakınlaştırılması ile faydalanılmaktadır. Örneğin, ısıtma ağırlıklı iklimlerde yalıtım duvarın iç yüzeyine yapılması gerekirken, soğutma ağırlıklı iklimlerde dış yüzeye yapılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Sadineni ve diğ. (2011)'nin çalışmalarında önerdiği bu durumun, çalışmada göz önüne alınan Akdeniz iklimi için doğruluğu bu bölümün temelini oluşturmaktadır.

Duvar yalıtımının içten ya da dıştan yapılmasının enerji ihtiyaçları üzerine olan etkisi incelenmek üzere Bölüm 4.1'de yapılan simülasyonlar, yalıtım duvarın iç yüzeyine alınarak tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Yalıtım yerine göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

Yalıtımın, incelenen binada, duvar dış yüzeyinden iç yüzeyine alınması ısıtma enerjisi ihtiyacında gözönüne alınabilecek herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır.

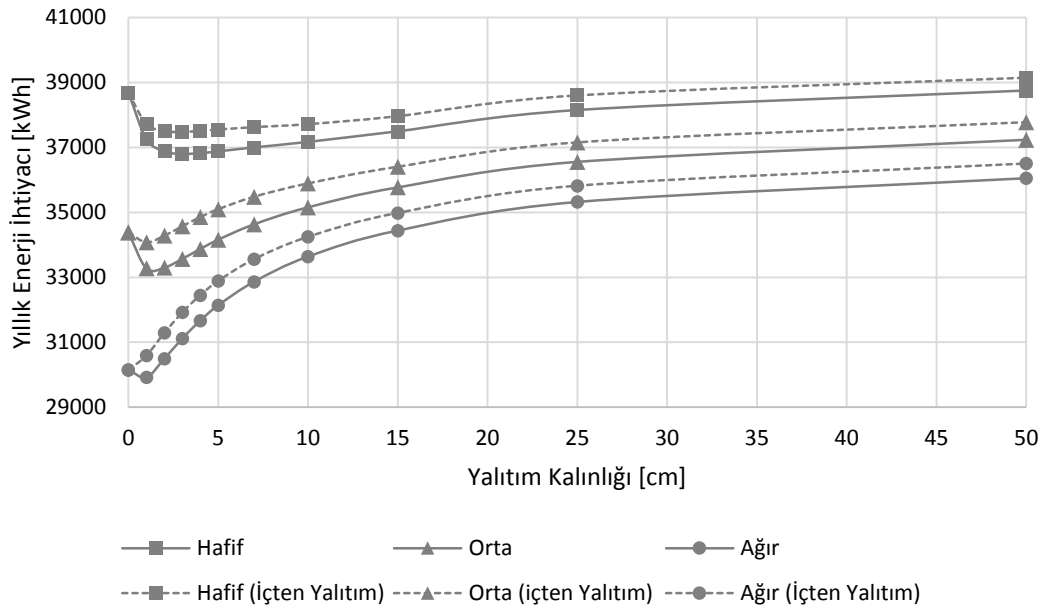
Soğutma enerjisi ihtiyacında ise, yalıtımın duvar iç yüzeyine alınması referans alınan 5 cm'lik yalıtım kalınlığı için 939 kWh/yıl enerji artışına neden olmuştur. Bu artış normalize edildiğinde 1,84 kWh/m²yıl değerine ulaşılabilir.

Yalıtımın iç yüzeye alınması ve yalıtım kalınlığı arasındaki ilişkiden ise en fazla tüketim artışının 3 cm yalıtım kalınlığında elde edildiği sonucuna ulaşılabilir. Yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtımın dıştan ya da içten yapılması arasındaki fark git gide

azalmakta iken en büyük fark yaklaşık 1005 kWh/yıl ile 3 cm yalıtım kalınlığında görülmektedir. Buna neden olan en büyük etkinin yine ısı kaybının ve kazancının yalıtım kalınlığı ile farklı oranlarda değişmesi ve betonun sahip olduğu termal kütlenin birleşik etkisi yorumu yapılabilir.

4.3 Duvar Kütlesi Analizleri

Şekil 4.7 beton kütlesinin farklı değerleri ile yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının değişimini göstermektedir. Burada betonun termal kütlesi, özgül ısı sabit kalmak üzere yoğunluğu hafif durumda 300 kg/m^3 , orta durumda 800 kg/m^3 ve ağır durumda 1600 kg/m^3 değerleri alınarak değiştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.7 : İzmir için duvar kütlesi ve yalıtım yerine göre yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı.

Duvarın termal kütlesi arttıkça yalıtım yerinden bağımsız olarak soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme gözlemlenmektedir. Betonun termal kütlesi en iyi, yalıtımın hiç olmadığı durumda sonuç vermektedir. Çizelge 4.2 betonun ağırlığına göre soğutma enerjisi ihtiyacının aylık olarak değişimini göstermektedir. Burada referans alınan yalıtımsız ve betonun yoğunluğunun 800 kg/m^3 olduğu duruma göre termal kütlenin 2 katına çıkarılması, yıllık toplamda 4240 kWh/yıl soğutma enerjisinden tasarruf sağlamaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça bu tasarruf miktarı azalmaktadır. Beton kütlesinin yine dinamik bir davranış gösterdiği aylık sonuçlar incelendiğinde daha açık görülmektedir. Dış hava sıcaklığının ortam sıcaklığının altında ve üstünde çok

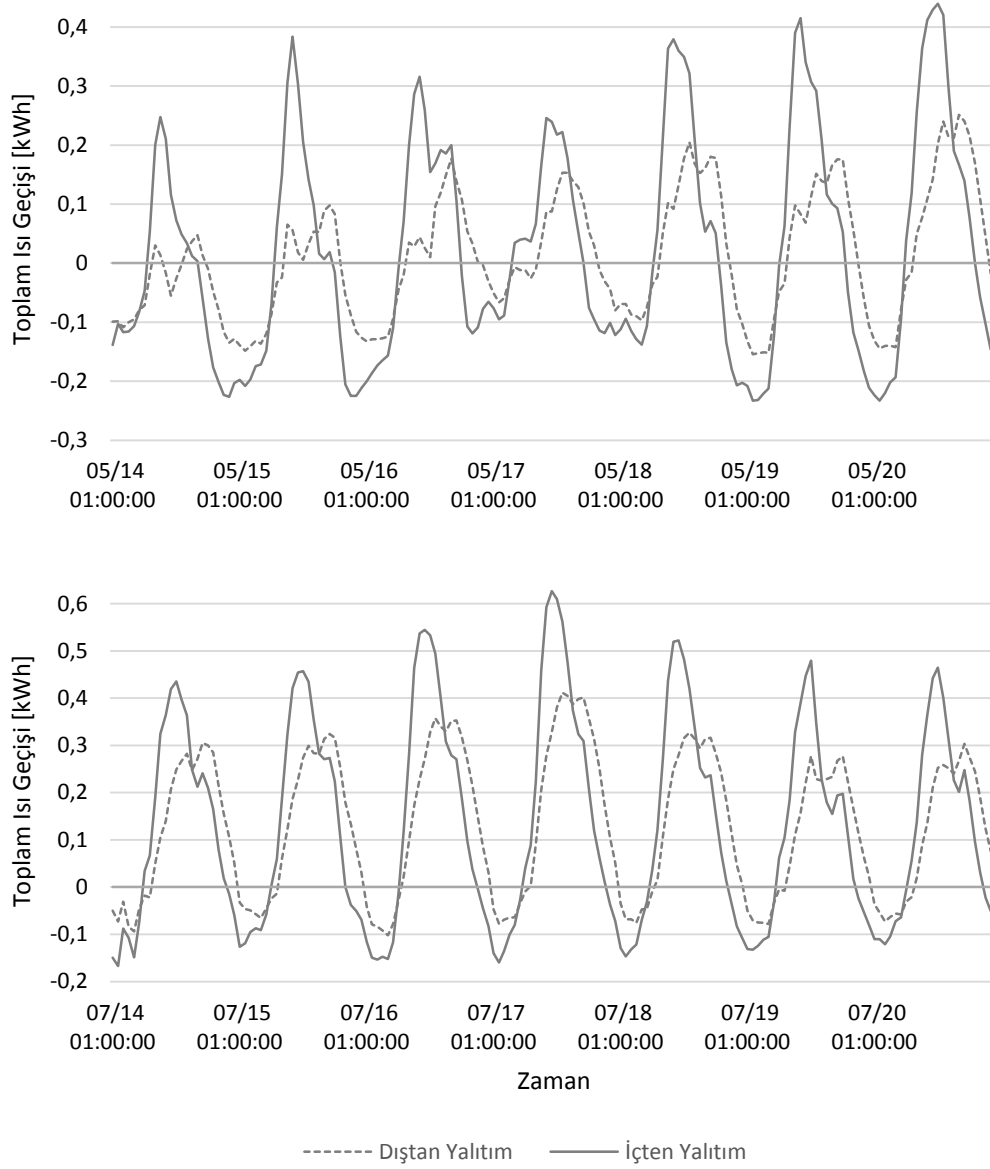
salınmadığı, daha çok üstünde kaldığı yaz aylarında beton kütlesinin artmasının etkisinin sınırlı olduğu, ancak salınımın arttığı bahar aylarında yaz aylarındaki tasarrufun neredeyse 2 katına çıktığı görülebilir. Örneğin Ağustos ayı için kütlenin 2 katına çıkması 268 kWh bir tasarruf sağlarken, Ekim ayında bu miktar 570 kWh değerine ulaşmıştır.

Çizelge 4.2 : İzmir için yalıtımsız duvar halinde duvar kütlesine göre aylık soğutma enerjisi ihtiyaçları.

	Hafif Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Orta Ağırlıktaki Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Ağır Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	443	235	38
Şubat	578	349	126
Mart	1422	925	434
Nisan	1759	1236	718
Mayıs	4508	4014	3518
Haziran	6435	6123	5799
Temmuz	7073	6826	6543
Ağustos	7074	6819	6551
Eylül	5740	5337	4954
Ekim	2442	1846	1276
Kasım	934	559	188
Aralık	276	120	6
TOPLAM	38684	34389	30150

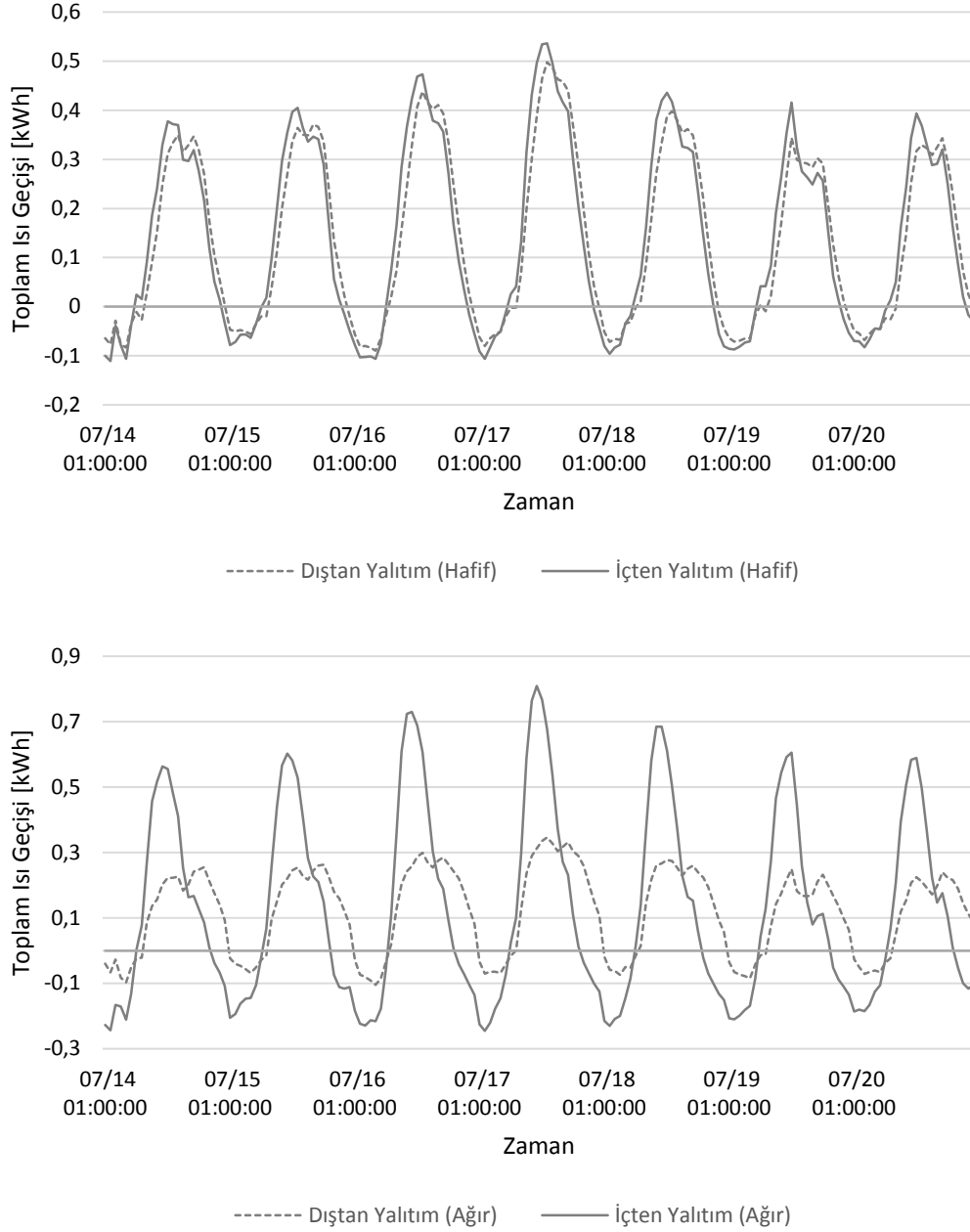
Yalıtımın içten ya da dıştan yapılması daha hafif ve daha ağır duvarlarda da aynı etkiyi göstermektedir. Yalıtımın duvarın iç yüzeyine alınması, yine enerji ihtiyacında bir miktar artışa neden olmaktadır. Ancak termal kütlenin artışı 2 ve 3 cm yalıtım durumunda gözlemlenen bir miktar iyileşmenin kaybolmasına neden olmuştur. Buna da, o iyileşmeyi sağlayan gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı salınımının termal kütle etkisiyle sönümlenmesinin neden olduğu sonucu çıkarılabilir.

Yalıtım yerinin Akdeniz ikliminde soğutma enerjisi tasarrufundaki potansiyeli, yıllık toplam enerji ihtiyaçlarından çok iyi yorumlanamamaktadır. İçerden ve dışardan yapılan yalıtımın farkı yine günlük ısı geçişi sonuçları incelendiğinde daha belirginleşmektedir. Şekil 4.8, 3 cm yalıtım kalınlığına sahip bir duvar için Mayıs ve Temmuz aylarındaki 1 haftalık toplam ısı geçişi grafiklerini içermektedir.



Şekil 4.8 : Güney yönlü bir duvar için Mayıs ve Temmuz aylarında yalıtım yerine göre toplam ısı geçişi grafiği.

Mayıs ve Temmuz aylarındaki toplam günlük ısı geçişi grafiği incelendiğinde, içten yapılan yalıtımın toplam ısı geçişinde yalıtım kalınlığının azaltılmasıyla eşdeğer etkisi olduğu gözlemlenebilir. Özellikle Mayıs ayında bu etki daha açık görülebilmektedir. İçten yapılan yalıtım neticesinde gündüz olan ısı kazancı artmış, gece meydana gelen ısı kaybı da yine benzer durumla dıştan yapılan yalıtıma göre fazlaşmıştır. Yapılacak yalıtımın yerinin, betonun termal kütesinin odaya dahil edilip edilmemesindeki rolü, bu durumu sağlayan en büyük etmen olarak görülebilir. Şekil 4.9 incelendiğinde bu durum çok daha belirgin bir hal almaktadır.



Şekil 4.9 : Güney yönlü bir duvar için beton kütleli ve yalıtım yerine göre Temmuz ayında toplam ısı geçişi.

Betonun yoğunluğunun, dolayısıyla termal kütleli azalması dıştan ve içten yalıtım yapılması arasındaki farkın azalmasına neden olmaktadır. Beton yoğunluğunun 300 kg/m^3 seviyesine düşürülmesi, iki durumun neredeyse eşit ısı geçişine neden olmasıyla sonuçlanmıştır. Bu durumda yalıtımın dış yüzeyde bulunması iç yüzeyde bulunmasına göre çok az bir faz gecikmesine neden olmuştur.

Beton yoğunluğunun 2 katına çıkarılması ile yalıtımın içten yapılması özellikle ısı kazancına oldukça negatif etki etmiştir. Temmuz ayının incelenen haftası boyunca ağır

beton kullanıldığında, dıştan yapılan yalıtım ile gerçekleşen toplam ısı kazancı 22,82 kWh, ısı kaybı ise 2,74 kWh olmaktadır. Yalıtımın içten yapılması ile bu değerler sırasıyla 31,42 kWh ve 10,12 kWh olarak gerçekleşmektedir.

Ağır beton kullanımındaki durumu ele aldığımızda toplam ısı kayıp ve kazançları birlikte değerlendirildiğinde dıştan yalıtımda ele alınan hafta için 20,1 kWh, içten yalıtımda ise sadece 1,22 kWh artışla 21,3 kWh soğutma enerjisi ihtiyacı olduğu görülebilir. Bütün bu günlük değerlere bakıldığında aslında en başta ulaşılan sonucu doğrular nitelikte, yıllık toplamların da benzer şekilde İzmir için çok az bir farkla gerçekleştiği görülebilir.

Sonuç olarak, sadece yıllık genel toplamların incelenmesiyle yalıtım yerinin enerji tasarrufu potansiyeline etkisinin tam olarak belirlenemeyeceği sonucuna varılabilir. Soğutma enerjisi ihtiyacı esas alındığında, termal kütlenin göz önüne alınmasıyla günlük ısı geçişleri beraber değerlendirilerek yalıtım yerinin asıl etkisi gözlemlenebilir. Büyük bir termal kütle ile içten yapılan yalıtımın etkin bir şekilde kullanılması sonucunda, gece gerçekleşen ısı kaybından mümkün olduğunca yararlanılabilmesi, bu durumun gerçek potansiyelini ortaya çıkaracaktır. Çalışmada 5. Bölüm’de dinamik yalıtım konusunda bu durum daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.4 Pencere Analizleri

encereler, toplam dış kabuk alanının yaklaşık %24’ünü oluşturması sebebiyle örnek alınan binada ısı konfor açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte duvarlarla karşılaştırıldığında, farklı fiziksel özellikleri nedeniyle, ısı performans etki oranları, alan oranlarından farklıdır. Isıtma enerjisi ihtiyacı göz önüne alındığında incelenen bina için ısı kayıplarının %38’inden pencereler sorumlu iken, %62’sinden duvarlar sorumludur. Bu bağlamda pencerelerde yapılacak iyileştirmelerin binanın ısı performansına büyük oranda etki etmesi beklenen bir durumdur. Bu bölümde pencereleri oluşturan ana unsurlar olan çerçeve ve camda yapılacak iyileştirmelerin bina ısı performansını hangi oranlarda etkilediği analiz edilmiştir. Özellikle güneş kazançlarının azaltılmasında etkin olarak kullanılan yardımcı elemanlardan biri olan gölgeleme elemanları çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Pencere analizleri, pencerenin ısı geçirgenlik özelliklerinin değiştirilmesi ve güneş geçirgenliği özelliklerinin değiştirilmesi başlıkları altında incelenmiştir. Örnek alınan

binada pencere çerçevesi, sıkça kullanım alanı bulan 55 mm'lik profile sahip PVC malzemeden seçilmiştir. Bu çerçeve için yine binaların büyük bir bölümünde kullanılan, 9 mm boşluğa sahip çift cam kullanılmıştır. Isıl geçirgenlik özelliklerinin iyileştirildiği durumda ise çerçeve 76 mm profile sahip PVC seçilirken; cam, özellikle ısı performans sağlamak üzere üretilen aralarında 12 mm boşluk bulunan 3'lü cam tipi olarak alınmıştır. Son olarak ise ısıl geçirgenliğin iyileştirildiği pencere tipine güneş geçirgenliğini 0,38 yapacak şekilde kaplama uygulanmıştır. İncelenen bütün durumlarda kullanılan değerler tablo halinde Çizelge 4.3'de görülebilir.

Çizelge 4.3 : Pencere analizinde kullanılan değerler.

	Örnek Bina	Kaplamasız İyileştirilmiş Pencere	Kaplamalı İyileştirilmiş Pencere
$A_{\text{çerçeve}} [m^2]$	0,845	0,845	0,845
$U_{\text{çerçeve}} [W/m^2K]$	1,4	0,7	0,7
$A_{\text{cam}} [m^2]$	2,035	2,035	2,035
$U_{\text{cam}} [W/m^2K]$	3,8	1,82	1,82
$A_{\text{pencere}} [m^2]$	2,88	2,88	2,88
$U_{\text{pencere}} [W/m^2K]$	3,15	1,7	1,7
Güneş Geçirgenliği	0,84	0,84	0,38

Belirtilen özelliklerle elde edilen simülasyon sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çerçeve ve camın ısıl geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilmesi, duvar yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi ile benzer sonuçlar vermektedir. Örnek binada 34160 kWh/yıl olarak gerçekleşen soğutma enerjisi ihtiyacı çerçeve ve camın iyileştirilmesi ile 36000 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır. Bu değer duvar yalıtım kalınlığının 5 cm'den 15 cm'ye çıkarılması ile yaklaşık aynı etki ettiğini göstermektedir. Ancak duvar yalıtım kalınlığının artırılması yaz aylarında soğutma enerjisi ihtiyacında pozitif etki ederken, pencere ve camın yalıtım özelliklerinin artırılması tam tersi etki etmektedir. Pencerenin neredeyse hiç termal kütesinin olmaması neticesinde gece oluşacak sıcaklık farkının, duvarda olduğu gibi öncelikle ısı kapasite tarafından tutulmayarak doğrudan iç ortamdan ısı kaybına neden olması bu etkide önemli bir faktördür.

Cama güneş geçirgenliği 0,38 olan bir kaplama uygulanması durumunda ise soğutma enerjisi performansı bakımından oldukça iyi bir sonuçla karşılaşılmaktadır. Bu durumda soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl'dan 14036 kWh/yıl gibi çok düşük bir değere düşmektedir. Pencereden olan ısı kazançlarında en büyük paya sahip olan

güneş kazançlarının bunda etkisi büyüktür. Pencereleden yıl boyu toplam ısı kazancı yaklaşık %53 oranında düşerek 25364 kWh/yıl seviyelerine gerilemiştir.

Çizelge 4.4 : Çerçeve ve cam iyileştirilmesi sonucunda oluşan enerji ihtiyaçları.

	Örnek Bina İçin Enerji İhtiyacı [kWh]		Çerçevenin ve Camın İyileştirilmesi İle Oluşan Enerji İhtiyacı [kWh]		Kaplamalı Cam ve Çerçevenin İyileştirilmesi İle Oluşan Enerji İhtiyacı [kWh]	
	Soğutma	Toplam	Soğutma	Toplam	Soğutma	Toplam
Ocak	280	1857	344	1556	0	2250
Şubat	411	1696	493	1448	9	1968
Mart	1136	1694	1350	1721	70	1225
Nisan	1616	1749	1883	1958	186	573
Mayıs	4197	4197	4436	4436	1579	1589
Haziran	5760	5760	5909	5909	2839	2839
Temmuz	6289	6289	6401	6401	3249	3249
Ağustos	6352	6352	6480	6480	3292	3292
Eylül	5205	5205	5388	5388	2357	2357
Ekim	2156	2194	2412	2429	437	577
Kasım	619	1368	737	1267	20	1316
Aralık	141	1926	180	1595	0	2326
TOPLAM	34160	40287	36013	40589	14036	23561

Isıtma enerjisi ihtiyacı göz önüne alındığında ise beklenildiği gibi ısıl geçirgenliğin azalması ısıtma enerjisi ihtiyacında da bir azalmaya dolayısıyla ısıtma enerjisi açısından ısıl performansın artmasına yol açmıştır. Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 6127 kWh/yıl değerinden 4576 kWh/yıl değerine düşmüştür. Bu ısıtma enerjisi performansında %25’lik bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. Kaplamanın uygulandığı ikinci durumda ise ilk durumun tersi söz konusudur. Isıtma enerjisi ihtiyacı referans duruma göre %55’lik bir artışla 9524 kWh/yıl değerine çıkmıştır. Ancak soğutma enerjisi ihtiyacındaki toplam düşüş, bu artış karşısında yüksek seviyelerde kaldığı için sadece ısıtma enerjisi ihtiyacına göre bir strateji oluşturulması doğru bir yaklaşım olarak görülmemektedir. Bu yüzden, ısıtma enerjisi ihtiyacı da göz önüne alındığında pencere kaynaklı ısıl performansın değerlendirilmesinde toplam enerji ihtiyacına göre bir değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır.

Toplam enerji ihtiyacı, ısıl geçirgenliğin iyileştirildiği durumda soğutma enerjisi ihtiyacındaki artışla ısıtma enerjisi ihtiyacındaki azalmanın yaklaşık aynı seviyelerde

kalması nedeniyle sadece %0,7 civarında artmıştır. Bu göz ardı edilebilecek bir değerdir. Ancak kaplamalı durumda 34160 kWh/yıl'dan 14036 kWh/yıl'a düşen soğutma enerjisi ihtiyacı karşısında 6127 kWh/yıl'dan 9524 kWh/yıl'a çıkan ısıtma enerjisi ihtiyacı düşük seviyelerde kaldığından, toplam enerji ihtiyacı %41 oranında azalarak 23560 kWh/yıl değerine düşmüştür.

Sonuç olarak pencereler, ısıl performansın değerlendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada incelenen iklim kuşağı için, pencerenin ısıl geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilmesi, ısıtma enerjisi ihtiyacı bakımından olumlu sonuç verirken, soğutma enerjisi ihtiyacında bir yükselmeye neden olmaktadır. Toplam ısıl performans bakımından ise kayda değer bir değişiklik oluşturmamaktadır.

Pencerenin ısıl özelliklerinin iyileştirilmesi yanında cama güneş geçirgenliğini azaltacak bir kaplama yapılması durumunda ise soğutma enerjisi ihtiyacındaki büyük düşüş dikkat çekmektedir. Bunun yanında ısıtma durumunda, güneş kazançlarının neredeyse yarı yarıya düşmesi ısıtma enerjisi ihtiyacındaki yükselişin temel nedenini oluşturmaktadır. Ancak toplam ısıl performanstaki büyük artış, ısıtma enerjisindeki artmanın göz ardı edilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında ısıtma durumunda fazladan harcanacak enerjinin önüne geçilmesi bakımından dinamik bir kaplama yöntemi camlarda kullanılabilir. Örneğin elektrokromik özelliklere sahip bir kaplama ile soğutma sezonunda güneş geçirgenliğinin düşürülüp, ısıtma ihtiyacının duyulduğu zamanlarda geçirgenliğin sağlanarak güneş kazançlarından en yüksek fayda sağlanabilir. Böylece ısıtma enerjisi ihtiyacında bir değişiklik oluşmadan soğutma enerjisi ihtiyacı çok düşük seviyelere çekilebilir. Ancak bu durum, çalışmada incelenen soğutma ağırlıklı iklim bölgesi için geçerlidir. Isıtma ağırlıklı iklimlerde kaplamanın uygulanması tamamen negatif bir etki edecektir.

4.4.1 Kaplamalı pencere ile aydınlatma ilişkisi

Soğutma enerjisi ihtiyacını büyük oranda azaltması yanında kaplama uygulanması, geçen gün ışığının azalmasını da sağlayacağı için, özellikle aydınlatma yüklerinin çok etkili olduğu ofis binalarında dikkatli uygulanması gereken bir yöntemdir. Kaplamanın uygulanması ile oluşacak fazladan aydınlatma ihtiyacı bir taraftan binanın elektrik tüketimini etkilerken, diğer taraftan da harcanan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşerek binaya fazladan soğutma enerjisi ihtiyacı oluşturacaktır. Farklı doğal ışıklandırma yöntemleri kullanılarak bu durumun önüne geçilmesi sağlanabilir. Bunun yanında

kaplama teknolojisindeki son gelişmeler ile elde edilen, güneş spektrumunun görülebilir kısmını geçirip ısı kazancında etkili olan dalga boylarının geçmesine izin vermeyen seçici geçirgen ve düşük emisiviteli kaplamalar kullanılması da bu sorun için bir çözüm olabilir. Bu husus, çalışmaya dahil edilmemiştir. Ancak kaplamalı pencerenin toplam enerji performansına etkisinde göz önüne alınmalıdır.

5. BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASINDA YENİLİKÇİ PASİF YAKLAŞIMLAR

Bu bölüm 4. Bölümde bahsedilen, bina kabuğunda yapılacak değişiklikler kapsamında bir takım yeni düşüncelerin, soğutma ağırlıklı iklimlerde enerji tasarrufunda ne kadar rol oynayabileceği ile ilgili sayısal hesaplamaları ve analizleri içermektedir.

5.1 Farklı Yönlerdeki Duvarlara Farklı Yalıtım Kalınlığı Uygulanması

Bölüm 4.1’de duvar yalıtım kalınlığının farklı yönlerdeki farklı etkilerinden bahsedilmişti. Bu bölümde ise farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlığı uygulanması durumunda soğutma enerjisi ihtiyacındaki değişim incelenmektedir.

Öncelikle Kuzey yönündeki duvarlarda yalıtım olmaması durumu incelenmiş sonra ise Doğu ve Batı yönlü duvarlardaki yalıtımlar da sırası ile kaldırılarak bina enerji ihtiyaçları yıllık olarak simüle edilmiştir. Simülasyonda yalıtım kalınlıkları yine referans alınan durumdaki şekliyle 5 cm olarak düşünülmüştür. Son olarak referans değerler ile incelenen durumlar karşılaştırılmak üzere aylık soğutma enerjisi ihtiyaçları çıkarılmış ve Çizelge 5.1’de toplu olarak verilmiştir.

Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması durumu incelendiğinde soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme olduğu göze çarpmaktadır. Referans duruma göre soğutma enerjisinde 1229 kWh/yıl ($2,4 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$) azalma gözlemlenmiştir. Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında soğutma sistemlerinin çalıştırılmayabileceği düşünüldüğünde bile kalan aylar için 1156.4kWh/yıl’lık bir iyileşme söz konusudur.

Kuzey yönlü duvarlarla birlikte Doğu yönlü duvarlardaki yalıtımın da kaldırılması, yıllık bazda sadece Kuzey yönlü duvarlardaki yalıtımın kaldırılmasıyla aynı sonuçları vermiştir. Ancak özellikle yaz aylarına bakıldığında sıcaklığın belirli bir değerin altına düşmediği durumlarda soğutma enerjisi ihtiyacında gözle görülür bir artış dikkati çekmektedir.

Doğu yönlü duvarlardan da yalıtımın kaldırılması soğutma yüklerinde herhangi bir değişikliğe neden olmazken ısıtma yükleri de göz önüne alındığında bu durumun enerji

performansı açısından çok da iyi sonuçlar vermediği görülebilir. Referans alınan duruma göre ısıtma enerjisi ihtiyacındaki yaklaşık 2 kat artış, herhangi yöndeki 2. bir duvardan da yalıtım katmanının kaldırılmasının doğru bir strateji olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Farklı yöndeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması durumunda soğutma enerjisi ihtiyaçları

	Referans durumda Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Kuzey yönlü duvarda yalıtım olmaması durumunda Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Kuzey ve Doğu yönlü duvarda yalıtım olmaması durumunda Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	280	268	225
Şubat	411	392	343
Mart	1136	1011	914
Nisan	1616	1369	1257
Mayıs	4197	3970	3962
Haziran	5760	5691	5864
Temmuz	6289	6269	6474
Ağustos	6352	6285	6464
Eylül	5205	5032	5067
Ekim	2156	1927	1787
Kasım	619	583	509
Aralık	141	133	107
TOPLAM	34160	32930	32972

Sadece Kuzey yönlü duvardan yalıtım katmanının kaldırılması da ısıtma enerjisi ihtiyacındaki değişim göz önüne alınarak incelenebilir. Bu durumda beklenildiği gibi ısıtma enerjisi ihtiyacında bir kötüleşme olmaktadır. Ancak sadece tek duvardan yalıtım katmanının kaldırılması bu negatif etkiyi azaltmaktadır.

Sonuç olarak sadece Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması, soğutma enerjisi ihtiyacından tasarruf için uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Ancak ısıtma enerjisi ihtiyacının göz önüne alınması gereken durumlar için özel olarak değerlendirilmesi gereken bir durumdur. Örneğin ofis binaları gibi iç yüklerin yoğun olarak etkili olduğu durumlarda, kışın iç kazançların kayıpları dengelemesiyle ısıtma enerjisi gereksinimindeki azalışın, bu pasif stratejiyi daha uygulanır kılması beklenebilir.

5.2 Dinamik Yalıtım

Bu bölümde duvarların yalıtım durumunun sezonluk ve gün içinde değiştirilmesi durumu incelenecektir. Sezonluk değiştirilmesi durumu sadece duvar dış yüzeyine yalıtım katmanının seçilen ay boyunca uygulanıp uygulanmamasıyla ilgilidir. Yalıtım katmanının günlük değiştirilmesi durumunda yalıtım katmanının gerektiğinde gün içinde dış yüzeyden iç yüzeye alınması veya tamamen kaldırılması söz konusudur. Bu durumlar neticesinde gerçekleşecek ısı geçişi değişiklikleri analiz edilecektir. Çalışmada yalıtım katmanının kaldırılması veya dış yüzeyden iç yüzeye alınmasını sağlayacak sistemlerin teknolojik çözümleri göz önüne alınmayıp sadece böyle bir durumun ısıtma ve özellikle soğutma yüklerine etkisi teorik olarak araştırılacaktır.

5.2.1 Sezonluk dinamik yalıtım

Farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlığı uygulanması neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde soğutma enerjisi ihtiyacının düşürülmesinde sadece yalıtım katmanının eklenip çıkarılmasıyla yeni stratejiler geliştirilebileceği görülebilir. Bu bölümde binadaki her bir duvardaki yalıtım katmanının ayrı ayrı kontrol edilmesiyle istenilen aylarda bir veya birkaçının kaldırılıp diğer aylarda ise tekrar eklenmesi durumunda özellikle soğutma enerjisi ihtiyacının nasıl etkileneceği incelenecektir.

Belirtilen durumun incelenmesinde bina enerji tüketimleri EnergyPlus'da yine yıllık olarak simüle edilmiş ve sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Referans bina sonuçları için yine TS825 standardına göre 5 cm yalıtım kalınlığındaki sonuçlar dikkate alınmış, bir ya da birkaç duvarın yalıtımlarının kaldırıldığı durumdaki yalıtımlı duvarlarda yine bu 5 cm yalıtım kalınlığı kullanılmıştır.

Binada sadece soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; kış aylarında ve dış hava sıcaklığının nispeten daha düşük seyrettiği aylarda bütün duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması, kalan aylarda ise özellikle Güney ve Batı yönlü duvarlar gibi güneş temelli ısı kazançlarının yüksek olduğu duvarlara yalıtım uygulanması ilk incelenen durum olmuştur. Bu durumda Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında duvarlardan tamamen yalıtım kaldırılmış, kalan aylarda ise önce Güney ve Batı, sonra ise Güney, Batı ve Doğu yönlerindeki duvarlara yalıtım uygulanmıştır.

Doğu yönüne yalıtım uygulanıp uygulanmamasının, Kuzey yönündeki yalıtım katmanının kaldırılması ile soğutma enerjisi ihtiyacına etkisinin neredeyse hiç olmadığı Bölüm 5.1’de irdelenmişti. Dolayısıyla sezonluk dinamik yalıtım durumunda, yalıtım uygulanacak aylarda sadece Kuzey yönlü duvardaki yalıtım katmanının olmadığı durum incelenmiştir.

Çizelge 5.2 : Yalıtım katmanının sezonluk değiştirilmesi ile gerçekleşen soğutma enerjisi ihtiyaçları.

	Referans Bina [kWh]	Yalıtımsız Bina [kWh]	Kuzey Duvarlar Yalıtımsız [kWh]	Sezonluk Dinamik Yalıtım [kWh]
Ocak	280	235	268	235
Şubat	411	349	392	349
Mart	1136	925	1011	925
Nisan	1616	1236	1369	1236
Mayıs	4197	4014	3970	3970
Haziran	5760	6123	5691	5691
Temmuz	6289	6826	6269	6269
Ağustos	6352	6819	6285	6285
Eylül	5205	5337	5032	5032
Ekim	2156	1846	1927	1846
Kasım	619	559	583	559
Aralık	141	120	133	120
TOPLAM	34160	34389	32930	32516

Belirtilen 7 ayda binadaki yalıtım katmanının tamamen kaldırılması, kalan aylarda ise Güney, Batı ve Doğu yönlerine 5 cm’lik yalıtım katmanı uygulanması durumunda soğutma enerjisi ihtiyacı yaklaşık 32516 kWh/yıl (63,51 kWh/m²yıl) olarak gerçekleşmiştir. Bu değer; yıl boyu her duvara yalıtım uygulanmasına göre 1644 kWh/yıl (3,21 kWh/m²yıl) ve bütün duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılmasına göre 1873 kWh/yıl (3,66 kWh/m²yıl) soğutma enerjisi ihtiyacında avantaj sağlamıştır. Bu değer Kuzey yönlü duvardan yalıtım katmanının kaldırılmasına göre ise 414 kWh/yıl (0,81 kWh/m²yıl) seviyesinde kalmıştır. Isıtma enerjisi ihtiyacının göz önüne alınmadığı durumlarda, özellikle tamamen yalıtım yapılması ya da yalıtımın tamamen kaldırılması durumuna göre elde edilen değerler dikkat çekici boyutlardadır.

İkinci durum olarak ısıtma enerjisi ihtiyacı da dikkate alındığında özellikle kış aylarındaki ısı kaybının azaltılması gerekliliği öne çıkmaktadır. İlk durumda, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında yalıtımın duvarlardan tamamen

kaldırılmış olması bu aylarda soğutma enerjisi ihtiyacında 1088 kWh/yıl tasarruf sağlamış olsa da ısıtma enerjisi ihtiyacında fazladan 14951 kWh/yıl gibi büyük bir kötüleşmeye neden olmuştur. Bunun önüne geçilebilmesi maksadıyla sadece soğutma enerjisi ihtiyacının göz önüne alındığı strateji bırakılarak toplam enerji ihtiyacının göz önüne alındığı yeni bir yöntem oluşturulmuştur. Bu yöntemde incelenen ay için iki enerji ihtiyacı da birlikte değerlendirilmiş ve en uygun durum seçilmiş ve sonuçlar Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Isıtma enerjisi de dikkate alındığında sezonluk dinamik yalıtım ile gerçekleşen ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları.

	Referans Bina Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Referans Bina Soğutma Enerjisi İhtiyacı	Sezonluk Dinamik Yalıtım Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Sezonluk Dinamik Yalıtım Soğutma Enerjisi İhtiyacı
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Ocak	1577	280	1577	280
Şubat	1284	411	1284	411
Mart	559	1136	559	1136
Nisan	133	1616	339	1369
Mayıs	1	4197	10	3970
Haziran	0	5760	0	5691
Temmuz	0	6289	0	6269
Ağustos	0	6352	0	6285
Eylül	0	5205	4	5032
Ekim	39	2156	161	1927
Kasım	749	619	749	619
Aralık	1785	141	1785	141
TOPLAM	6127	34160	6468	33128

Yeni oluşturulan yöntemde Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında bütün duvarlara 5 cm yalıtım uygulanırken kalan aylarda Kuzey yönlü duvarlardaki yalıtım kaldırılmıştır. Bu durumda soğutma enerjisi ihtiyacı 33128 kWh/yıl (64,7 kWh/m²yıl), ısıtma enerjisi ihtiyacı ise 6468 kWh/yıl (12,6 kWh/m²yıl) olarak gerçekleşmiştir. Böylece referans alınan duruma göre ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının birlikte değerlendirildiği toplam enerji ihtiyacında 691 kWh/yıl iyileşme gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması fikri, duvarlardaki yalıtım durumunun sezonluk olarak değiştirilmesi stratejileri ile bir üst seviyeye taşınarak daha etkin bir şekilde değerlendirilmiştir. Isıtma ve soğutma enerjisi

ihtiyaçlarının birlikte değerlendirildiği durumda Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında bütün duvarlara yalıtım uygulanarak kalan aylarda Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması uygun bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

İç yüklerin özellikle ısıtma sezonunda, ısıtma enerjisi ihtiyacındaki azaltıcı etkisi dikkate alındığında, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaldığı durumlarda yalıtım tamamen kaldırılabilir. Aksi durumlarda sadece Kuzey duvarında belirli aylarda yalıtımın kaldırılmasının özellikle soğutma yüklerinin azaltılmasında etkili olduğu yorumu yapılabilir.

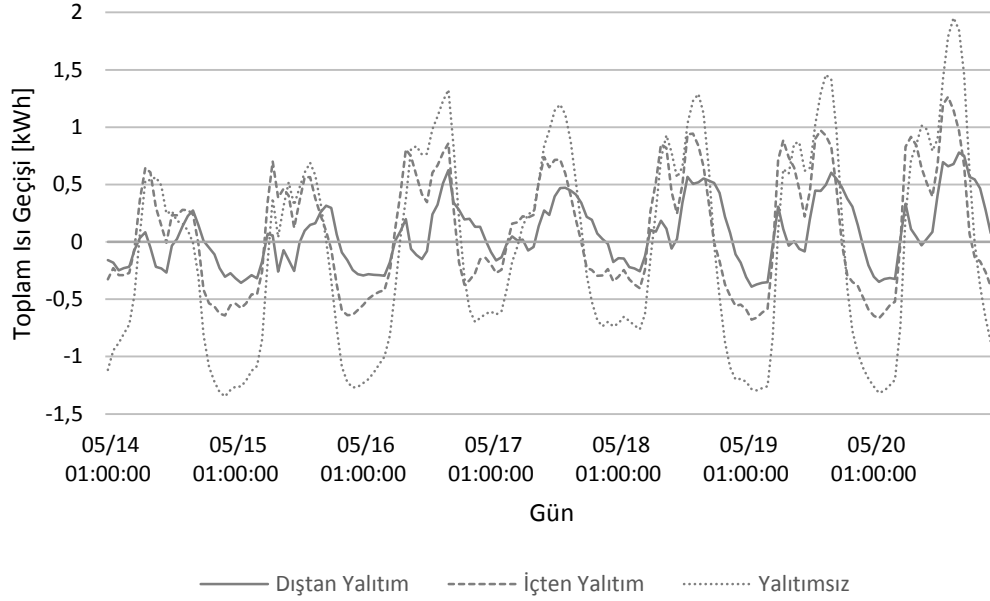
5.2.2 Günlük dinamik yalıtım

Duvarlardaki yalıtım katmanının sezonluk sıcaklık farklarından yararlanılmak üzere değiştirilmesi ile elde edilen iyileşme, günlük sıcaklık farklarından da yararlanılmak üzere yalıtım katmanının günlük olarak değiştirilmesi durumunu gündeme getirmektedir. Bu bölümde duvarlardaki yalıtım katmanının gün içinde dinamik olarak duvarın dış yüzeyine alınması, iç yüzeyine alınması ve tamamen kaldırılması ile elde edilebilecek enerji tasarrufları incelenmektedir.

Yalıtım katmanının gün içinde dinamik olarak değiştirilmesi durumunun incelenmesine, öncelikle yalıtım katmanının duvarın dış yüzeyinde olması veya iç yüzeyinde olması durumu ile hiç olmaması durumunda ne gibi farklılıkların oluşacağı konusu incelenerek başlanabilir.

Duvarda yapılacak olan yalıtımın yerinin nasıl sonuçlar doğuracağı konusu Bölüm 4.2’de ele alınmıştı. Bahsi geçen bölümde yalıtım yerinin tek başına etkili olmadığı, duvarın termal kütesinin de göz önüne alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştı. Özellikle Şekil 4.9’da sonuçları verilen durum, bu bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacak analizler için bir çıkış noktası oluşturmaktadır. Termal kütleinin çok düşük olduğu durumlarda yalıtımın yerinin ısı geçişlerinde herhangi bir değişikliğe neden olmaması, çok büyük termal kütle durumunun da gerçekçi bir yaklaşım olmamasından hareketle bu bölümde incelenecek durumlar için beton yoğunluğu yine 800 kg/m^3 olarak alınmıştır.

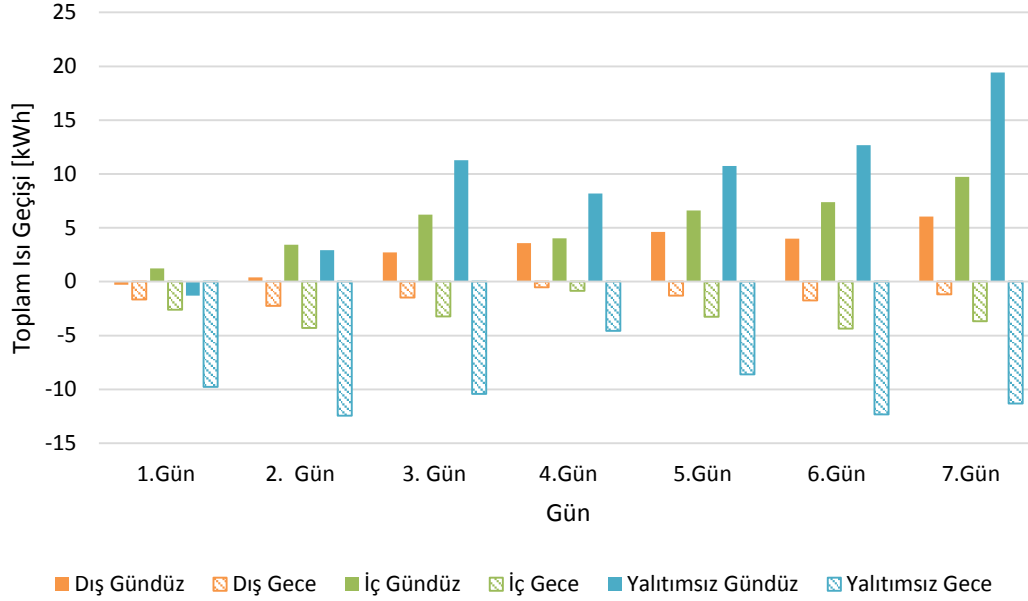
Analizlere ilk olarak Mayıs ayındaki bir hafta incelenerek başlanmıştır. Akdeniz ikliminde gündüz ve gece sıcaklık farkının yüksek gözlemlendiği aylardan biri olması nedeniyle Mayıs ayı tercih edilmiştir. Dıştan yalıtım, içten yalıtım ve yalıtımsız durumlar seçilen hafta için simüle edilmiş ve Şekil 5.1’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1 : Mayıs ayında duvarlardan gerçekleşen ısı geçişleri.

Mayıs ayında dıştan yalıtımla, içten yalıtımla ve yalıtımsız durumda duvarlardan gerçekleşen ısı geçişleri incelendiğinde gündüz ve gece için farklı yalıtım stratejilerinin uygulanması ile odanın ısı kazancında önemli değişiklikler olabileceği görülebilir. Dıştan yalıtım durumunda gündüz duvarlardan olan ısı kazancı diğer durumlara göre minimum seviyede kalmaktadır. İçten yalıtım ve yalıtımsız durum ise birbirine çok yakın seyretmekte; yalıtımsız durum içten yalıtımlı duruma göre özellikle pik kazançların olduğu saatlerde daha yüksek ısı kazançlarına yol açmaktadır.

Isı kayıplarının gerçekleştiği gece saatlerinde ise yalıtım durumlarının farkı biraz daha belirginleşmektedir. Dıştan yalıtım, bu saatlerde Mayıs ayında bile neredeyse hiç ısı kaybına izin vermemektedir. Dolayısıyla soğutma enerjisi ihtiyacını artırıcı bir durum olarak değerlendirilebilir. İçten yalıtım durumunda ısı kayıpları miktarının dıştan yalıtıma göre arttığı görülebilir. Ancak yalıtımsız durumda gerçekleşen ısı kayıplarının miktarı diğer durumlarla kıyaslanamayacak ölçüde gerçekleşmektedir. Şekil 5.2 bu durumun daha iyi gözlemlenmesi açısından daha önemli bilgiler vermektedir. Bu grafikte gündüz saatleri 09:00 – 23:00 arası, gece saatleri ise kalan saatler olarak alınarak, bu saatlerde gerçekleşen toplam ısı geçişleri gösterilmiştir. Pozitif yönlü ısı geçişi yine odanın duvarlardan olan ısı kazancını, negatif yön ise ısı kaybını göstermektedir.



Şekil 5.2 : Mayıs ayındaki bir hafta için gece ve gündüz gerçekleşen toplam ısı geçişleri.

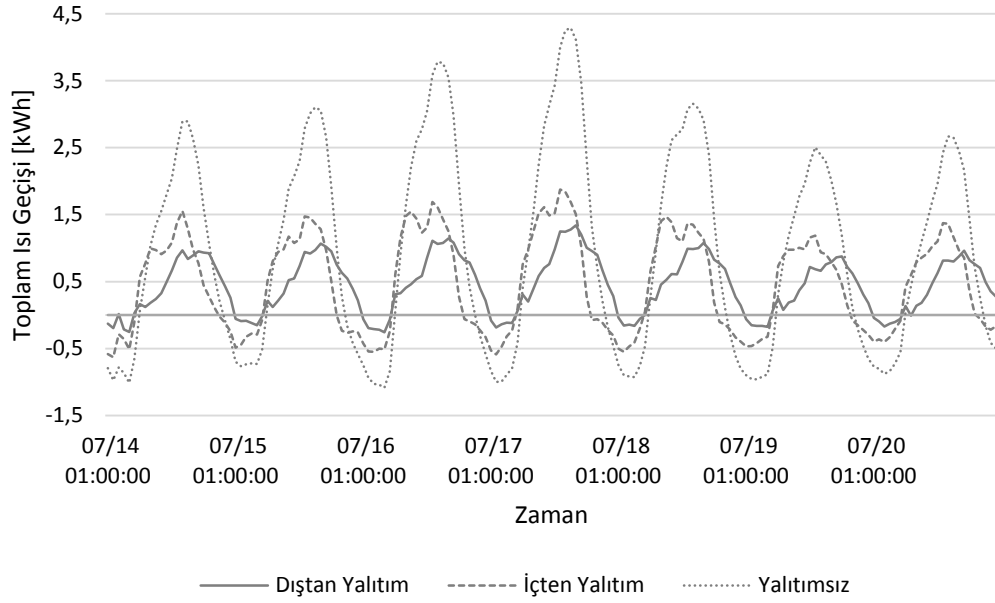
Grafik, günlük olarak değerlendirilecek dinamik bir yalıtım katmanı stratejileri için ipuçları içermektedir. Isı kazançlarının asgariye indirilmesi açısından duvarın dış yüzeyine yapılacak yalıtım kaçınılmaz olarak değerlendirilebilir. Isı kayıplarının mümkün olduğunca fazla gerçekleşmesi için ise yalıtım katmanının tamamen kaldırılması doğru bir tercih gibi görülmektedir.

Temmuz ayında gerçekleşen ısı geçişleri ise Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmektedir. Grafiklerden, her yalıtım durumu için ısı kazançlarının günün büyük bölümünde etkili olduğu, kayıpların ise çok sınırlı bir sürede gerçekleştiği görülebilir. Isı kazançlarının yoğun olarak gerçekleştiği saatlerde yine dıştan yapılacak yalıtımın soğutma enerjisi ihtiyacında önemli etkilerinin olduğu sonucuna her iki grafikten de ulaşılabilir.

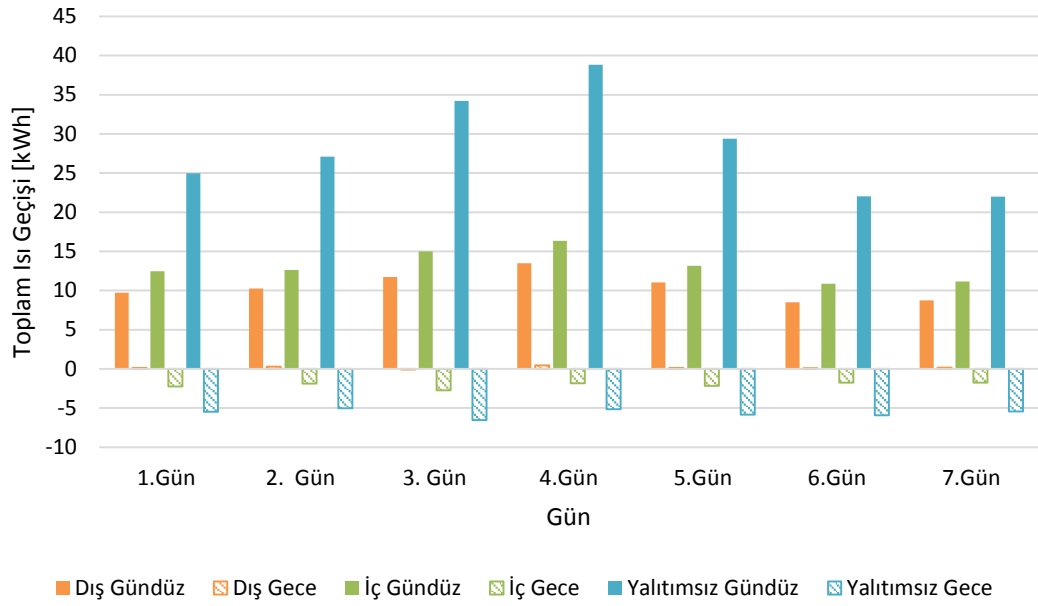
Isı kayıpları göz önüne alındığında ise yine yalıtımsız durumun en fazla ısı kaybına neden olduğu görülmektedir. Ancak Mayıs ayına göre bu kayıpların gerçekleşeceği zamanın kısıtlı olması, bahar ve yaz ayları için de farklı stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini doğurmaktadır.

Bütün bu ısı geçişi analizlerine göre günlük olarak değerlendirilecek dinamik bir yalıtım katmanı stratejisinin oluşturulmasında yine 2 farklı düşünce sisteminin etkili olacağı sonucuna varılabilir. Isıtma enerjisi ihtiyacının dikkate alındığı durumlarda Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında yalıtım katmanının 24 saat boyunca dış yüzeyde tutulması gerektiği yorumu yapılabilir. Ancak yine önceki bölümlerde

belirtildiği gibi iç yüklerin etkili olacağı durumlar için bu durumun ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.3 : Temmuz ayında duvarlardan gerçekleşen ısı geçişleri.



Şekil 5.4 : Temmuz ayındaki bir hafta için gece ve gündüz gerçekleşen toplam ısı geçişleri.

Soğutma enerjisi ihtiyacı göz önüne alındığında ise kalan 8 ayda ortalama sıcaklığın yüksek seyrettiği yaz ayları için farklı, nispeten daha düşük seyrettiği bahar ayları için ise farklı programların uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bahar aylarında yalıtım katmanının gece boyunca daha uzun süre, yaz aylarında ise daha kısa süre

kaldırılmasının soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşmeye neden olması beklenmektedir.

Bu bağlamda EnergyPlus programının orijinal olarak güneş kollektörlerinde kullanılan Saydam Yalıtım Malzemeleri'nin (Transparent Insulation Material, TIM) enerji analizleri için geliştirilen bir modülü, çalışmada göz önüne alınan referans binaya günlük olarak değerlendirilecek dinamik bir yalıtım katmanının uygulanması için düzenlenmiş ve yıllık simülasyonlar için kullanılmıştır.

Çeşitli yalıtım durumları için yapılan bir dizi simülasyon sonucunda dinamik yalıtım katmanı için uygulanabilecek en uygun programa karar verilmiş ve Çizelge 5.4'de paylaşılmıştır.

Çizelge 5.4 : Günlük dinamik yalıtım için simülasyon program çizelgesi.

Yalıtım Durumu	
Ocak	Sürekli dıştan yalıtım
Şubat	Sürekli dıştan yalıtım
Mart	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Nisan	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Mayıs	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Haziran	06:00 – 20:00 arası dıştan yalıtım
Temmuz	06:00 – 20:00 arası dıştan yalıtım
Ağustos	06:00 – 20:00 arası dıştan yalıtım
Eylül	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Ekim	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Kasım	07:00 – 17:00 arası dıştan yalıtım
Aralık	Sürekli dıştan yalıtım

Uygun bulunan program daha önceden tahmin edildiği şekilde bahar ve yaz ayları için farklı yalıtım durumlarını içermektedir. Buna göre Mart, Nisan, Mayıs, Eylül, Ekim ve Kasım ayları boyunca 07:00 – 17:00 saatleri arasında duvarların dış katmanına yalıtım yapılmış, kalan 14 saat boyunca ise bu yalıtım katmanı kaldırılmıştır. Yaz aylarında yalıtım durumunun süresi uzatılmış, 06:00 – 20:00 arası sürekli yalıtım yapılması uygun görülmüştür. Kalan 10 saat boyunca yalıtım katmanı yine kaldırılmıştır. Kış ayları boyunca ise yalıtım sürekli yapılmaktadır. Bu çizelgeye göre simülasyonun çalıştırılması durumu ile referans bina için sonuçlar ise Çizelge 5.5'de karşılıklı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Günlük dinamik yalıtım ile gerçekleşen ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları.

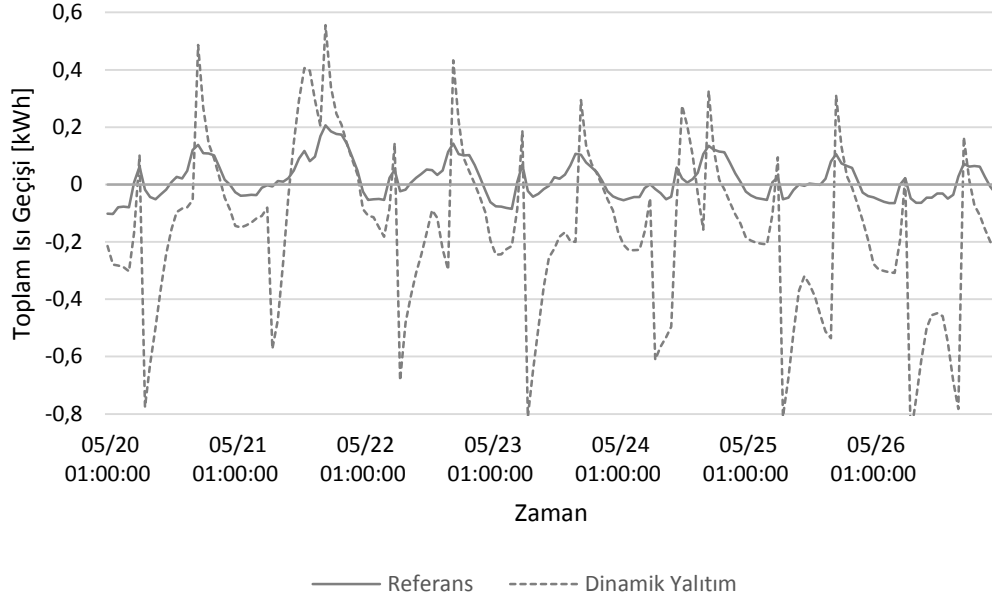
	Referans Bina Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Referans Bina Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Günlük Dinamik Yalıtım Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Günlük Dinamik Yalıtım Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	1577	280	1715	224
Şubat	1284	411	1182	330
Mart	559	1136	1265	407
Nisan	133	1616	440	768
Mayıs	1	4197	13	3809
Haziran	0	5760	0	5670
Temmuz	0	6289	0	5997
Ağustos	0	6352	0	6304
Eylül	0	5205	0	4857
Ekim	39	2156	91	1218
Kasım	749	619	1580	143
Aralık	1785	141	1787	75
TOPLAM	6127	34160	8073	29801

Sonuç olarak günlük dinamik yalıtım yapılması ile soğutma enerjisi ihtiyacı 29801 kWh/yıl (58,21 kWh/m²yıl) değerine kadar düşürülmüştür. Bu değer referans alınan duruma göre 4359 kWh/yıl tasarrufa karşılık gelen, %13 gibi pasif bir önlemle elde edilebilecek önemli bir iyileşmeyi göstermektedir.

Bu iyileşmenin nedenleri Şekil 5.5’de görülebilir. Bu grafikte Mayıs ayının 1 haftasında duvarlardan gerçekleşen toplam ısı geçişleri verilmektedir. Grafikte açıkça görüldüğü üzere, önceki bölümlerde tahmin edildiği gibi yalıtım katmanının gece saatlerinde kaldırılması ısı kayıplarını oldukça arttırmıştır.

Bölüm 5.1’de farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması fikri, Bölüm 5.2.1’de duvarlardaki yalıtım durumunun sezonluk olarak değiştirilmesi stratejileri ile biraz daha geliştirilmiş ve bu bölümde yalıtım durumunun günlük olarak dinamikleştirilmesi ile sonlandırılmıştır.

Günlük dinamik yalıtım, referans alınan duruma göre soğutma enerjisi ihtiyacında 4359 kWh/yıl avantaj sağlamaktadır. Bu değer farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması durumunda elde edilebilecek tasarruftan 3129 kWh/yıl, sezonluk dinamik yalıtımla elde edilebilecek iyileşmeden ise 2714 kWh/yıl daha fazladır.



Şekil 5.5 : Mayıs ayında referans durumla dinamik yalıtım yapılması halinde duvarlardan gerçekleşen toplam ısı transferi.

Günlük dinamik yalıtım, daha önce incelenen Kuzey yönlü duvarın soğutma enerjisi ihtiyacına etkisi ile birleştirildiğinde, sadece Kuzey yönlü duvar için günlük dinamik yalıtım uygulanması fikri gündeme gelebilir. Böyle bir durumda, bütün yönlerdeki duvarlara uygulanacak yalıtım programı sadece Kuzey yönlü duvara uygulandığında soğutma enerjisi ihtiyacı 30850 kWh/yıl olarak gerçekleşmektedir. Bu değer bütün yönlerde uygulanacak günlük dinamik yalıtımdan yaklaşık 1000 kWh/yıl daha yüksek iken yine de sezonluk dinamik yalıtıma göre yaklaşık 1700 kWh/yıl daha iyidir. Daha önceden belirtildiği gibi böyle dinamik bir durumu gerçekleştirecek mekanik sistemler bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Ancak soğutma enerjisi ihtiyacından yaklaşık 8,5 kWh/m²yıl tasarruf ettirebilecek böylesine pasif bir sistem, özellikle sıfır ya da sıfıra yakın enerji hedefi olan binalar için önemli bir tasarruf enstrümanı olabilir.

5.3 Pasif Yaklaşımların Birlikte Uygulanması

Daha önceki bölümlerde, bahsi geçen pasif yaklaşımlar tek tek incelenmişti. Bu bölümde ise irdelenen yöntemlerin en etkin olanları seçilerek toplu olarak örnek binaya uygulanması durumunda elde edilen sonuçlar analiz edilecektir.

Analizler için seçilen iklim bölgesinde bulunan bir binanın toplam enerji performansında en önemli yeri soğutma enerjisi ihtiyacı tutmaktadır. Dolayısıyla

uygulanan yöntemler öncelikle bu enerji ihtiyacını azaltmaya yönelik olarak seçilmiştir.

Soğutma enerjisi ihtiyacını azaltmak amacıyla günlük dinamik bir yalıtım katmanını uygulanması ve kaplamalı cam kullanılması tercih edilen ilk durum olmuştur. Ancak özellikle kaplamalı cam kullanılması durumunda ısıtma enerjisi ihtiyacında meydana gelen yaklaşık 5000 kWh/yıl'lık artış, kaplamanın da dinamik yapılması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Bu bağlamda camlara kaplama yapıldığı ve yapılmadığı durum incelenerek toplam enerji tüketiminin en aza indiği aylarda kaplamanın kaldırılması uygun görülmüş ve simülasyon sonuçları bu aylarda kaplama olmaması durumuna göre verilmiştir.

Son olarak, Bölüm 4.3'de bahsedildiği şekliyle, bina duvarlarında kullanılan beton kütlelerinin, özellikle dinamik yalıtım çözümü ile gün içerisinde kaldırılan yalıtım katmanının etkisiyle birleştirildiğinde soğutma enerjisi ihtiyacı üzerinde oluşturabileceği olumlu etki göz önüne alınarak, örnek binada kullanılan değerinin 2 katı uygulama için seçilmiştir.

Duvarlara, Bölüm 5.2.2 'de uygulandığı şekliyle günlük dinamik yalıtım katmanı; pencerelere ise sezonluk dinamik kaplama uygulanmış ve duvarlarda kullanılan beton yoğunluğu 2 katına çıkarılarak bina enerji ihtiyaçları simüle edilmiş ve elde edilen sonuç Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Buna göre uygulanan pasif önlemler sonucunda binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 6127 kWh/yıl'dan 8463 kWh/yıl'a çıkmış, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl'dan 12157 kWh/yıl değerine inmiştir. Böylece toplam enerji ihtiyacı %48 gibi önemli bir oranda azalarak 40287 kWh/yıl'dan 20620 kWh/yıl değerine düşmüştür.

Çalışmanın asıl amaçlarından birisi olan, incelenen iklim bölgesi için soğutma enerjisi ihtiyacının en aza indirilmesi konusu tek başına değerlendirildiği durumda ise bahsi geçen bütün yaklaşımlar birlikte uygulandığında soğutma enerjisi ihtiyacını 11373 kWh/yıl değerine kadar düşürmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Toplam enerji ihtiyaçları karşılaştırıldığında, bütün önlemlerin birlikte uygulanması sonucu ulaşılan enerji ihtiyacı değerleri, tek başına günlük dinamik yalıtım uygulanmasından 17254 kWh/yıl, tek başına kaplamalı pencere uygulanmasından ise yaklaşık 3000 kWh/yıl daha azdır. Bu değerlerin, yöntemlerin uygulanmasında

kullanılan zaman çizelgelerinin optimize edilmesiyle daha aşağı çekilmesi mümkündür.

Çizelge 5.6 : Örnek bina ve pasif önlemler sonucu elde edilen enerji ihtiyaçları.

	Örnek Bina İçin Enerji İhtiyaçları [kWh]			Pasif Önlemler Sonucu Gerçekleşen Enerji İhtiyaçları [kWh]		
	Isıtma	Soğutma	Toplam	Isıtma	Soğutma	Toplam
Ocak	1577	280	1857	1836	61	1897
Şubat	1284	411	1696	1164	112	1276
Mart	559	1136	1694	1218	131	1349
Nisan	133	1616	1749	321	411	731
Mayıs	1	4197	4197	54	1033	1086
Haziran	0	5760	5760	0	2528	2528
Temmuz	0	6289	6289	0	2855	2855
Ağustos	0	6352	6352	0	3046	3046
Eylül	0	5205	5205	0	1890	1890
Ekim	39	2156	2194	398	20	418
Kasım	749	619	1368	1571	56	1627
Aralık	1785	141	1926	1903	13	1916
TOPLAM	6127	34160	40287	8463	12157	20620

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde bulunan bir binada uygulanacak pasif önlemler ile binanın enerji ihtiyacının düşürülmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu pasif önlemler, bina kabuğunun en önemli bileşenleri olan duvarlar ve pencereler ile sınırlandırılmış ve iklimlendirme sistemleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Ayrıca döşeme ve çatı adyabatik olarak kabul edilmiş ve binadaki ısı kaybının ve kazancının sadece çalışma kapsamında yer alan duvarlar ve pencerelerden (dış kabuktan) gerçekleşmesi sağlanmıştır. İnsan, aydınlatma ve cihaz kaynaklı iç yükler de aynı düşünce ile dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla bina enerji ihtiyacında meydana gelebilecek herhangi bir değişiklik doğrudan incelenen parametre ile ilişkilendirilebilmiştir.

Çalışmada örnek bina olarak TS 825'e uygun bir bina modellenmiş, soğutma ve ısıtma enerjisi ihtiyaçları bir bina enerji simülasyon programı olan EnergyPlus ile hesaplanmıştır. Analizler, Akdeniz iklimi için soğutma ağırlıklı örnek bir şehir olan İzmir'in hava durumu bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak örnek alınan bina için yıllık gerçekleşen ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları sırası ile 6127 kWh/yıl ve 34160 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında İzmir ve benzer Akdeniz iklimleri için soğutma enerjisi ihtiyacında yapılacak iyileştirmelerin binanın toplam enerji performansına büyük oranlarda etki edeceği sonucuna ulaşılabilir.

Analizlere ilk olarak duvar yalıtım kalınlığının parametrik olarak incelenmesi ile başlanmıştır. Buna göre TS 825 standartına göre yapılacak yalıtımın ısıtma enerjisi ihtiyacında %71'lik bir iyileşmeye sebep olduğu, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyacındaki iyileşmenin sadece %0,6'da kaldığı görülmüştür. Yalıtım kalınlığının standartta öngörülen değerden daha fazla artırılması durumunda ise 7cm'den sonra ısıtma enerjisi ihtiyacında da kayda değer bir değişikliğin olmayacağı sonucuna varılmıştır. Artan yalıtım kalınlığı ile soğutma enerjisi ihtiyacındaki bir miktar artış da dikkat çekmektedir. Bu duruma, özellikle bahar aylarında, dış hava sıcaklığının azalması esnasında binanın kaybedeceği ısıнын sınırlandırılması durumu neden

olmaktadır. Yaz aylarında sürekli ısı kazancının olduğu aylarda ise yalıtım kalınlığının iyileştirilmesi beklenildiği gibi olumlu sonuç vermiştir. Bütün bunlar gözönüne alındığında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde yıllık toplam soğutma enerjisi performansının artırılması için yalıtım kalınlığının mümkün olduğunca artırılması, doğru bir strateji olarak görülmemektedir.

Yalıtımın incelenen binada duvar dış yüzeyinden iç yüzeyine alınması ısıtma enerjisi ihtiyacında gözönüne alınabilecek herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Soğutma enerjisi ihtiyacında ise, yalıtımın duvar iç yüzeyine alınması referans alınan 5 cm'lik yalıtım kalınlığı için 939 kWh/yıl artışa neden olmuştur. Buna neden olan en büyük etkinin betonun sahip olduğu termal kütleinin şartlandırılan mahale dahil edilip edilmemesi yorumu yapılabilir.

Duvarın termal kütleinin artması ile yalıtım yerinden bağımsız olarak soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Aylık soğutma enerjisi ihtiyacı sonuçları incelendiğinde beton kütleinin dinamik bir davranış gösterdiği görülmüştür. Dış hava sıcaklığının ortam sıcaklığının altında ve üstünde çok salınmadığı, daha çok üstünde kaldığı yaz aylarında beton kütleinin artmasının etkisinin sınırlı olduğu, ancak salınımın arttığı bahar aylarında kütleinin 2 katına çıkması ile yaz aylarındaki tasarrufun neredeyse 2 katına çıktığı sonucuna varılmıştır.

İçerden ve dışardan yapılan yalıtım ile termal kütleinin birleşik etkisi, günlük ısı geçişi sonuçları incelendiğinde daha belirginleşmektedir. İçten yapılan yalıtım neticesinde gündüz olan ısı kazancı artmış, gece meydana gelen ısı kaybı da yine benzer durumla dıştan yapılan yalıtıma göre fazlalaşmıştır. Beton yoğunluğunun 2 katına çıkarılması ile yalıtımın içten yapılması özellikle ısı kazancına oldukça negatif etki etmiştir. Temmuz ayında duvarlar için 1 haftalık ısı geçişleri incelenmiş ve ağır beton kullanıldığında, dıştan yapılan yalıtım ile gerçekleşen toplam ısı kazancı 22,82 kWh, ısı kaybı ise 2,74 kWh olarak bulunmuştur. Yalıtımın içten yapılması ile bu değerler sırasıyla 31,42 kWh ve 10,12 kWh olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla büyük bir termal kütle ile içten yapılan yalıtımın etkin bir şekilde kullanılması sonucunda, gece gerçekleşen ısı kaybından mümkün olduğunca yararlanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Pencereler için yapılan analizler ise, pencerelerin ısıl geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilmesinin duvarların yalıtım kalınlığının artırılması ile benzer sonuç verdiğini

göstermiştir. Pencerelerin ısıl geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilmesi, ısıtma enerjisi ihtiyacı bakımından olumlu sonuç verirken, soğutma enerjisi ihtiyacında bir yükselmeye neden olmuştur. Pencerenin ısıl özelliklerinin iyileştirilmesi yanında cama, güneş geçirgenliğini azaltacak bir kaplama yapılması durumunda ise soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl değerinden 14036 kWh/yıl değerine düşmüştür. Bunun yanında ısıtma enerjisi ihtiyacında ise %55'lik bir artış gözlemlenmiştir.

İncelenen iklim bölgesi için pencerelerden en etkin faydanın elde edilebilmesi için ise elektrokromik malzemeler gibi dinamik bir kaplama yönteminin uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece kışın güneş kazançlarından ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürecek şekilde faydalanılırken, yazın bu kazançlar mümkün olduğunca azaltılabilir.

Bu analizlerin ardından çalışmanın asıl konusunu oluşturan yenilikçi pasif yaklaşımlar incelenmiştir. İlk önce farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlıklarının uygulanması analiz edilmiştir. Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması durumu incelendiğinde soğutma enerjisi ihtiyacında 1229 kWh/yıl azalma gözlemlenmiştir. Diğer yönlerdeki yalıtım katmanlarının da kaldırılması durumuna göre en büyük tasarruf sadece Kuzey yönlü duvardaki yalıtım katmanının kaldırılması ile elde edilmiştir. Sadece Kuzey yönlü duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması, soğutma enerjisi ihtiyacından tasarruf için uygun bir yöntem olarak görülürken, ısıtma enerjisi ihtiyacının göz önüne alınması gereken durumlar için spesifik olarak değerlendirilmelidir.

Farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım kalınlıklarının uygulanması fikri, binadaki her bir duvardaki yalıtım katmanının ayrı ayrı kontrol edilmesiyle istenilen aylarda bir veya birkaçının kaldırılıp diğer aylarda ise tekrar eklenmesi durumunun da analiz edilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu nedenle sezonluk dinamik yalıtım fikri ortaya atılmış ve analiz edilmiştir. Binada sadece soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; kış aylarında ve dış hava sıcaklığının nispeten daha düşük seyrettiği aylarda bütün duvarlardan yalıtım katmanının kaldırılması, kalan aylarda ise özellikle Güney ve Batı yönlü duvarlar gibi güneş temelli ısı kazançlarının yüksek olduğu duvarlara yalıtım uygulanması ilk incelenen durum olmuştur. Bu durumda soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl'dan 32516 kWh/yıl değerine düşmüştür. İkinci olarak ise ısıtma enerjisi ihtiyacının da dikkate alındığı durum modellenmiş ve 5 ay boyunca her duvara yalıtım uygulanırken kalan aylarda Kuzey yönlü duvardaki yalıtım katmanı

kaldırılmıştır. Bu durumda ısıtma enerjisi ihtiyacında kayda değer bir değişiklik gözlemlenmezken, toplam soğutma enerjisi ihtiyacı 33128 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Sezonluk dinamik yalıtımla elde edilen sonuçlar, yalıtımın gün içinde değiştirilmesi ile elde edilebilecek tasarrufun potansiyelini ortaya çıkarmıştır. Günlük dinamik yalıtım durumu EnergyPlus'daki TIM modülü ile çözümlenmiş ve en uygun zaman çizelgesi seçilerek, bu çizelgeye göre analiz edilmiştir. Günlük dinamik yalıtım yapılması ile soğutma enerjisi ihtiyacı 29801 kWh/yıl değerine kadar düşürülmüştür. Bu değer referans alınan duruma göre 4359 kWh/yıl tasarrufa karşılık gelen, %13 gibi pasif bir önlemle elde edilebilecek önemli bir iyileşmeyi göstermektedir. Bu değer farklı yönlerdeki duvarlara farklı yalıtım uygulanması durumunda elde edilebilecek tasarruftan 3129 kWh/yıl, sezonluk dinamik yalıtımla elde edilebilecek iyileşmeden ise 2714 kWh/yıl daha fazla olduğu görülmektedir.

Son olarak ise çalışmanın bütününde ele alınan iyileştirmeler toplu olarak analiz edilmiştir. Toplam enerji ihtiyacını azaltmak amacıyla, duvarlara, günlük dinamik yalıtım katmanı; pencerelere ise sezonluk dinamik kaplama uygulanmış ve duvarlarda kullanılan beton yoğunluğu 2 katına çıkarılarak bina enerji ihtiyaçları simüle edilmiştir.

Buna göre uygulanan pasif önlemler sonucunda binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 6127 kWh/yıl'dan 8463 kWh/yıl'a çıkmış, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyacı 34160 kWh/yıl'dan 12157 kWh/yıl değerine inmiştir. Böylece toplam enerji ihtiyacı %48 gibi önemli bir oranda azalarak 40287 kWh/yıl'dan 20620 kWh/yıl değerine düşmüştür.

Çalışmanın asıl amaçlarından birisi olan, incelenen iklim bölgesi için soğutma enerjisi ihtiyacının en aza indirilmesi konusu tek başına değerlendirildiği durumda ise bahsi geçen bütün yaklaşımlar birlikte uygulandığında soğutma enerjisi ihtiyacını % 63 oranında 11373 kWh/yıl değerine kadar düşürmenin mümkün olduğu görülmüştür. Bu değerlerin, yöntemlerin uygulanmasında kullanılan zaman çizelgelerinin optimize edilmesiyle daha aşağı çekilmesi mümkündür.

İlerde, bu çalışma kapsamına alınmayan etkenlerin de dahil edilmesi ile yeni çalışmaların oluşturulması planlanmaktadır. Özellikle çatı ve döşemenin göz önüne alınıp, elektrik tüketiminin ve iç yüklerin de modellenmesi ile bu çalışmada önerilen pasif yaklaşımların binanın toplam enerji performansındaki yerinin belirlenmesi

amaçlanmaktadır. Ek olarak, özellikle pencereler için düşünölen kaplamanın, aydınlatma analizlerinin de dahil edilmesi ile tam olarak modellenmesi ve ek aydınlatma nedeniyle oluşacak ek yüklerin de belirlenerek pencere kaynaklı soğutma enerjisi ihtiyacının tam bir analizinin yapılması düşünölmektedir. Son olarak HVAC sistemleri de modele eklenerek hangi sistemin hangi durumda daha uygun olduğunun ve kullanılacak sistemdeki ek tasarruf imkanlarının belirlenmesi ile çalışmanın sonlandırılması düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Jabri, K. S., Hago, a. W., Al-Nuaimi, a. S., & Al-Saidy, a. H.** (2005). Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1472–1479. doi:10.1016/j.cemconres.2004.08.018
- Athienitis, a. K., Liu, C., Hawes, D., Banu, D., & Feldman, D.** (1997). Investigation of the thermal performance of a passive solar test-room with wall latent heat storage. *Building and Environment*, 32(5), 405–410. doi:10.1016/S0360-1323(97)00009-7
- Baetens, R., Jelle, B. P., Thue, J. V., Tenpierik, M. J., Grynning, S., Uvsløkk, S., & Gustavsen, A.** (2010). Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, 42(2), 147–172. doi:10.1016/j.enbuild.2009.09.005
- Balaras, C. ., Droutsas, K., Argiriou, a. ., & Asimakopoulos, D. .** (2000). Potential for energy conservation in apartment buildings. *Energy and Buildings*, 31(2), 143–154. doi:10.1016/S0378-7788(99)00028-6
- Bolattürk, A.** (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*, 43(6), 1055–1064. doi:10.1016/j.buildenv.2007.02.014
- Ceylan, H., & Myers, G.** (1980). Long-time solutions to heat-conduction transients with time-dependent inputs. *Journal of Heat Transfer*, 102(February 1980), 115–120. Retrieved from <http://heattransfer.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1437133>
- Cheung, C. K., Fuller, R. J., & Luther, M. B.** (2005). Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. *Energy and Buildings*, 37(1), 37–48. doi:10.1016/j.enbuild.2004.05.002
- Ciampi, M., Leccese, F., & Tuoni, G.** (2003). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy*, 75(6), 491–502. doi:10.1016/j.solener.2003.09.010
- Eskin, N., & Türkmen, H.** (2008). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. *Energy and Buildings*, 40(5), 763–773. doi:10.1016/j.enbuild.2007.05.008
- European Commission.** (2012). *Energy Markets in The European Union in 2011*.

- Gustavsen, a., Arasteh, D., Jelle, B. P., Curcija, C., & Kohler, C.** (2008). Developing Low-conductance Window Frames: Capabilities and Limitations of Current Window Heat Transfer Design Tools -- State-of-the-Art Review. *Journal of Building Physics*, 32(2), 131–153. doi:10.1177/1744259108097672
- Ji, J., Luo, C., Sun, W., Yu, H., He, W., & Pei, G.** (2009). An improved approach for the application of Trombe wall system to building construction with selective thermo-insulation façades. *Chinese Science Bulletin*, 54(11), 1949–1956.
- Kuznik, F., & Virgone, J.** (2009). Experimental assessment of a phase change material for wall building use. *Applied Energy*, 86(10), 2038–2046. doi:10.1016/j.apenergy.2009.01.004
- Papadopoulos, a. M.** (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. doi:10.1016/j.enbuild.2004.05.006
- Papaefthimiou, S., Syrrakou, E., & Yianoulis, P.** (2006). Energy performance assessment of an electrochromic window. *Thin Solid Films*, 502(1-2), 257–264. doi:10.1016/j.tsf.2005.07.294
- Robinson, P. D., & G Hutchins, M.** (1994). Advanced glazing technology for low energy buildings in the UK. *Renewable Energy*, 5(1-4), 298–309. doi:10.1016/0960-1481(94)90387-5
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F.** (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. doi:10.1016/j.rser.2011.07.014
- Seem, J. E.** (1987). *Modeling of Heat Transfer in Buildings*. University of Wisconsin.
- Sullivan, R., & Beck, F.** (1996). Energy performance of evacuated glazings in residential buildings. *ASHRAE 1996 Summer Meeting*. Retrieved from http://btus.lbl.gov/sites/all/files/37130_0.pdf
- TS825.** (2009). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA).** (2009). *Energy Policies of IEA Countries, Turkey 2009 Review*.
- Url-1** <<http://weatherspark.com/averages/32435/Izmir-Turkey>>, alındığı tarih: 10.07.2014

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Burhan YÖRÜK

Doğum Yeri ve Tarihi: Sivas – 16.04.1983

E-Posta: byoruk@itu.edu.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü (2010)

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü