



YAPI ELEMANLARI AÇISINDAN ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra BUCUKA

Danışman

Doç. Dr. Gökhan KÜRKÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI ELEMANLARI AÇISINDAN ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMI

Büşra BUCUKA

Danışman

Doç. Dr. Gökhan KÜRKÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık 2021

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

YAPI ELEMANLARI AÇISINDAN ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMI

Büşra BUCUKA
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Gökhan KÜRKÜ

Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle ihtiyaç duyulan enerji miktarı da artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin önemli bir kısmı biyoklimatik konforu sağlamak için tüketilmektedir. Bu tez çalışmasında, yapılarda iklimsel konfor sağlanırken tüketilen enerji miktarı asgari seviyede tutularak belirlenen bölgelerde enerji etkin yapı modelleri oluşturulması amaçlanmıştır.

Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlasından rüzgâr hızı ve Türkiye Ortalama Sıcaklık Dağılımlarının Haritasından sıcaklık değerleri dikkate alınarak üç bölge belirlenmiştir. Belirlenen bölgeler için konut planı hazırlanmış, oluşturulan bu konut planının taşıyıcı sistemi dış duvarı ve çatı tipi değişken olarak kabul edilmiştir. Aynı mimari plan içinde, karma ve salt perdeli sistem olmak üzere iki taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuştur. Dış duvar atamaları tuğla ve gazbeton, seçilen modellerin çatı tipleri sıcak ve soğuk çatı olarak belirlenmiştir. Aynı mimari plan üzerinde tüm değişkenlerle oluşturulan modellerde; ekstrüde polistiren, ekspande polistiren ve taşıyıcı yapı malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıkları derece gün hesap metoduna göre hesaplanmıştır. Son olarak, BIM tabanlı Revit programı aracılığıyla çizilen 96 yapı modelinin ısıtma ve soğutma yük analizleri, katlar arasındaki farklar da gözetilerek ısıtma ve soğutma yük analizleri ile yapıların konumlarından kaynaklanan yenilenebilir enerji potansiyel analizleri hesaplanmıştır.

Sonuç olarak Seçilen üç bölgede uygulanan yalıtımsız projelerde; perdeli sistemler yerine çerçeve sistemlerin, dış duvarlarda ise tuğla yerine gazbetonun tercih edildiği

durumlarda ısıtma yükünde %20 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca görülen bu azalma, optimum yalıtım uygulamalarıyla birlikte Çanakkale şehrinde %57, Afyonkarahisar şehrinde %60 ve Van şehrinde %61 değerine ulaşmıştır.

2021, xiv + 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, sürdürülebilir yapı, yapı elemanları, optimum yapı modeli, BIM.



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGN IN TERMS OF STRUCTURAL ELEMENTS

Büşra BUCUKA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Gökhan KÜRKÜ

With the increasing population and developing technology, the amount of energy needed is also increasing. A significant part of the required energy is consumed to provide bioclimatic comfort. This thesis aims to create energy-efficient building models in the determined regions by keeping the amount of energy consumed at a minimum while giving climatic comfort to the buildings.

Wind speed from Turkey Wind Energy potential Atlas and temperature measurements from Turkey Average Temperatures Mountain map are three regions. They are designed to rebuild. The same plan has two system architecture modeling, hybrid, and curtain-only systems. It works hot and cold in exterior wall assignments and roof types in an aerated concrete attic. The models created with all possibilities on the same architectural plan; Optimum insulation thicknesses of extruded polystyrene, expanded polystyrene, and insulation materials were calculated according to the degree-day calculation method. Finally, the heating and cooling load analysis of 96 building models drawn through transitions over BIM-based Revit can be calculated with floor energy analyzes when the differences are considered from the surveillance and cooling loads and targets.

As a result, in the non-insulated projects implemented in the three selected regions, where framed systems are preferred instead of curtain wall systems, and gas concrete is

preferred instead of bricks for external walls, a 20% reduction in heating load has been observed. In addition, this decrease reached 57% in Çanakkale, 60% in Afyonkarahisar, and 61% in Van, together with optimum insulation applications.

2021, xiv + 119 pages

Keywords: Energy efficiency, sustainable building, structural elements, optimum building model, BIM.



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Gökhan KÜRKÜ, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın İrem KAPLAN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Büşra BUCUKA
Afyonkarahisar 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	7
2.1 Sürdürülebilirlik	7
2.2 Sürdürülebilir Yapı	7
2.2.1 Kaynak Tasarrufu	10
2.2.2 Maliyet Verimliliği.....	18
2.2.3 İnsan Adaptasyonu	20
2.3 Enerji Etkin Yapı Tasarımı	21
2.4 BIM	22
2.5 Bina Sertifikaları	23
3. MATERYAL ve METOT.....	27
3.1 Bölgelerin Seçimi.....	27
3.2 Yapı Malzemelerinin Temel Özellikleri ve Seçimi	28
3.3 BIM Uygulamaları	39
4. BULGULAR.....	51
4.1 Değişken Olarak Belirlenen Yapı Elemanlarının Optimum Yalıtım Kalınlık Değerleri.....	51
4.2 Seçilen Bölgeler için Modellenen Yapıların Pik Isıtma ve Soğutma Yükleri ile Yoğunluk Verileri	54
4.3 Bölgeler için Modellenen Yapıların 3. ve 6. Katları Arasındaki Pik Isıtma ve Soğutma Yükleri ile Yoğunluklarının Farkları	61
4.4 Üç Bölge İçin Modellenen Yapıların 3. Katlarına Göre Çerçeve ve Perde Soğutma ve Isıtma Yüklerinin Verileri	64

4.5 Yalıtım Malzemelerinin Birim Fiyat Karşılaştırması	76
4.6 Çatı Katına Göre Sıcak Çatının Soğutma ve Isıtma Yüğü.....	80
4.7 Seçilen Bölgeler İçin Tasarlanan Modellerin Karşılaştırılması	83
4.8 Yapıların Bulundukları Konumlar İçin Sürdürülebilir Potansiyel Enerji Analiz Verileri	94
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	104
6. KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ.....	119



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

B	Boyut
$C_{\text{yalıtım}}$	Yalıtım maliyeti ($\$/\text{m}^2$)
C_y	Yalıtım maliyetinin birim fiyatı ($\$/\text{m}^3$)
η	Yakıt sisteminin verimi
H_u	Yakıtın alt ısı değeri (J/kg , J/m^3 , J/kwh)
r	Gerçek faiz oranı
i	Faiz oranı
g	Enflasyon oranı
pwf	Şimdiki değer faktörü
N	Ömür süresi (yıl)
X_{opt}	Optimum yalıtım kalınlığı
$C_{\text{yıl}}$	Yapının yüzey alan için yıllık ısıtma maliyeti ($\$/\text{m}^2\text{-yıl}$)
$C_{\text{yakıt}}$	Yakıtın birim fiyatı ($\$/\text{m}^3\text{-}\$/\text{kwh}$)
DG	Derece-gün sayısı
E_A	Isıta için gerekli yıllık enerji miktarı ($\text{J/m}^2\text{-yıl}$)
m_f	Tüketilen yıllık yakıt miktarı
q	Birim yüzeyde oluşan yıllık ısı kaybı
k	Malzemenin ısı iletim katsayısı
$R_{\text{dış}}$	Dış yüzeyin ısı direnci ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_{duvar}	Yalıtımsız duvarın ısı direnci ($\text{m}^2\text{K/W}$)
$R_{\text{iç}}$	İç yüzeyin ısı direnci ($\text{m}^2\text{K/W}$)
$R_{\text{yalıtım}}$	Yalıtım malzemesinin ısı direnci ($\text{m}^2\text{K/W}$)
$R_{\text{duvar, toplam}}$	Duvarın toplam ısı direnci ($\text{m}^2\text{K/W}$)
U	Isıl geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Kısaltmalar

BREEAM	Buliding Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
HQE	Green Globes, Green star, Haute Qualité Environnementale
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
LEED	Leadership in Energy and Environmental Desingn
SKB	Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği
WCED	Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
YDM	Yaşam döngüsü maliyeti

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sürdürülebilir yapı amaçları (Akadiri vd. 2012).....	10
Şekil 2.2 Kaynak koruma stratejileri (Akadiri vd. 2012).....	11
Şekil 2.3 Yapı bilgi modellemesi (Baykal ve Aydın 2015).	23
Şekil 3.1 Türkiye güneş enerji potansiyel atlası (İnt.Kyn.8).....	27
Şekil 3.2 Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlasında rüzgâr hız haritası (İnt.Kyn.9).	27
Şekil 3.3 Türkiye ortalama sıcaklık dağılımlarının haritası (İnt.Kyn.10).	28
Şekil 3.4 Yalıtım malzemelerinin sınıflandırması (Papadopoulos 2005).....	32
Şekil 4.1 Çanakkale için modellenen yapıların ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.	54
Şekil 4.2 Afyonkarahisar için modellenen yapıların ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.	57
Şekil 4.3 Van için modellenen yapıların pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.	59
Şekil 4.4 Çanakkale şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile ısıtma ve soğutma yoğunluk farklarının verileri.....	61
Şekil 4.5 Afyonkarahisar şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yoğunluk farkları.	62
Şekil 4.6 Van şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk farkları.	63
Şekil 4.7 Çanakkale için modellenen çerçeve ve perdeli yapıların 3. katlarındaki soğutma ve ısıtma yükü.	65
Şekil 4.8 Afyonkarahisar için modellenen çerçeve ve perdeli yapıların 3. katlarındaki soğutma ve ısıtma yükü.	68
Şekil 4.9 Van için modellenen çerçeve ve perdeli yapıların 3. katlarının soğutma ve ısıtma yüklerinin verileri.	72
Şekil 4.10 Çanakkale için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.	76
Şekil 4.11 Afyonkarahisar için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.	78
Şekil 4.12 Afyonkarahisar için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.	79
Şekil 4.13 Üç bölge için sıcak çatı olarak modellenen yapıların çatı katına göre soğutma ve ısıtma yükü.	81
Şekil 4.14 Yalıtımsız binalar arasından perdeli ve çerçeve sistemlerin ısıtma ve soğutma yükleri.	83
Şekil 4.15 Çatı katlarındaki toplam ısıtma ve soğutma yük ortalamalarının verileri....	85

Şekil 4.16 Yapı modellerinin üçüncü katlarındaki ortalama ısıtma ve soğutma yükleri ile yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıklarının verileri.	89
Şekil 4.17 Seçilen bölgeler için duvar tipi değiştirilerek yalıtımsız tasarlanan yapıların ısıtma ve soğutma yükleri.....	93
Şekil 4.18 Seçilen bölgelerin mevsimlik ve yıllık güneş analizi.....	94
Şekil 4.19 Seçilen bölgeler için ortalama PV güneş enerji analizi.....	95
Şekil 4.20 Çanakkale şehri için yapıların bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.....	98
Şekil 4.21 Çanakkale şehri için yapıların bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.....	99
Şekil 4.22 Afyonkarahisar şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.	100
Şekil 4.23 Afyonkarahisar şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.....	101
Şekil 4.24 Van şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.	101
Şekil 4.25 Van şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.	102
Şekil 4.26 Seçilen bölgeler için rüzgar enerji verileri.	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Yeşil bina ve sürdürülebilir bina kapsamı (Pamuk ve Koruoğlu 2016).....	5
Çizelge 2.1 Tasarım parametreleri bina enerji gereksinim etkileri (Ekici ve Aksoy 2011).....	22
Çizelge 3.1 Hesaplamalarda kullanılan bölgesel ısıtma, derece-gün sayıları ve gerekli yakıt bilgileri.	39
Çizelge 3.2 Derece-gün hesaplamalarında kullanılan parametreler.	39
Çizelge 4.1 Birinci bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.	51
Çizelge 4.2 İkinci bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.	52
Çizelge 4.3 Üçüncü bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.	53
Çizelge 4.4 Çanakkale şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.	55
Çizelge 4.5 Çanakkale şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.	56
Çizelge 4.6 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.	58
Çizelge 4.7 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.	58
Çizelge 4.8 Van şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.	60
Çizelge 4.9 Van şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.	60
Çizelge 4.10 Seçilen bölgeler için tasarlanan yapıların 3. Ve 6 katları arasındaki mutlak farkları.	64
Çizelge 4.11 Çanakkale için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.	66
Çizelge 4.12 Afyonkarahisar için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.	69
Çizelge 4.13 Van için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.	73
Çizelge 4.14 Seçilen bölgeler için modellenen yapıların sıcak çatı uygulamalarında ısıtma ve soğutma yüklerindeki azalma oranı.	82
Çizelge 4.15 Yalıtımsız binalar için çerçeveli sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.	84
Çizelge 4.16 Yalıtımlı binaların çerçeveli sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda çatı katları için ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.	88
Çizelge 4.17 Yalıtımlı binaların çerçeveli sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda 3. katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.	92

Çizelge 4.18 Yalıtımlı binaların tuğla yerine gaz beton kullanılması halinde 3. katlarındaki ısıtma yük değişimi ve yalıtım kalınlığındaki değişim oranı. 92



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Soğuk çatı uygulamaları (İnt.Kyn.27).	30
Resim 3.2 Sıcak çatı uygulamaları (İnt.Kyn.27).	30
Resim 3.3 Taş yünü (İnt.Kyn.11).	33
Resim 3.4 Ekstrüde polistiren (İnt.Kyn12).	33
Resim 3.5 Ekspande Polistiren (İnt.Kyn.13).	34
Resim 3.6 Revit aracılığı ile modellenen bina projesi (Revit 2021).	40
Resim 3.7 Revit aracılığı ile karma taşıyıcı sistem olarak modellenen bina projesi (Revit 2021).	41
Resim 3.8 Revit aracılığıyla taşıyıcı sistemi perdeli olarak modellenen bina projesi (Revit 2021).	41
Resim 3.9 Revit aracılığıyla karma taşıyıcı sistem olarak modellenen bina projelerinin 3B çizimi (Revit 2021).	42
Resim 3.10 Revit aracılığıyla taşıyıcı sistemi perdeli olarak modellenen bina projelerinin 3B çizimi (Revit 2021).	42
Resim 3.11 Yapı elemanın özellikleri (Revit 2021).	43
Resim 3.12 Yapı malzemelerinin katmanları ve özellikleri (Revit 2021).	43
Resim 3.13 Yapı malzemelerinin Revit malzeme tarayıcısındaki grafik özellikleri (Revit 2021).	44
Resim 3.14 Yapı malzemelerinin Revit malzeme tarayıcısındaki termal özellikleri (Revit 2021).	44
Resim 3.15 Revit Enerji optimizasyonu (Revit 2021).	45
Resim 3.16 Yapıların konum, hava durumu ve şehir bilgileri (Revit 2021).	45
Resim 3.17 Birinci bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).	46
Resim 3.18 İkinci bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).	46
Resim 3.19 Üçüncü bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).	47
Resim 3.20 Birinci bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).	47
Resim 3.21 İkinci bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).	48
Resim 3.22 Üçüncü bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).	48
Resim 3.23 Isıtma ve soğutma yük analizi (Revit 2021).	49
Resim 3.24 Insight güneş analiz paneli (Revit 2021).	49
Resim 3.25 Güneş analizi (Revit 2021).	50
Resim 4.1 Çanakkale şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.	96
Resim 4.2 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.	97

Resim 4.3 Van şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.....	97
--	----



1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve refah seviyesi ile birlikte tüketim alışkanlıkları değişmekte, buna bağlı olarak gelişen teknolojiyle beraber bireylerin ihtiyaç duyduğu enerji kullanımında da artış görülmektedir. Birleşmiş Milletler'in 2019 yılında yaptığı nüfus incelemelerine göre yaklaşık olarak dünyamızda 8 milyar insan yaşamaktadır (Anonim 2019a). Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi tarafından yapılan küresel nüfus hesaplamalarına göre 2030 yılında insan nüfusunun 8,6 milyar, 2050 yılında ise 9,4 ile 12,7 milyar arasında olacağı beklenmektedir (Anonim 2019b).

Teknolojik gelişme sürecine bakıldığında, XVIII. yüzyılın sonunda gerçekleşen I. Sanayi Devrimi ile birlikte kullanılan buhar makinalarının yerini bugün, IV. Sanayi Devriminin getirdiği siber-fiziksel sistemler almaktadır (Ümit ve Fırat 2017). Bu ilerlemeye 2025 yılına kadar sanayisi gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkelerin ulaşacağı varsayılırsa, küresel enerji tüketiminin beş kat daha fazla olacağı ve bu artış neticesinde ortaya çıkacak enerji ihtiyacının yenilenemeyen fosil yakıtlar ile karşılanacağı düşünülmektedir (İnt.Kyn.2).

Türkiye'deki enerji kullanımında en çok ihtiyaç duyulan maddeler, birincil enerji kaynaklarından olan kömür, petrol ve doğalgazdır. 2016 yılında yapılan inceleme sonucu elde edilen verilere bakıldığında, bu kaynakların birincil enerji tüketimindeki paylarının %87,3 olduğu belirtilmektedir. Sözü edilen bu üç kaynağın toplam enerji tüketimindeki payı 2000 yılında %85 iken 2016 yılına gelindiğinde bu oranın %94'e yükseldiği görülmektedir. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte 2040 yılında fosil yakıtların payı, günümüzdeki kullanım oranı ile kıyaslandığında azalma gösterecek olsa dahi hâkim kaynak olarak kalmaya uzun yıllar devam edecektir. Bu kestirime göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %16,1 olurken, fosil yakıtların payı %83,9'a çıkacaktır. Bunun yanı sıra fosil yakıt rezervleri de hızla tükenmektedir. Dünyadaki toplam petrol rezervinin 51, doğalgaz rezervinin 53, kömür rezervinin ise sadece 114 yılı karşılamaya yeterli olacağını araştırmalar göstermektedir (Anonim 2017).

Hızla tükenen fosil yakıt rezervleri atmosfere yaydığı sera gazlarının artışına neden olmaktadır. Sera etkisi yapan karbondioksit gazının, XIX. yüzyılın başlarında küresel oranda ölçülen ortalama değeri 280 ppm altındayken, 2016 yılında bu değer 400 ppm üzerindedir (İnt.Kyn.1). Karbondioksit gazında görülen bu yüksek artışın küresel ısınmaya olan etkisi neticesinde yeryüzü gün geçtikçe ısınmaktadır. Deniz, göl ve nehirlerde başlayan buharlaşma artışı nedeniyle şiddetli yağışların ve sel felaketlerinin baş göstereceği, kutuplardaki buzulların eriyerek deniz seviyesine ulaşacağı ve birçok ülkenin sular altında kalacağı öngörülmektedir. Diğer taraftan yeryüzüne yakın yerlerde sıcaklık artarken hava kürenin üst bölgelerinde sıcaklığın düştüğü gözlemlenecek; bu durum, havanın yüksek basınç sistemini etkileyerek normalde yağış alan yerlerin yağış almamasına ve aşırı kurak hale gelmesine sebebiyet verecektir (İnt.Kyn.1).

2015 yılı ülke bazlı birincil enerji tüketim paylarına bakıldığında; %22,9 ile birinci sırada Çin, %17,3 ile ikinci sırada ABD, Türkiye ise %1’lik tüketimiyle 19. sırada yer almaktadır (Anonim 2017). Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan 2018 yılı ulusal enerji denge tablosunda; üretim miktarının 39,675 bin tep, ithal edilen enerji miktarının 115,792 bin tep, toplam nihai enerji tüketiminin ise 109,149 bin tep olduğu belirtilmektedir. Bu raporda yayımlanan veriler incelendiğinde enerji tüketiminin sektörlere göre kullanımında; %25’nin sanayi sektöründe, %24’nün çevirim sektöründe, %19’unun ulaşım sektöründe ve %15’nin inşaat sektöründe olduğu görülmektedir (Anonim 2018). Bu raporda görüldüğü üzere, ülkemizde enerji ihtiyacının yeterli düzeyde karşılanabilmesi büyük bir problem olarak önümüze çıkmaktadır. Kullanılan enerjinin neredeyse tamamına yakınının ithal olarak elde edilmesi ülkemize ciddi ekonomik kayıplar verdirilmekte, uluslararası arenada dışa bağımlı hale getirmektedir.

2012 verilerine göre inşaat sektörü dünyada 7,5 trilyon dolarla üretim payının %13,4’üne sahipken, 2020 yılında %70 büyüme göstererek payını 12,7 trilyon dolara yükselttiği görülmektedir. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda sektörün dünya üretimindeki oranının %14,6 olacağı öngörülmektedir (Candemir vd. 2012, Tekin vd. 2014). İnşaat sektörünün çevreye olan etkisine bakıldığında ise binaların inşasında kullanılmak üzere dünya üzerinde bulunan tatlı su kaynaklarının %16’sı, ağaç kaynaklarının %25’i,

malzeme kaynaklarının %30'u, enerji kaynaklarının ise %40'ı kullanılmaktadır. Ayrıca yeryüzünde görülen karbondioksit salınımının %35'i inşaat sektörü nedeniyledir (Tekin vd. 2014).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın 1948 yılında yaptığı sağlık tanımı incelendiğinde, kavramı yalnızca hastalık veya sakatlığın olmaması durumu olarak değil; fiziksel, sosyal ve ruhsal refah durumu olarak da tanımladığı görülmektedir. Ayrıca yapılan tarifte sosyo-ekonomik durumlar ile çevre ve kişilerin yaşam alanlarının, hayat tarzlarının sağlık arasındaki ilişkisi vurgulanmaktadır (Anonim 2011). 1997 yılında WHO Avrupa Bölge Ofisi, “Sağlıklı Kent Planlaması” girişimini başlatmış; bu adım ile ilk olarak, yapılar ile oluşturulan yaşam alanlarının insan hayatının dokusuna uygun tasarlanmamasından dolayı ortaya çıkan kentlerin insan sağlığını derinden etkilediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte ülkemizde kurulan Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği (SKB) ise varoluş amacını “Kent içi ve kentler arası eşitsizlikleri azaltmaya yönelik çalışmalar yapmak ve sağlıklı kentler oluşumuna destek vermek amacıyla kurulmak” olarak tanımlamaktadır. Bu bilgiler dikkate alındığında, kent planlamasının insan sağlığı açısından önemli kriterlerden biri olması gerektiği gerçeği gözler önüne serilmektedir (İnt.Kyn.4).

Özetle yapı endüstrisinde doğal kaynakların aşırı kullanımıyla birlikte, inşaat sektörünün oluşturduğu atıkların ve gaz salınımının çevreye olumsuz etkileri bulunduğu görülmektedir. Bu olumsuz etkilerin çevreye olan zararlarını engellemek amacıyla karşımıza “sürdürülebilir yapı” kavramı çıkmaktadır (Şenel 2010).

Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun yayımladığı raporda yer almaktadır. Sürdürülebilirlik, “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeden bugünün ihtiyacını karşılamak” olarak tanımlanmaktadır (Akın 2018).

İnşaat sektörünün doğada yarattığı tahribatın yanı sıra; çevresel, finansal ve sosyal anlamda sahip olduğu roller, sektörün vazgeçilmez olmasına neden olmuş ve doğayla uyumlu bir gelişim gösterme ihtiyacı yeni fikirlerin ortaya atılmasına yol açmıştır.

Sürdürülebilir yapı kavramı çatısı altındaki görüşlerin çıkış noktası ise temelde, maliyet artışını göze alarak yeniden kullanabilmektir. Bu anlayışın amacı, inşaat malzemelerinin daha az enerji sarfıyatı yapacak şekilde seçilerek, sektördeki kaynak kullanım yükünü hafifletmek ve bunun sonucunda daha az atık üretmektir (Pamuk ve Koruoğlu 2016).

Sürdürülebilir yapı konusundaki araştırmalarda, klasik tasarım ve yapımın baz aldığı ana konular maliyet, zaman ve kalitedir. Ayrıca tükenen kaynaklar ile bozulan çevrede oluşan hasarların kontrol altına alınarak azaltılması ve sağlıklı yapılarla kurulmuş çevrelerin oluşturulması da yapılan araştırmaların hedefleri arasında dahil edilmektedir (Pamuk ve Koruoğlu 2016, Kibert 1994).

İnşaat sektöründe sürdürülebilir yapı kavramı, geliştirilmeye uygun ve içerisinde değişik dalları barındıran bir husustur. Kibert (1994) yaptığı çalışmalar neticesinde, sürdürülebilir yapı ilkelerini altı ana başlıkta toplayarak kavramsal bir model ortaya koymaktadır. Bunlar; kaynak tüketiminin azaltılması, kaynakların yeniden kullanılabilir şekilde değerlendirilmesi, yenilenebilir/dönüştürülebilir kaynak kullanımının geliştirilmesi, doğal çevrenin korunması, sağlıklı bir çevre oluşturulması ve oluşturulan çevrede kalitenin sürdürülebilmesi olarak isimlendirilmektedir (Hoşkara 2007, Pamuk ve Koruoğlu 2016).

Sürdürülebilir yapı tasarımı, ilkeleriyle birlikte tasarlanmakta ancak bu ilkelerden bir veya birkaçı ön plana çıkarılmaktadır. Bunlar; enerji etkin yapı tasarımı, ekolojik yapı tasarımı, yeşil/çevre/doğa ile uyumlu yapı tasarımı ve akıllı bina tasarımıdır (Dikmen 2011)

Bugün ekolojik, yeşil, çevre dostu vb. pek çok isim ile karşımıza çıkan doğayla uyumlu yapılar; yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilen, bütüncül bir bakış açısı ve sosyal sorumluluk anlayışı ile tasarlanan, o yere özgü iklim koşullarına uygunluğu verilere bakılarak onaylanan, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanımını teşvik eden ve ekosisteme duyarlı yapılar olarak tarif edilmektedir (Berardi 2013).

İnşaatta sürdürülebilirlik konusu çoğu zaman “yeşil” kavramıyla iç içe hatta aynı olarak düşünülmesine rağmen “yeşil” terimi, sürdürülebilirlik kavramını tamamen kapsamamaktadır. Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere iki kavram arasındaki temel fark çevreyle ilgili kaygıların göz önünde bulundurulmasından kaynaklanmaktadır (Hoşkara 2007, Pamuk ve Koruoğlu 2016).

Çizelge 1.1 Yeşil bina ve sürdürülebilir bina kapsamı (Pamuk ve Koruoğlu 2016).

	Yeşil Yapı	Sürdürülebilir Yapı
Yenilenemez Enerji (Yakıt) Kaynaklarının Tüketimi	√	√
Su tüketimi	√	√
Arazi Tüketimi	√	√
Malzeme Tüketimi	√	√
Yeşil Bina Gaz Emisyonları	√	√
Diğer Atmosferik Emisyonları	√	√
Arazi Ekolojisinin Etkisi	√	√
Katı Atık/ Sıvı Atık	√	√
İç Hava Kalitesi, Aydınlatma, Akustik	√	√
Performans Bakım ve İşletimi	√	√
Şehir Bölge Planlama Konuları		√
Uzun Ömürlülük, Uygulanabilirlik, Esneklik		√
Etkinlik		√
Depremesel, Fırtına & Diğer güvenlik koşulları		√
Sosyal, Ekonomik Değerlendirmeler		√

Enerji etkin bina; tasarım aşamasında alınan önlemler sayesinde daha az enerjiye ihtiyaç duyan, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan ve sağlanan enerjiyi en verimli şekilde kullanarak minimum salınım yapan bina olarak tanımlanabilir (Dikmen 2011). Enerji etkin bina, ısıtma ihtiyacının ortaya çıktığı mevsimlerde bina kabuğundan kaybedilen ısı miktarını, soğutma ihtiyacının ortaya çıktığı mevsimlerde ise bina kabuğundan kazanılan toplam ısı miktarını en aza indirerek ısıtma ve soğutma enerji giderlerinin azaltılmasını sağlamaktadır (Akgöz 2004).

Sonuç olarak yenilenemez kaynakların tüketiminin artması ve gelecek nesillere kaynak aktarımının yetersiz kalması gibi insanlığın karşı karşıya olduğu problemler, inşaat

sektöründe de yeni planlamalara gidilmesine ve yeni stratejilerin belirlenmesine yol açmaktadır. Sürdürülebilirliği inşaat sektörüne uygulayabilme adına oluşturulan yeni stratejiler, yapıların daha proje aşamasında önemli bir yer edinmesini sağlamaktadır. Bir projenin tam manasıyla sürdürülebilir olabilmesi için planlama, yapım ve yıkım evrelerinde uygun maliyetli, erişilebilir ve çevresel bilince sahip, ekonomik ve sosyal konularla iç içe ve de uyumlu olması gerekmektedir (Kibert 1994, Pamuk ve Koroğlu 2016).



2. LİTERATÜR

2.1 Sürdürülebilirlik

27 Nisan 1987 yılında Londra’da Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan “Ortak Geleceğimiz” adlı rapor; komisyonun başkanlığını yapan dönemin Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland’a ithafen “Brundtland Raporu” olarak adlandırılmaktadır (Keeble 1988, Şen vd. 2018). Rapor XX. yüzyılın başlarında artan sanayi üretimi ve gelişen dünya ile birlikte gezegenimizi tehdit eden büyük bir sorun ile karşı karşıya olduğumuzu belirtmektedir. Bu tehdidi kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği ve sera etkisine bağlı olarak karşımıza çıkan küresel ısınma şeklinde tanımlamak mümkündür. Komisyon ortaya çıkan bu tehdidin bertaraf edilebilmesi için “sürdürülebilir kalkınma” kavramını tesis etmektedir (Keeble 1988).

Sürdürülebilir kalkınma “gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan” olarak ifade edilmektedir. (WCED 1987, Şen vd. 2018). Bu kavramın dayandığı en temel parametreler; doğal yaşam alanımız olan dünyamızın korunması ve sosyal gelişimin güvence altına alınmasıdır. Bunların sağlanması açısından sürdürülebilirlik ekonomik açıdan uygulanabilir olmalı, üretim için ihtiyaç duyulan ham maddeler verimli kullanılmalı; gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin doğal kaynaklarının istismarı önlenmeli; etki ve çalışma alanlarında doğayı koruma odaklı olmalıdır (Biswas ve Biswas 1984, Şen vd. 2018). Ayrıca sürdürülebilirlik kavramının anlam genişliği günümüze kadar gelen süreçte; sağlık, ekonomi, eğitim, biyoloji, turizm, inşaat vb. gibi çeşitli alanlarda kullanılmasına da sebebiyet vermektedir (Şen vd. 2018).

2.2 Sürdürülebilir Yapı

Hızlı nüfus artışı, yoğun tarımsal uygulamalar, yanlış arazi kullanımı, ormansızlaşma ve sanayileşmeye bağlı fosil yakıt tüketimi sera gazı artışına sebebiyet vermektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO) verilerine göre bu artış hızlı bir şekilde yükselmektedir

(İnt.Kyn.1). WHO'nun 2020 küresel iklim raporuna göre Sanayi Devrimi öncesi ile kıyaslandığında yeryüzünde yaklaşık olarak $1,2 \pm 0,1$ °C sıcaklık artışının olduğu görülmektedir (İnt.Kyn.5). Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'ne (NASA) göre sera gazı konsantrasyonlarının artmaya devam edeceği bir kestirimde ise dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının 21. yüzyılın sonunda 2 °C ile 6 °C kadar yükselebileceği tahmin edilmektedir (İnt.Kyn.6). Bu veriler göz önüne alındığında, var olan kötü gidişatın değiştirilebilmesi için duruma sebebiyet veren sektörlerin tespiti önem arz etmektedir. Ulusal Enerji Ajansı'na (IEA) göre toplam enerji tüketiminin üçte birinden, doğrudan ve dolaylı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ından yapı sektörü sorumludur (İnt.Kyn.7).

Yapının oluşumunda kullanılan doğal kaynakların miktarı, devamında gereksinim duyulan enerji ihtiyacı ve sonrasında oluşan atık miktarı ile birlikte sürdürülebilirlik kavramı inşaat sektöründe yerini almaktadır (Karaca ve Çetintaş 2015). Sürdürülebilir yapı enerji ihtiyacını optimize edebilen; inşa, kullanım ve yıkım süreçlerinde çevreye asgari seviyede zarar vererek enerji ihtiyacını minimum seviyede tutabilen ve doğal kaynakların kullanımının da optimum ölçülerde olmasını hedefleyen bir yapı olarak tanımlanmaktadır (Özçuhadar 2007). Sürdürülebilir yapı tasarımında tüm yaşam döngüsünün gereksinimleri ve işlevleri dinamik olarak dikkate alınarak, iç ve dış unsurların getirdiği değişkenlere karşı koyması beklenmektedir (Berardi 2013).

İnşaat endüstrisinin doğru hareket edebilmesi için sürdürülebilir yapı yaklaşımı bir yol haritası olarak kabul görmektedir (Akadiri vd. 2012). Bu süreçte sürdürülebilir bina uygulamaları, çeşitli yöntemler bir arada gözetilerek uygulanmaktadır. Bu yöntemlerde temel hususlar çevreye daha az zarar veren inşaat projelerinin uygulanması, atık üretiminin önlenmesi yapı malzemeleri üretilirken oluşabilecek atıkların geri dönüşüme katkı sağlayarak yeniden kullanılabilir olması şeklinde sıralanabilir (Ruggieri vd. 2009, Kabirifar vd. 2020).

Hill ve Bowen (1997)'e göre sürdürülebilir yapı ilkelerinin öncelikle yapının atık miktarını planlama aşamalarından başladığını, akabinde yapı kullanımı ve yıkımıyla da ilişkili olduğunu söylemektedirler. Onlara göre sürdürülebilir yapı; sosyal, ekonomi,

biyofiziksel ve teknik açıdan olmak üzere dört ilke ile tanımlanmaktadır. Bunlardan ilki olan ve sosyal açıdan tanımlanan ilkede amaç; yaşam kalitesini arttırmak, kültürel çeşitliliği korumak, sağlıklı ve güvenli bir ortam oluşturmaktır. İkinci ilke olan ekonomide hedef; istihdam yaratmak, finansal açıdan ekonomik olmak, tam maliyet muhasebesini benimsemek, rekabet gücünü artırmak ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini sağlamaktır. Bir diğer ilke olan biyofizikselde amaç; atık yönetimi yapmak, ihtiyatsız (su, enerji malzeme ve toprak) kaynak kullanımından ve çevre kirliliğinden kaçınmaktır. Son olarak teknik ilkesinin hedefi ise dayanıklı, fonksiyonel ve kaliteli yapının ortaya çıkmasını sağlamaktır.

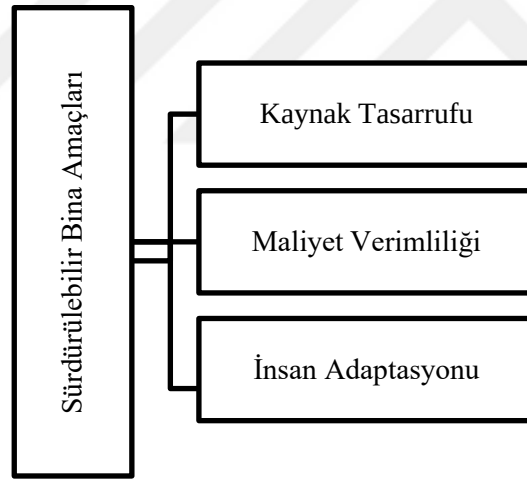
Halliday (2008) sürdürülebilir yapı ilkelerini; ekonomik olması, kaynakların etkili kullanılması, destekleyici toplulukların olması, sağlıklı bir ortam yaratılması, biyolojik çeşitliliğin artırılması ve çevre kirliliğinin en aza indirilmesi şeklinde sınırlandırmaktadır. Ekonomiklik ilkesinde, projenin kısa ve uzun vadede sürdürülebilir olması hayati bir önem taşımaktadır. Kaynakların etkili kullanımı ilkesinde, yapıların inşası sırasında gerekli olan para, enerji, su, malzeme ve arazi vb. malzemelerin orantısız bir şekilde kullanılması önlenmektedir. Destekleyici topluluklar ilkesinde proje detayları açıkça tanımlanmalıdır. Bir diğer ilkede ise toplulukların ya da paydaşların gereksinimlerinin proje kararlarına dahil edilmesi gerekmektedir. Sağlıklı bir ortam yaratmak ilkesine bakıldığında; yapıların inşası, kullanımı ve yıkımı sürecinde insanı ve çevreyi tehlikeye atmayan, zararlı maddelere maruz kalınmasını önleyen bir amaç görülmektedir. Biyolojik çeşitliliğin artırılması ilkesinde; projelerde kullanılan malzemelerin tehdit altındaki türlere zarar vermeden değerlendirilmesi, mümkün olan her yerde doğal habitatın iyileştirilmeye çalışılması ve burada zararlı kimyasalların kullanımından kaçınılması gerekmektedir. Son olarak çevre kirliliğinin en aza indirilmesi ilkesindeki amaç, proje malzemelerinin tedarik edilme yöntemleri ile yapıyı ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji ve yönetim uygulamaları çevre kirliliğine yol açmayacak şekilde düzenlemektir.

Miyatake (1996) sürdürülebilir yapı ilkelerini; kaynak tüketimini en aza indirerek kaynakların artırılması, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynak kullanılması, doğal çevrenin korunması, sağlıklı ve toksik maddelerden kaçınılması bir çevre yaratılması

olarak belirlemektedir.

Cole ve Larsson (1999) ise sürdürülebilir yapı ilkelerini; kaynak tüketimini azaltma (enerji, toprak, su ve malzeme), çevresel yüklerin (hava kaynaklı emisyonlar, katı atıklar, sıvı atıklar) ve iç mekânların iyileştirilmesi, çevresel kaliteyi artırmak olarak belirlemektedir.

İnşaat sektöründe sürdürülebilir bir yapının oluşumu çok disiplinli bir yaklaşım olmakla birlikte aynı zamanda bir dizi özelliği de içinde barındırmaktadır. Malzeme seçimi, malzemelerin üretim aşamalarında oluşacak atıkların en aza indirilmesi, kirlilik, emisyon kontrolü vb. birçok önemli husus mevcuttur. Sürdürülebilir yapı oluşumunun sağlıklı bir şekilde oluşturulabilmesi için gereken üç genel amaç Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

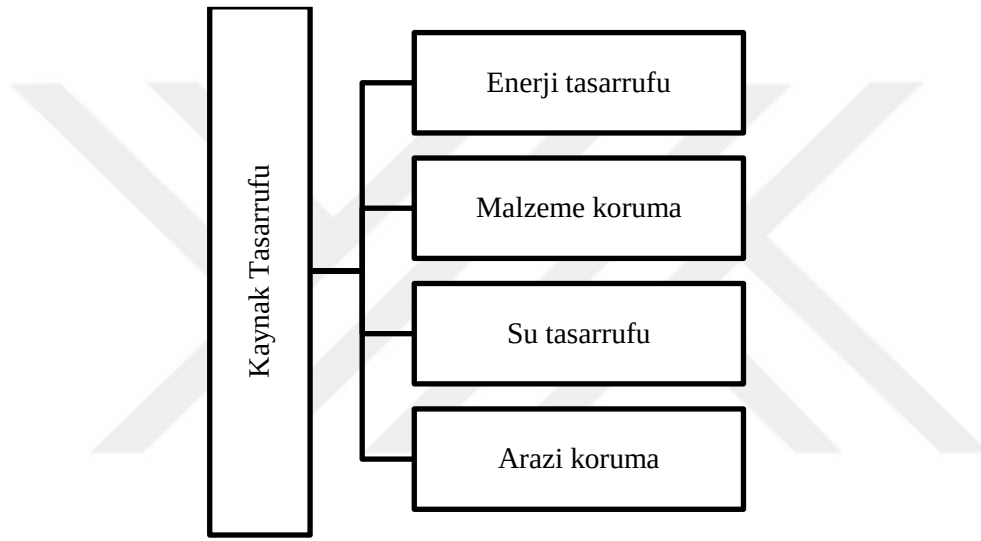


Şekil 2.1 Sürdürülebilir yapı amaçları (Akadiri vd. 2012).

2.2.1 Kaynak Tasarrufu

Sürdürülebilir bina tasarımında kullanılan kaynak tasarrufu kavramı, az şeyle çok şey elde etmek anlamında kullanılmaktadır. Bu anlayışla, mevcut yapılara maksimum fayda sağlayarak, var olan doğal kaynakların gelecek nesillerin ihtiyacını karşılama imkânından ödün verilmemelidir (Wilson vd. 1998).

Kaynak tüketiminde önemli bir paya sahip olan inşaat endüstrisi, ekolojiyi destekleme adına çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Bunlar; kaynak tüketimini azaltarak verimliliği artırmak, enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan tasarımların üretimini desteklemek, malzeme israfını en aza indirmek, yapım sürecinden başlayarak yapıların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı için fırsatlar oluşturmak olarak sıralanabilmektedir. Kaynakların verimli kullanılması için geliştirilen bu girişimler sürdürülebilir bir gelecek için hayati öneme sahip olmaktadır (Graham 2003). Kaynak tasarrufunun tasarım stratejileri ise Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Kaynak koruma stratejileri (Akadiri vd. 2012).

Enerji tüketimi önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Binalar yapım aşamasından yıkım sürecine kadar enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir (Schimschar vd. 2011). Yapılarda harcanabilecek enerji kullanım miktarlarının önceden tespit edilebilmesi disiplinler arası bir çalışma gerektirmektedir. Yapı tasarımında kanıta dayalı bir anlayışa bağlı olarak yapılan araç ve model çalışmalarının, bina performans hedeflerine ulaşabilmesi amaçlanmalıdır (D’Oca vd. 2018).

Enerji tüketimini azaltmak için malzeme seçimi ve inşaat yöntemleri önem arz etmektedir. Bu nedenle düşük enerjili binaların tasarımı, yaşam döngüsü ele alınarak yapılmaktadır. Yapı malzemelerine bağlı olarak binanın yaşam döngüsü boyunca harcadığı enerji farklılık göstermektedir. Üretim aşamalarında yapı malzemeleri arasındaki farklar göz önüne alınmakta; böylelikle geri dönüştürülebilen yapı

malzemelerinde net enerji tasarrufu elde edilmektedir. Mantolama, dış cephe ve ısı yalıtımı için malzeme seçimi büyük bir etkiye sahip olmakla birlikte, kullanılan materyallerin geri dönüşümden elde edilen net enerji karı, yapının yaşam döngüsünde bulunan enerji dengesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Takano vd. 2015). Yüksek performanslı ve düşük maliyetli malzemelerdeki gelişmeler enerji tasarrufu açısından oldukça önemli olmaktadır (Tabor vd. 2018). Bu nedenle yapı kabuğunun izolasyonu önem sırası açısından öncelikli bir konuma gelmektedir. İyi tasarlanmış bina kabuğu izolasyonları yapının kaybettiği ısı miktarını yarı yarıya azaltabilmektedir (Al-Homoud 2005).

Yapı tasarımında geri dönüşüm oranını artırmak amacıyla bütünsel bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre, malzemelerin enerji verimliliği ile birlikte geri dönüşüm süreçleri göz önünde bulundurularak tasarım yapılması gerekmektedir. Günümüzde binaların tasarım süreçleri bu tür yaklaşımlar ile tasarlanmadığından dolayı atıklarda, kanserojen maddeler içinde yer alan ve eski cam yünü ile katran mantarı gibi birçok yapı malzemesinde asbest adıyla bilinen zararlı bir madde bulunmaktadır. Bu maddenin geri dönüşüm oranlarını düşürmesiyle birlikte modern bertaraf/atık depolama alanlarına gereksinim duyulmaya başlanmaktadır. Gün geçtikçe sentetik ürünlerin artmasıyla sandviç duvar yapımında kullanılan malzemeleri ayrıştırmak ve geri dönüşümünü sağlamak da güçleşecektir. Yapının yaşam döngüsü süresince enerji tasarrufunun devamlı olabilmesi için mimari ve yapısal tasarım ile yetinmemeli, bütünsel stratejiler geliştirilmelidir. Binalarla ilgili kaynak tüketiminin yanı sıra, geri dönüşüm süreci içinde mimarlık ile mühendislik uygulamaları ve bu iş kollarının öncelikleri için geniş kapsamlı yol haritaları belirlenmelidir.

Beton binalarda proses enerji kullanımı oldukça fazladır. Bunun yanı sıra yerinde döküm işlemleri sayesinde yapı malzemelerinde maksimum %20 geri dönüşüm sağlanabilmektedir. Gelecekte yapı sökülü uygulamalarının daha kolay ve geri dönüştürülebilmesi için tasarımlar yapılması gerekmektedir (Hechler vd. 2012). Yapı sökülü işlemleri aşamasında ürün tasarımlarının çok önemli bir etkeni vardır. Sürdürülebilir binalarda ana enerji kullanımına bakıldığında, bünyesinde bulunan teknoloji odaklı birleşenler yapının daha verimli olmasını sağlar ve uzun vadede yapının

korunmasına yardımcı olur (Guy vd. 2006).

Çevre kirliliği ve karbon salınımına neden olan durumlardan biri de yüksek enerji tüketimine sebebiyet veren taşımacılıktır. Bu nedenle şehirlerde bulunan okulları, mağazaları ve diğer hizmet alanlarını belli bir alanda toplamak ya da birbirine yakın mesafelerde oluşturulmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Böylelikle bisiklet ve yürüyüş yollarının kullanılması artırılarak küresel enerji tüketimi üzerine fayda sağlamak hedeflenmektedir (Carlisle vd. 2008).

İnşaat sektörünün karbon salınımına katkısı büyüktür ve azaltmak için bu alanda geliştirilen politikalar yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle karbon salınımını düşürmek amacıyla uluslararası ve ulusal çapta stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Veri analitiği ve görselleştirme tekniklerinin entegrasyonu ile birlikte, karmaşık ve birbirine bağlı sistemlerle sürdürülebilirlik sağlanarak şehir, ulusal ve hatta küresel düzeyde değerlendirilme yapılmalı ve politikalar geliştirilmelidir (Onat ve Küçükvar 2020).

Atık yönetiminin geliştirilebilmesi için öncelikle var olan mevcut durumun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yerel yönetimlerin ve sektördeki paydaşların atık miktarı ve bunların çevresel etkilerine dair veri tutmaları gerekmektedir. İkinci ürün olarak kullanılan malzemelerden, örneğin beton için standart oluşturulmalıdır. Depolama ücretleri azaltılmalı, cezai yaptırımlar artırılmalı, geri dönüşüme katkı sağlayan kişilerin ve kurumların teşvik edilmesi maksadıyla vergiler indirilmeli, çeşitli teşvikler yapılarak uygulamalar özendirilmelidir (Maçin ve Demir 2018).

Yapının tasarım aşamasından başlanarak yıkım süresine kadar olan yaşam döngüsünün belirlenmesi, atık akış süreçleri için yönetim şemalarının oluşturulması ve optimize edilmesi gerekmektedir. Kaynak korunumunun yapının proje aşamasında açıklanması ve belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir (Aleksanin 2018).

Binanın kullanım süresi boyunca enerji verimliliğini en iyi şekilde kullanılabilmesi için tasarım aşamasından itibaren proje ekibi tarafından inşa, bakım ve montaj uygulamalarına teknolojik süreçlerin entegre edilmesi gerekmektedir. Pasif enerji

tasarımlarında doğal havalandırma, bitki örtüsü, çevre düzenlemeleri ve su kullanımı gibi çevresel etkileri optimize ederek yapıda soğutma veya ısı elde etmeye yardımcı olabilmektedir. Ayrıca geliştirilen tasarımlarla birlikte görsel konforun da artması söz konusudur. Mikro ve makro düzeyde iklim özellikleri incelenmeli, güneş-pasif ve biyo-klimatik tasarım uygulamaları yapılmalıdır. Böylece doğadan maksimum fayda sağlanarak enerji verimliliği artırılmış olacaktır (Akadiri vd. 2012).

İnşaat sektörünü sürdürülebilir bir çerçevede tutabilmek adına tasarım aşamalarında gelişmiş, dayanıklı, onarım maliyeti düşük ve daha uzun ömürlü olan malzemelerin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca onarım ve bakım faaliyetlerinin düzenlenerek optimize edilmesi hem ekonomik hem sosyal açıdan da fayda sağlamaktadır (Gardner vd. 2018).

Yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin bina dayanıklılığı üzerindeki etkileri çevresel faktörlerle ilişkili olmaktadır. Diğer yandan iklim değişikliği sonucunda ortaya çıkan çeşitli problemler yapı malzemelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin yaşanan don olayları; duvar malzemelerinin, ahşap ürünlerinin ve beton elemanlarının bozulmasına, metallerin aşınmasına sebebiyet vermektedir. Bununla birlikte güneş radyasyonunun plastikler üzerinde de olumsuz etkileri mevcuttur. Tasarım aşamasında yapının ömür süresi boyunca karşılaşacağı olumlu/olumsuz iklim şartları göz önüne alınmalıdır. Ayrıca küresel ısınma nedeniyle yaşanacak olan iklim değişiklikleri hesaba katılmalı, bunun sonucunda hazırlanan iklim senaryoları neticesinde yapı projelerinin tasarımına gidilmelidir (Lacasse vd. 2020).

Yapı malzemelerinin yerel malzemelerden seçilmesi ve geliştirilmesi, bölgesel kalkınmaya katkı sağlayacağı gibi malzemelerin inşaat alanına taşınırken oluşan enerji kayıplarının azalmasına yardımcı olacak, böylelikle karbon salınım seviyesini de düşürecektir. Bu nedenle mimarların, mühendislerin ve zanaatkârların yerel malzemeleri kullanması teşvik edilmelidir (Morel vd. 2001).

Mevcut binalara bakıldığında, günümüzdeki müdahale çalışmalarının genellikle mikro ölçekte olduğu görülmektedir. Geliştirilen çeşitli çevresel yapı değerlendirme araçları

erken tasarım aşamasında büyük fayda sağlamaktadır. Malzeme seçimlerinin çevreye etkisi ve katkısı bir arada düşünölmeli, birbirini desteklemelidir (Franzoni 2011).

Sürdürülebilir yapının temel ilkelerinden biri de su kullanımıdır. Bina tasarım aşamasında, yapıda kullanılacak su miktarı göz önüne alınmalı, su tüketimini azaltmak ve çevre düzenlemeleri için harcanacak su miktarını optimize edebilmek için tasarımlar geliştirilmelidir. Suyun mevcut kullanımını azaltmak, geliştirilen teknolojilerin yapılara entegre edilmesi ve tasarımların bu alanda geliştirilmesi ile mümkündür. Verimli su ve enerji kullanımı ile yapının iç ortamında yeterli konfor şartlarının sağlanması geliştirilen teknoloji ve tasarımlar ile mümkün olacaktır. Var olan su ve doğal kaynakların kullanımının azaltılabilmesi için yeşil ve sürdürülebilir bina politikalarının benimsenmesi gerekmektedir. Bu nedenle gelecekteki su krizini önlemek adına tatlı su kaynaklarının korunması büyük önem taşımaktadır (Sheth 2017). Evlerdeki su kullanım seviyesinin azaltılması amaçlanmalı; bu sebeple su alt yapılarına yatırımlar, kaçak kontrolü, su dağıtım kampanyaları, su tasarruf cihazlarına olan talebin artırılması, bireysel su sayaçlarının evrensel nitelikte olması gerekmektedir. Tüm bunlar yerel yönetimlerin bu alanda geliştirmiş olduğu politikalar ile mümkün olacaktır. Böylelikle bu politikalar farkındalık yaratacağı gibi büyük bir su tasarrufunun yapılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca akıllı sayaçlarla hane halkının evsel su tüketimi net bir şekilde belirlenerek bunların miktarı ve nedenleri tespit edilebilecektir. Son olarak daha doğru ve ayrıntılı verilerle su tüketim miktarlarının optimize edilmesi sağlanabilecektir (Stavenhagen vd. 2018).

Yapı tasarımı sırasında, yapı elemanlarından biri olan çatı tasarımları da yağmur suyunun toplanabilmesinde büyük önem taşımaktadır. Oluşturulan çatıların eğimli ve pürüzsüzlük oranları yağmur suyu toplama miktarları ile doğru orantılı olmaktadır. Bu nedenle eğimli ve pürüzsüz çatı tasarımlarının geliştirilerek şehirlerde kullanım alanlarının artırılması, çeşitli teşvikler ve yeniden düzenlenecek olan yönetmeliklerle mümkün kılınabilir (Farreny vd. 2011).

Geleneksel yapılar ile alternatif su ve enerji kaynaklarının kullanıldığı evler birbiriyle kıyaslandığında hem ısıtma ve soğutma hem de yaşam döngüsü maliyetinin azaldığı

görülmektedir. Bununla birlikte, ısınma için fotovoltaik panellerden elektrikle çalıştırılan hava ısı pompalarından yararlanıldığı, içme suyu olarak kullanılmayan alanlarda su tüketim ihtiyacının yağmur sularından karşılandığı, gri su kullanımı gibi enerji kaynaklarını analiz ederek oluşturulan pasif bina kullanımının ise geleneksel yapı ile kıyaslandığında yıllık CO₂ emisyonunda %95'e varan bir azalma olduğu görülmektedir. Sonuç olarak doğal su kaynakları başta olmak üzere fosil kaynakların kullanımı sınırlandırılarak doğal çevrenin bugünkü durumunu iyileştirmek mümkündür (Stec vd. 2017).

Binalarda yağmur sularının toplanabilmesi binanın formu ile doğrudan ilgilidir. Binada toplanan su miktarı; yapı tasarımında oluşturulan toplama alanlarının yüzeyine, binanın bulunduğu bölgenin iklim şartlarına, binanın şekline ve toplama alanına bağlıdır. Farklı bina formları birbiri ile karşılaştırıldığında yağmur suyu biriktirme oranlarında değişim gözlenmektedir. Bu nedenle yapıların şekli ile farklılaşan toplama alanları tasarlanmalı, bununla birlikte iklimden bağımsız olmayarak yapı tasarımı projeleri de geliştirilmelidir (Şahin ve Manioğlu 2019). İklim senaryoları yağmur sularının verimli bir şekilde değerlendirme düşüncesini akla getirmektedir. Yağmur simülasyonları için uzun vadeli zaman serileri ile kısa vadeli zaman serileri yapının ömür süresi göz önünde tutularak incelenmeli; yağmur suyu tankları, içme suyu tasarruf potansiyelleri gibi veriler göz önünde tutularak tasarım yapılmalıdır (Gerald ve Ghisi 2018).

Yapı tasarım aşamasında yağmur suyu hasadı ve su tasarrufu ile ilgili yapılan değerlendirmeler incelendiğinde, yağmur suyu toplama alanlarına izin veren bina formları, toplu konut projelerinde yaşayan insan sayısı ve kullanılan su miktarı göz önünde tutulduğunda su ihtiyacının bir kısmı yağmur suyu ile karşılanabilmektedir. Yağmur sularının toplanma alanları ve miktarı üzerinde doğrudan etkiye sahip olan yapı formu, su tasarrufunun yanı sıra enerji tasarrufu da sağlayarak sürdürülebilir ve iklime duyarlı tasarım yapmamızı sağlamaktadır (Şahin ve Manioğlu 2019).

Binalarda yağmur suları toplanarak belirli bir düzeye kadar su tasarrufu sağlanabilse de bu durum konutların yapıldığı bölgede yıllık yağış miktarı, yaşayan insanların sosyo-ekonomik seviyeleri ve kültürüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu

nedenle stoklanabilecek yağmur suyu miktarının öngörülebilmesi için bölgenin yıllık yağış miktarı, şiddetli yağışların yaşanması durumunda görülebilecek olumsuz etkileri, yağmur suyu deposunun hacmi gibi değişkenler dahil edilmeli ve önlemler alınarak daha elverişli bir sonuca ulaşılmalıdır (Şahin ve Manioğlu 2019).

Sürdürülebilir su yönetim sistemi tasarımlarının geliştirilmesi, binalarda su tasarruf kriterinin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması hususlarında devlet politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Binalarda, daha az su ihtiyacı duyan rezervuarlar ve pisuarların, su tasarruflu duş başlıklarının yapımı teşvik edilmelidir. Yeni binalarda su tasarrufu sağlayan sıhhi tesisat ve yağmur suyu arıtma sistemlerinin kullanılması, tasarımların geliştirilmesi ve geliştirilen bu uygulamalar için yönetmelikler ve teşvik stratejileri oluşturulmalıdır. Yönetmeliklerde gri su kullanımı için standart oluşturulmalıdır. Böylelikle geleneksel binaların neden olduğu çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlarda azalma sağlanacaktır (Küçükkaya vd. 2020).

Peyzaj tasarımlarının su artırımı sağlayacak düzeyde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle düşük su ihtiyacı olan bitkiler seçilerek sulama sistemlerinin verimli tasarlanması amaçlanmalıdır (Cerny vd. 2002).

Sürdürülebilir arazi politikaları, kendi kendine yetemeyen kırsal ve dağınık kentleşmeler yerine, yerel ve bölgesel faktörler dikkate alınarak birbirine daha yakın ve düzenli şehirler oluşturulmalıdır (Zitti vd. 2015). Artan nüfus ile beraber hızla büyüyen şehirlerin ihtiyaçlarını dengeleyebilmek için sürdürülebilir arazi kullanımı gereklidir. Şehirlerin ekolojik ayak izleri; üretim uygulamalarından, nakliyat mesafelerinden, enerji giderlerinden, atıkların bertaraf ve organik ürünlerinin yönetimi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörlerin iyileştirilmesi ile karbon salınımı azaltılabilir ve ekolojik çevre korunabilir. Bu nedenle sürdürülebilirlik kavramı şehir planlaması içinde önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım daha geniş çerçevede değişim yaşanmasına da ilham vermektedir. Bu tasarımlarda, sürdürülebilir şehirler ve yerel gıda sistemleri teşvik edilerek arazi kullanımında planlamaların ve politikaların geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Sürdürülebilir kentsel tasarım açısından sürdürülebilir arazi tasarımları kamu refahını artıran bir alternatif veya tamamlayıcı olarak

düşünülebilmektedir (Lovell 2010).

Sürdürülebilir çevre tasarımı; sosyal, kültürel ve doğal çevreye uyum sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yerel yönetimlerin, sürdürülebilir arazi kullanımının nerede ve nasıl olacağını tasarlama görevi gerekmektedir. Şehir içinde kalkınma amaçlı kurulacak olan gerekli alanlar önceden tanımlanmalıdır. Ekosistemin sınırları ve değerleri göz önünde tutularak kentsel nüfus stratejileri belirlenmelidir. Uzun vadeli yönetim için alt yapı sağlanmalı, tasarımcıların kentsel ve mimari tasarım standartlarını karşılaması amacıyla gereksinimleri listelenmeli, sosyal ve kültürel kaygı tespit edilmelidir. Binanın ömrü süresince mevcut alt yapı kapasitesinin kullanılması, ithal malzemeler yerine yerel malzemelerin seçilmesi ve bu malzemelerin geri dönüşüme kazandırılması teşvik edilmelidir (Boyle 2005, Lovell 2010).

Sürdürülebilir bina, sürdürülebilir sistemin sadece küçük bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Yapı sektörü ve bina sahipleri yapının sürdürülebilirliğini ve işlevlerini göz önünde bulundurmalı ve bu konuda bilinçlendirilmelidir. Sürdürülebilir bir gelecek için mühendislere ve mimarlara, sürdürülebilir tasarım parametreleri esas alınarak eğitimler verilmelidir. Binanın sürdürülebilirliği, binanın uzun vadede azaltılmış enerjisi ile değil aynı zamanda binanın inşaatı ve işletimi sırasında gerekli hizmetleri, yapının sökülmesi sırasında malzemelerin yeniden kullanımı ve bertaraf üzerindeki etkileri dikkate alınarak tasarlanmalıdır (Boyle 2005).

2.2.2 Maliyet Verimliliği

İnşaatın yapımı, kullanımı ve yıkımı süresince maliyet yönetimi önemli bir yer tutmaktadır. İnşaatın gerekli zaman ve kalitede bitirilebilmesi için maliyet yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. İnşaat başarısı ile doğrudan bağlantılı olan maliyet performansının faktörlerini optimize edebilmek için birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Sınırlı bütçeyle maksimum kar sağlama ve yapının ömrü boyunca kendisinden beklenen performansı karşılaması gerekmektedir. Maliyet yönetimini en çok etkileyen faktörlerin başında yetersiz kapsam tanımı, hatalı faaliyet maliyeti tahmini, projelerdeki zamansız değişiklikler, gerçekçi olmayan inşaat yapı çizelgeleri,

projelerde yapılan bütçe değişikliklerinin sıklığı, proje yöneticilerinin eğitim ve deneyim eksikliği gelmektedir (Faten Albtooush vd. 2020). Maliyetlerden etkin bir şekilde tasarruf yapabilmek ve kaliteyi artırabilmek için dinamik maliyet yönetimi yapılmaktadır. Geliştirilen bu yöntem ile ekonomik faydalar sağlanarak rekabet gücü artırılabilir; maliyetlerin belirli düzeye indirilmesine yardımcı olarak işletmelerin yüksek ekonomik faydalar elde etmesi sağlanabilmektedir. Bu nedenle inşaat işletmelerinde sürdürülebilirlik, kalkınma için oldukça önemli bir işleve sahiptir (Junlv 2021).

Geleneksel inşaat projelerinde, maliyet yönetimi ile hazırlanmış olan dinamik ve rafine yöntemlerinde eksiklikler mevcuttur. Yapı bilgi modellemesi (BIM) alanındaki gelişmelerin yanında, inşaat projelerinin maliyet kontrol yönetimine BIM teknolojilerinin uygulanması, maliyet yönetimini ve verimliliğini artırabilir. BIM teknolojilerinde yaşanan gelişmelerin maliyet yönetimine uyarlanması büyük avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca BIM teknolojileri inşaat sürecinin bütününe de uygulanabilmektedir (Mo 2018).

İnşaat alanında tanımlanan ana maliyet faktörü, üretim maliyeti olarak bilinmekte ve maliyet genellikle minimum seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Bu durum yapının ömür boyu gösterdiği performansın verimliliğini azaltmaktadır. Bu nedenle yüksek üretim maliyetleri ile toplam yaşam döngüsü maliyeti (YDM) düşürülmelidir. YDM'nin düzgün bir şekilde yapılabilmesi içinse hesaplama yöntemlerinin seçimi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca doğru hesaplama teknikleri kullanılmalı, veriler değerlendirilmeli ve bu verilerin atamalarının yapılması sağlanmalıdır. ISO ve Norveç standartları gibi farklı standartlardan da yararlanılabilmektedir (Schade 2007).

Yapının yaşam döngüsü maliyet tahminlerinin doğru yapılabilmesi için gerçek verilerin olması gerekmektedir. Bölgelerin verilerini manuel olarak toplamak çok zaman gerektirmekte; bu durum daha büyük bütçe ihtiyacına sebebiyet vermektedir. Bölgelerin geçmiş verilerinin günümüze kadar toplanması ve zaman içinde güncellenerek revize edilmesiyle oluşturulan YDM analizleri daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Müşteriler, binalar için yaşam döngüsü analizlerini talep ederlerse gelecekte, yapının

performans bilgilerinin kontrolü sağlanabilir, güvenilir gelişmeler ve iyileşmeler olabilir. Böylelikle yapının tasarım aşamasında değerlendirilen yaşam döngüsü analizi ile binaların kullanım süresi boyunca harcadığı enerjinin, yapı kalitesinin ve maliyet etkinliğinin artmasını sağlanacaktır (Schade 2007).

2.2.3 İnsan Adaptasyonu

Sürdürülebilir yapının temel amaçlarından biri de insan faaliyetleri için sağlıklı ve konforlu bir yaşam alanı sağlamaktır. Bunun için iç mekânın iklimlendirilmesi önemlidir. Bu temel gereksinimler yerine getirilirken, yapının kullanım süresi boyunca bakım ve onarım maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanı sıra yapısal anlamda istikrarlı olarak yangına karşı güvenilir olmalı, çevreye gereksiz yük veya risk oluşturmamalıdır (Akadiri vd. 2012). İç mekânların termal şartları ve bu şartların insan fizyolojisi ve psikolojisi üzerine etkileri günümüzde araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Doğal havalandırma ile klimaların insan üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarla, mikroklima şartlarının insan üzerindeki etkileri ve adaptasyonları tespit edilmeye çalışılmaktadır (Wu vd. 2019)

Projelerin yapının bulunduğu çevre göz önünde bulundurularak oluşturulması, insan yaşamı için gereken olumlu çevresel şartların artırılmasına fayda sağlamakla birlikte, mevcut binaların enerji kullanımını da azaltabilmektedir. Termal uyumlu tasarım stratejileri ile gelecekteki enerji verimliliği standartlarının çok önemli bir ilkesi olarak benimsenmesi gerektiği bilinmektedir. Gayrimenkul yatırımları enerji tasarruflu bir sisteme doğru kaymakla birlikte gelecekte; yenilenebilir enerji temelli, iklim değişikliğine sebebiyet vermeyen, geleceğe dönük sıfır enerji ihtiyacı olan ve karbon salınımı yapmayan yapıların olacağı ön görülmektedir (Attia 2020).

İnsanların termal konfor şartlarını optimize ederek yaşam alanlarını şekillendirmekte ve bu alanların bulundukları çevreyle uyum içerisinde olmalarını sağlamaktadır. Aşırı soğuk iklimlerde bina sakinlerinin ve binaların termal adaptasyonları önem arz etmektedir. Geleneksel yapıların tarih boyu gelişim süreçlerine bakıldığında bu önem doğrultusunda geliştiği görülmektedir. Örneğin Himalaya bölgesinde bulunan

geleneksel yapıların, kış aylarında termal konfor şartlarını sağladığı ve geleneksel halk evlerinin termal ortama iyi adapte olduğu gözlenmektedir. Yerel iklime ve insan tabiatına uygun olarak gelişen bu yapıların, pasif bina tasarımı yönünden de uygulanabilir olduğu düşünülmektedir (Rijal 2021).

2.3 Enerji Etkin Yapı Tasarımı

Son yıllarda enerji verimliliğini artırmak ve tüketimini azaltmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda, bulunduğu çevre koşullarına uyum sağlayan yapılarla maksimum fayda sağlayacak tasarımlar geliştirilmeye çalışılmaktadır (Omer 2008).

Yapılan araştırmalarla verimlilik ve sürdürülebilirlik amaçlanmakta; yapı sektörü yönetimi kapsamlı bir çerçevede oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bir yapının dayanıklılığı, sürdürülebilirlik kavramını karşılayacak şekilde kaliteli ve konfor işlevselliğini karşılayabilme becerisi olarak ifade edilebilmektedir. Yapının kullanım süresi boyunca, sosyo-ekonomik kriterlere uygun, enerji tasarruf sağlayabilen bir bina için alınacak önlemler ayrıntılı olarak tasarlanmaktadır (Danish vd. 2019).

Sürdürülebilir yapı tasarım ilkelerinin bir veya birkaçının ön plana çıkmasıyla oluşturulan yapı tasarımlardan biri de enerji etkin yapı tasarımıdır (Dikmen 2011). Enerji etkin yapı tasarımı kavramını; yapının tasarım aşamasında karşılaşılan günlük dış sıcaklığı, güneş radyasyonu, rüzgâr yönü ve hızı gibi değişken çevresel parametreler ile iklim şartları göz önünde bulundurarak enerjinin etkin ve verimli bir biçimde kullanılmasını sağlayan tasarım olarak ifade etmek mümkündür. Binaların enerji tüketimi; ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan multidisipliner yaklaşımlar araştırılarak gerçekleştirilmektedir. Kavramsal tasarım aşamasında yapılar üzerinde enerji etkin yapı stratejileri geliştirmek mümkündür (Pacheco vd. 2012). Bir yapının enerji gereksinimini belirleyen parametreler Çizelge 2.1’de görüldüğü gibidir. Tasarım parametreleri binaların enerji gereksinimlerini de etkilemektedir.

Enerji etkin yapı, doğa dostu bir yapı olarak düşünülmelidir. Bu yapı tasarımında, binaların ısıtma ve soğutma yükleri düşürülerek ihtiyaç duyulan enerji miktarının

azaltılması hedeflenmektedir. Bu çalışmalar yapı ömrü göz önüne alınarak değerlendirilip projelendirme aşamasında tasarlanmaktadır. Tasarım aşamasında planlama yapılması maliyeti düşürmektedir (Pacheco vd. 2012).

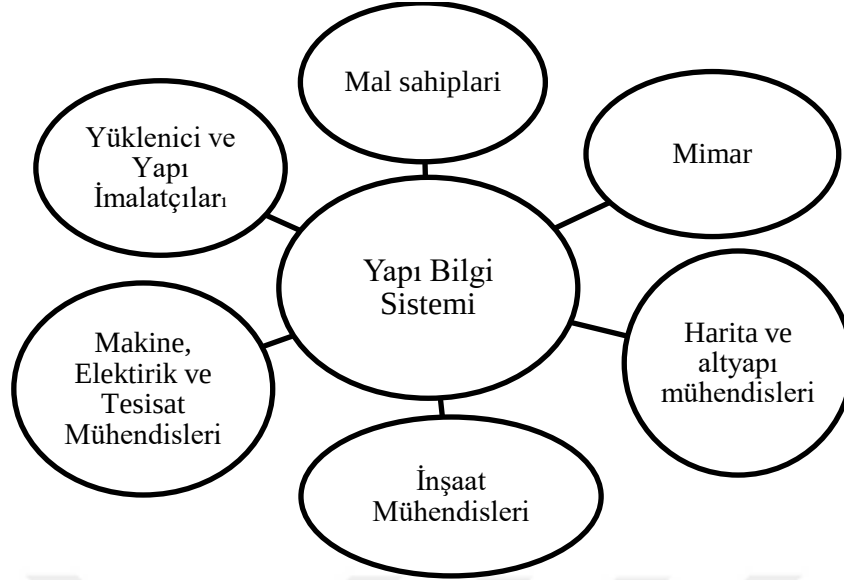
Çizelge 2.1 Tasarım parametreleri bina enerji gereksinim etkileri (Ekici ve Aksoy 2011).

Fiziksel Çevre Parametreleri	Yapay Tasarım Parametreleri
Dış sıcaklık (°C)	Yapı form faktörü
Güneş radyasyonu (W/m ²)	Şeffaf yüzeyler
Rüzgâr yönü ve hızı (m/s)	Oryantasyon
	Yapı malzemelerinin termal ve fiziksel özellikleri
	Binalar arası mesafe

2.4 BIM

Yapıların hammadde kullanımı ve enerji ihtiyaçları için standartlar düzenlenmiş olsa da gerçekte binaların öngörülen gereklilikleri yerine getiremediği gözlenmektedir. Bu da tasarlanan ve teslim edilen yapı arasında enerji performans boşluğu oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu durumu asgari seviyede tutabilmek için BIM geliştirilmiştir. BIM'in açılımı, Building Information Modeling'tir. Ülkemizde Bina Bilgi Modellemesi olarak da adlandırılmaktadır. BIM'in temel amaçlarından biri tasarım ve inşaat sırasında farklı disiplinlerin bir arada çalışmasını sağlamaktır. Yapı bilgi modellemesi, binanın tüm özelliklerinin dijital ortamda bir bütün olarak incelenip hesaplanmasına olanak veren bir bilgi kaynağıdır (Xu vd. 2021).

BIM yazılımı olan Revit programı, yapıyı oluşturan tüm bilgilerin bir arada olduğu sayısal veri tabanı ile çalışmaktadır. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi yapıyı oluşturan verilerde yapılan herhangi bir değişiklik, veri tabanında üretilen tüm dokümanlara yansımaktadır. Bu sayede projecilerin, uygulayıcıların, yüklenicilerin ve yapı sahiplerinin kullanımına açık bir bilgi deposunun oluşmasını sağlamaktadır (Baykal ve Aydın 2015).



Şekil 2.3 Yapı bilgi modellemesi (Baykal ve Aydın 2015).

2.5 Bina Sertifikaları

Çevreye zararı doğrudan ve dolaylı olarak bilinen yapı sektöründe, sürdürülebilir yapı ve yeşil yapı gibi yeni yapı yaklaşımları zorunlu bir ihtiyaç olmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen standartlarla yapılar, doğru bir şekilde tanımlanarak sınıflandırılmaktadır. Türk Dil Kurumu bu standardı, “belli bir tipe göre yapılmış veya ayrılmış ölçün, ölçünlü, tek biçim” olarak tanımlamaktadır. Bunun yanı sıra Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) Good Standardization Practices (GSP) adlı yayınında standardı “ortak ve tekrarlanan ürünler, hizmetler ve ilgili süreçler için tanınmış bir kuruluş tarafından onaylanmış belge” olarak ifade etmektedir (İnt.Kyn17).

Yapı standartları ile binanın kriterleri değerlendirilebilmektedir. Değerlendirilen yapıların sertifikalandırılmasıyla fikir birliğine varıldığı ve uluslararası bir dizi sınır değer kabul edildiği bilinmektedir. Bu standartlar; Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi) (BREEAM), Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (Yapılı Çevre Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi) (CASBEE), Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Alman Sürdürülebilir Bina Derneği) (DGNB), Green Globes (Yeşil dünya), Green star (yeşil yıldız), Haute Qualité Environnementale (yüksek çevre kalitesi) (HQE) ve Leadership in Energy and

Environmental Desingn (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik) (LEED) olarak sıralanmaktadır.

BREEAM alt yapı ve binalar için dünyada kabul gören sürdürülebilir değerlendirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Birleşik Krallık menşeli olan BREEAM 1990 yılında kurulmuştur. BREEAM ile derecelendirilen yapılarda; yaşayan ve çalışanların refah seviyesinin yükseldiği, yapıların cazip emlak yatırımları haline gelmesinin amaçlandığı ve doğal kaynakların korunmasını hedefleyen sürdürülebilir yaşam alanlarının ortaya çıktığı görülmektedir (İnt.Kyn.18).

CASBEE standardı, yapıların ve bulunduğu ortamın çevresel performansını değerlendirmek ve derecelendirmek için geliştirilen yöntemlerden biridir. Japonya menşeli olan CASBEE 2001 yılında kurulmuştur. CASBEE tasarımcıları bu standardı “insanların yaşam kalitesini artırmak, yaşam döngüsü içerisindeki kaynak kullanımını düşürmek ve yapıyı çevre ile ilişkili çevresel yükleri bir konuttan bütün şehre kadar azaltmak” için tasarlandığını ifade etmektedir (İnt.Kyn19).

Alman sürdürülebilir bina konseyinin kısa adı olan DGNB’nin kuruluş yılı 2007’dir. DGNB amacını “sorumlu ve sürdürülebilir eylem için temel olarak uygun bir kalite anlayışı oluşturmak ve bina emlak piyasasındaki değişimi teşvik etmek” olarak ifade etmektedir (İnt.Kyn.20).

Green Globes yeşil bina tasarımı, işletimi ve yöntemi için çevrim içi bir değerlendirme protokolü, derecelendirme sistemi ve kılavuzunun yapılmasını belirtir. Bu da bir yapının çevresel özelliklerinin pazarda tanınmasını sağlamaktadır. Kanada ve ABD’de de kullanılmakta; ABD menşeli olan Green Globes standardının ise 2004 yılında kurulduğu görülmektedir (İnt.Kyn.21).

Green Star uluslararası kabul gören derecelendirme ve sertifikasyon sistemi olarak ifade edilmektedir. Avusturalya menşeli olan derecelendirilme sistemi 2003 yılında kurulmuştur. Derecelendirme sisteminde “bina tasarımı ve inşaatı, işletimi, donanımları ve toplulukları için bir sertifika” oluşturulmaktadır (İnt.Kyn.22).

HQE Fransa menşeli olup 1995 yılında kurulmuştur. Hedeflerini “binalar ve yerel planlamaya uygun sürdürülebilir kalkınma konularından oluşturmak ve sürdürülebilir bir yaşam sağlanmasına yardımcı olmak” olarak ifade etmektedir (İnt.Kyn.23).

LEED ABD menşeli olup 1998 yılında kurulmuştur. LEED yapıları; bütünleştirici süreç, konum ve ulaşım, sürdürülebilir sistemler, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynaklar, iç mekânın çevre kalitesi, yenilik ve bölgesel öncelik kriterlerine göre değerlendirmektedir. LEED sertifikası dünyada en çok kullanılan sertifikalardan biri olup sürdürülebilirliğin, çevresel ve sosyal boyutlarını dikkate alarak su kullanımının ve karbondioksit emisyonlarının düşürülmesini öncelikli kılmaktadır (İnt.Kyn.24).

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’na dayandırılarak çıkarılan Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği’nde amaç “Dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir.” olarak ifade edilmektedir (İnt.Kyn.3).

Küresel ısınmanın bir sonucu olarak karşımıza çıkan iklim değişikliği sorununa karşın 1992 yılında kabul edilen ve 21 Mart 1994’te yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi (BMİDÇS) 190’dan fazla ülkenin taraf olması ile çok büyük bir katılıma ulaşmaktadır. BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı 2015 yılında Paris’te düzenlenmiştir. Bu konferansta Paris antlaşması kabul edilmiştir. Ülkemiz Paris Antlaşması’nı 2016 yılında 175 ülke temsilcisi ile birlikte imzalamıştır. Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 7 Ekim 2021 gününde “Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun” kabul edilmiş ve 31621 sayılı Resmî Gazete de

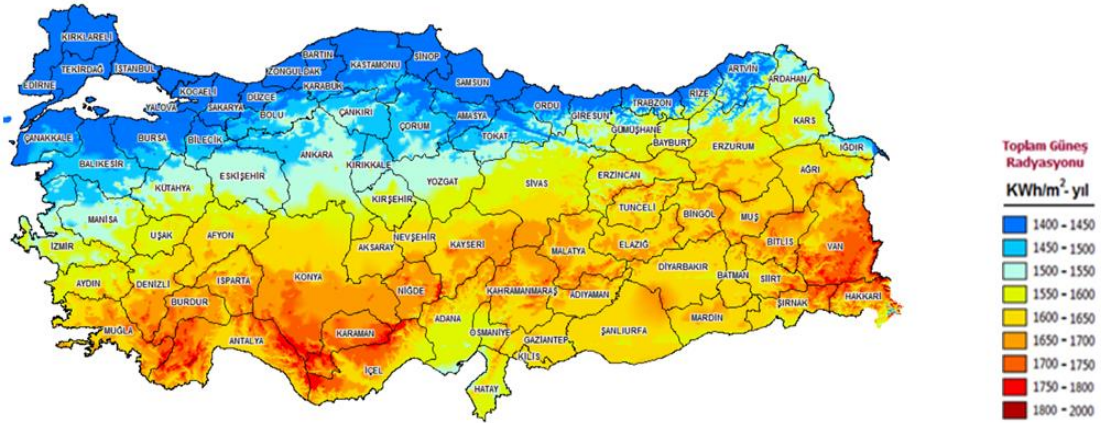
yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Paris antlaşmasının hedeflerinin başında küresel ısınma ile artan hava sıcaklığının sanayi devrimi öncesi çağa göre 2°C'nin altında tutmak ve artışın evrensel gayret ile 1,5°C'nin altında tutulması olarak ifade eder (İnt.Kyn.25, İnt.Kyn.26).



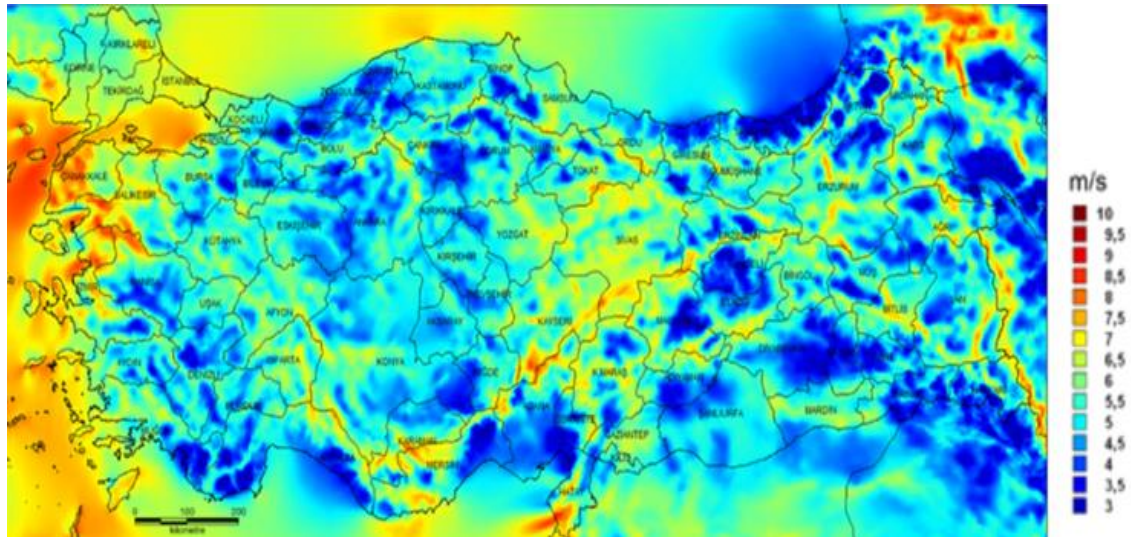
3. MATERYAL ve METOT

3.1 Bölgelerin Seçimi

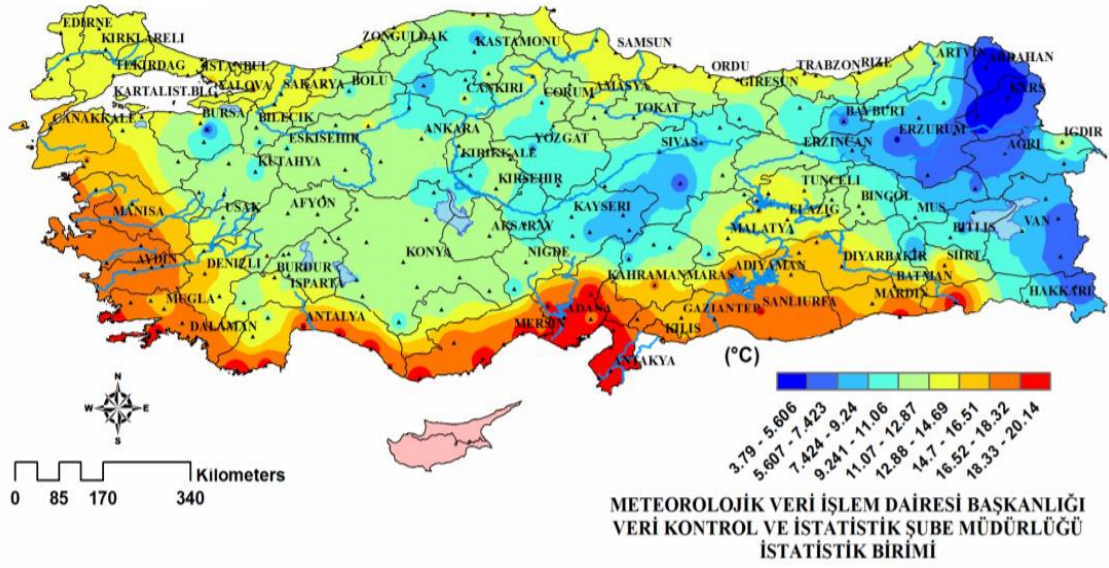
Yapı modellemeleri yapılırken öncelikle yapının bulunduğu yerin iklim özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu nedenle çalışmamızda iklim özellikleri göz önüne alınarak Türkiye üç bölgeye ayrılmıştır. Bu ayrım; şekil 3.1’de gösterilen Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlasından toplam güneş radyasyonu, şekil 3.2’de gösterilen Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlasından rüzgâr hızı ve şekil 3.3’de gösterilen Türkiye Ortalama Sıcaklık Dağılımlarının Haritasından sıcaklık değerleri dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.1 Türkiye güneş enerji potansiyel atlası (İnt.Kyn.8).



Şekil 3.2 Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlasında rüzgâr hızı haritası (İnt.Kyn.9).



Şekil 3.3 Türkiye ortalama sıcaklık dağılımlarının haritası (İnt.Kyn.10).

1. Bölge: Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlasında 1400-1550 KWh/m²-yıl, Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası Rüzgâr Hız Haritasında 10-8 m/s ve Türkiye Ortalama Sıcaklık Dağılımları Haritasında 20,14-14,7 °C aralığında Çanakkale şehri bulunmaktadır.

2. Bölge: Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlasında 1550-1700 KWh/m²-yıl, Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası Rüzgâr Hız Haritasında 7,5-5,5 m/s ve Türkiye Ortalama Sıcaklık Dağılımları Haritasında 14,69-9,241°C aralığında Afyonkarahisar şehri bulunmaktadır.

3 Bölge: Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlasında 1700-2000 KWh/m²-yıl, Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası Rüzgâr Hız Haritasında 5-3 m/s ve Türkiye Ortalama Sıcaklık Dağılımlarında 9,24-3,79 °C aralığında Van şehri bulunmaktadır.

3.2 Yapı Malzemelerinin Temel Özellikleri ve Seçimi

Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte, enerji ihtiyacına bağlı olarak yapılan kullanım miktarı önemli bir sorun haline gelmektedir. Fosil yakıtların ana yan ürünlerinden biri olan karbondioksit birleşikleri, küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. İnşaat sektörü yıllık sera gazı emisyonlarının üçte birlik payını

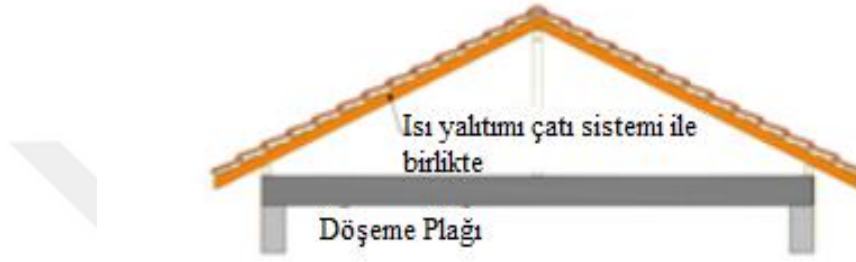
oluşturmakta; küresel su kaynaklarının dörtte birlik kısmını da tüketmektedir. Bina inşası, hammadde işlemesi ve malzeme imalatı sera gazı emisyonlarının büyük bir payını oluşturmaktadır. Yapılarda ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçların giderilmesinde kullanılan enerjinin türü ve miktarı, küresel ısınmanın yaşanmasında önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle yapılarda daha fazla enerji tasarrufu sağlamak adına yalıtım malzemelerinin kullanılmalı ve sürdürülebilir enerji stratejilerinin geliştirilerek sürdürülebilir yapı tasarımları oluşturulmalıdır (Pászory 2021).

Türkiye’de toplu konut projelerinde betonarme yapı tercihi; çelik, yığma ve ahşap yapılara kıyasla çok yüksektir. Bu neden ile bu çalışmada yapı modellerinde betonarme tercih edilmiştir. Betonarme yapılarda taşıyıcı sistemleri; salt çerçeve sistem, salt perdeli sistem, karma sistem, kabuklar ve kablolu sistemler olarak adlandırmak mümkündür. Ülkemizde tercih edilen taşıyıcı sistemlerden olan karma, yani perde-çerçeve sistem ile salt perdeli sistem tercih edilmiştir. Karma sistemde taşıyıcı yapı elemanlarını; perde, kolon, kiriş ve döşeme olarak adlandırmak mümkündür. Salt perdeli sistemde taşıyıcı sistem, sadece perde ve döşemeler ile oluşmaktadır (Polat 2005). Seçilen yapı modellerinde betonarme yapı elemanı olan kolon, perde, kiriş ve döşemelerin ısı iletkenlik dirençleri TS 825’ten alınmıştır.

Modellerde değişken olarak sıcak çatı ve soğuk çatı seçilmiştir. Resim 3.1’de ve Resim 3.2’de görüldüğü üzere sıcak ve soğuk çatı olarak adlandırılan çatı modellerindeki temel fark yalıtım malzemelerinin uygulama alanları olmaktadır. Sıcak çatı adından da anlaşılacağı üzere içerisinde ısıyı hapsedebilen ve bu sayede çatı katında iklimsel konforun sağlanmasında yardımcı olan bir çatı modelidir; Isı yalıtım malzemeleri çatı eğimini oluşturan yapı birleşimleri ile birlikte uygulamaktadır. Bu sayede sıcak çatı uygulamaları ile çatı katları, yaşam alanlarına dâhil edilmektedir. Soğuk çatı uygulamalarında yalıtım malzemeleri tavan döşemesi üzerine uygulanmaktadır. Bu sebepten dolayı soğuk çatı uygulamaları yaşam alanı olarak kullanılamamaktadır (İnt.Kyn.27).



Resim 3.1 Soğuk çatı uygulamaları (İnt.Kyn.27).



Resim 3.2 Sıcak çatı uygulamaları (İnt.Kyn.27).

Modellerde bir diğer değişken olarak tuğla duvarlar ile gaz beton seçilmiştir. Tuğla, suyla hamur haline getirilen kil ve türevlerinin kalıplarla pişirilmesi sonucunda elde edilmektedir. İçerisinde kilin yanı sıra demir birleşikleri, kireç, kum, alçı ve organik maddeler de bulunmaktadır (Güner ve Yüksel 2011). Uygulama alanlarında bölme duvar ile dış duvarı tuğla olan yapının kullanım sıklığı göz önüne alınarak değişkenlerden biri olarak tercih edilmiştir. Gaz beton ytong olarak da adlandırılmaktadır. Gazbeton, ısı yalıtımını sağlayan hafif yapıli beton, kuvarsit, çimento, kireç ve suyun harmanlanmasıyla oluşturulan, diğer yandan ses yalıtımını da sağlayan yapı malzemesidir. İçerisindeki maddelerin boşluk miktarı %80'e varmaktadır. Bu da ytongu ısı yalıtımında elverişli bir madde olarak karşımıza çıkarmaktadır. Dış duvarlarda ve iç bölme duvarlarda kullanıma uygundur. Hafifliği sebebi ile deprem esnasında yapılarıdaki taşıyıcılara daha az yük binmesini sağlamaktadır. Yangına dayanımı A1 sınıfındadır ve 1200 °C'ye kadar ateşe dayanıklı bir malzemedir. İşlemesi kolay olan gaz beton yüzeyinin pürüzlülük miktarı, kullanılan sıva miktarını azaltmaktadır. Bina içinde bulunan tesisat için kanal yapmak muadillerine göre daha kolaydır (İnt.Kyn.14). Bu sebep dolayısıyla diğer değişkenlerden biri de gaz beton seçilmiştir. Seçilen tüm malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri TS 825'ten alınmaktadır.

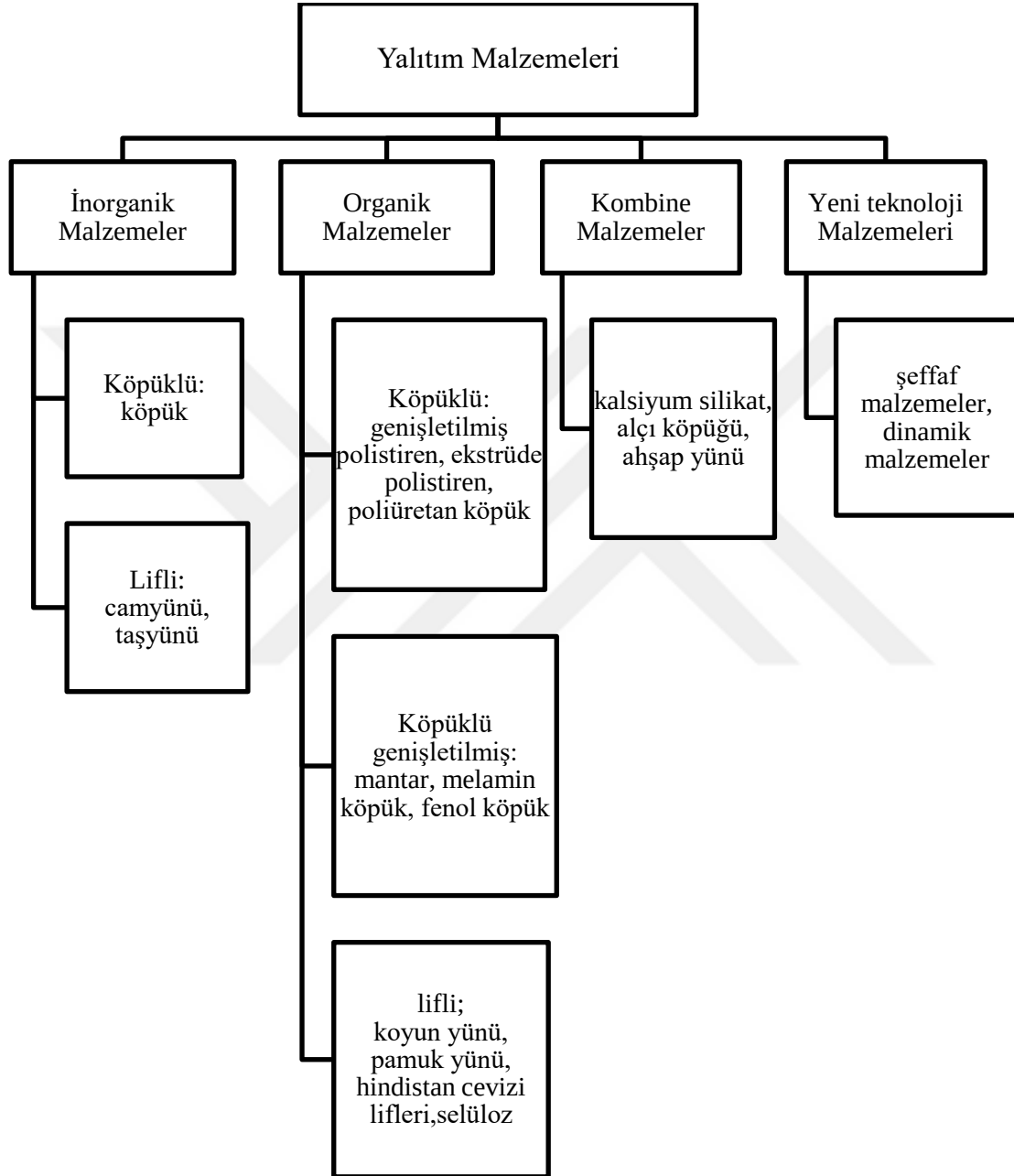
Isı yalıtımı, ısı akış hızını azaltmayı sağlayan ve yüksek ısı direnç özelliğine sahip bir veya birden çok malzemenin bir arada kullanılarak kompozit bir malzeme özelliği taşımasını sağlayan yapı malzemeleridir. Binalarda yapılan yalıtım uygulamaları, basit ve yüksek enerji verimliliği sağlayan bir teknik olarak kabul görmektedir. Ayrıca uygulanan bu yalıtımlar maliyet tasarrufu da sağlamaktadır. Kısaca bina yalıtımı, enerji dengesine pozitif yönde bir katkıda bulunmaktadır. Bu katkı, yalıtımın uygulandığı yapıda sağladığı enerji tasarrufu ve yalıtım malzemelerinin üretim aşamasında kullanılan enerji miktarından fazla olmasıyla mümkün olmaktadır. Yalıtım malzemeleri yangından koruma özelliğinin yanı sıra kişisel konfor ve ses kontrolü gibi başka avantajlarda sağlamaktadır (Aditya vd. 2017, Pásztor 2021).

Yalıtım malzemeleri genel olarak ısı yalıtımı için kullanılmaktadır. Ayrıca yapıların ihtiyaç duyduğu ses yalıtımı, yangın yalıtımı ve su yalıtımı gibi diğer alanlarda da yalıtımlar sağlanmaktadır. Yapıların gereksinim duyduğu çeşitli durumlara göre de yalıtım malzemeleri kendi içinde kategorize edilmektedir. Bunlar en temelde işlevine, biçimine ve birleşimine göre ayrılmaktadır. Bilindiği üzere belirli bir alandaki sıcaklığın daha düşük sıcaklığın olduğu bir alana geçmesi enerji, iletim, ışıınım veya taşıma ile mümkün olur. Isı değişim özelliği dikkate alınarak kütle yalıtımı ve yansıtıcı yalıtım olarak sınıflandırılan yalıtım malzemelerinin temel amacı, ısı transferini engelleme veya minimum seviyede tutma olsa da işlevleri farklılık göstermektedir (Aditya vd. 2017, Pásztor 2021).

Kütle yalıtımları, iletim yolu ve yansıtıcı yalıtımlar ise ışıınım yoluyla ısı transferini manipüle etmektedir. Formuna yani biçimine göre yalıtım malzemeleri; yerinde püskürtme; selüloz atık kâğıt, sert levha yalıtım malzemeleri; genişletilmiş polistiren (kapalı hücre köpük) ve ekstrüdepolistiren (kapalı hücre köpük), yerinde köpüklü; poliüretan, gevşek dolgu şişirilmiş veya dökülmüş; taş yünü (açık hücre yapısı) olarak sıralamak mümkündür (Aditya vd. 2017).

Yalıtım malzemelerini oluşturan maddelerin birleşimi, fiziksel ve kimyasal özellikleri yalıtım malzemesinin doğrudan yalıtım özelliklerini belirlemektedir. Bina kabuğundaki ısı transferini geciktirmek için yüksek termal dirençli yapı malzemeleri geliştirilmiştir.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi birleşimine göre sınıflandırılan yalıtım malzemeleri; organik, inorganik, kombine ve yeni teknoloji malzeme olarak dört başlığa ayrılmaktadır (Papadopoulos 2005).



Şekil 3.4 Yalıtım malzemelerinin sınıflandırması (Papadopoulos 2005).

Taş yünü inorganik maddelerden oluşturulmaktadır. İnorganik maddelerin 1350 °C ile 1400 °C arasında eritilmesiyle elde edilen taş yünü, elyaf yapıya sahip bir yalıtım malzemesidir. Bu yalıtım malzemesi levha, boru, dökme ve şilte halinde üretilmektedir.



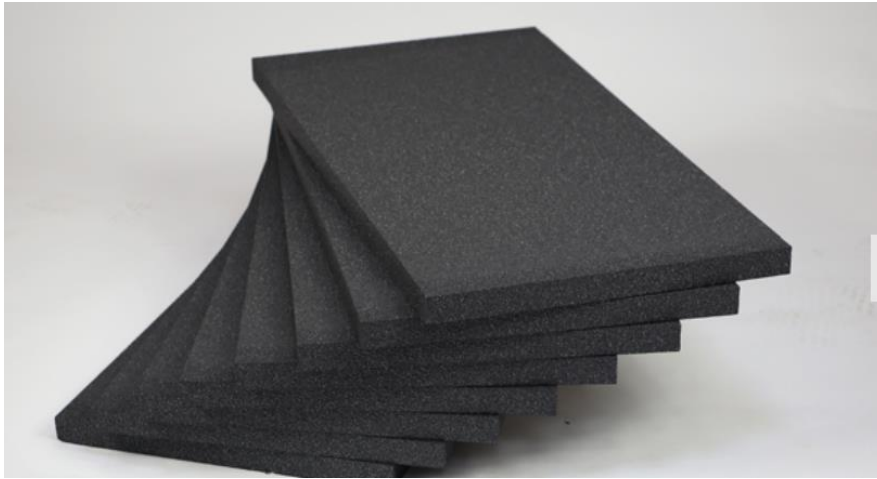
Resim 3.3 Taş yünü (İnt.Kyn.11).

Taş yününün faydaları; ısı yalıtımı haricinde ses yalıtımını temin etmek, yangına karşı dayanımı sağlamak ve akustik beklentileri karşılamaktır. Isı iletkenlik değeri $0,035 \leq \lambda \leq 0,040$ W/mK’da olan taş yününün su buharı difüzyon direnci 1’dir. Erime sıcaklığı 1000°C’den fazla olan taş yününün kullanım sıcaklığı -50°C ile +650°C arasında değişkenlik göstermektedir. Kullanım ömrüne bağlı olarak bozulma ve çürüme olmamaktadır. Olumsuz iklim şartları ile karşılaşılrsa dahi korozyon, paslanma ve küflenme yapmamaktadır. TS EN 13501-1’e göre taş yünü, “yanmaz malzemeler” grubunda, A1 sınıfında yer almaktadır (İnt.Kyn.11). Bu özellikleri göz önüne alınarak yalıtım malzemesi değişiklerinden biri taş yünü seçilmiştir. Seçilen taş yününün ısı transfer özelliği göz önünde tutularak bölgelerin, sıcaklık ve derece gün değerlerine göre kalınlıkları hesaplanmıştır.



Resim 3.4 Ekstrüde polistiren (İnt.Kyn12).

Ekstrüde polistiren kısaca XPS olarak adlandırılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemi ve polistiren ham maddesiyle yapılan bu malzeme, ısı yalıtım amacı ile üretilmektedir. İhtiyaç duyulan form ve biçimde üretilebilen XPS' nin 10°C'de ısı iletkenlik değeri $0,030 \leq \lambda \leq 0,035 \text{ W/mK}$ olmaktadır. Basma kuvvetindeki ihtiyaca göre değişiklik sağlanabilen XPS yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon değeri 90-100 olarak bildirilmektedir. -50°C ile +75°C arasında kullanım sıcaklığı değişen XPS'nin basma dayanımı yüksek olmaktadır. TS EN 13501-1 standartlarına göreyse E sınıfındadır. Güneş ışınlarına karşı %100 kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olmakta ve bünyesine su almamaktadır. Kapiler özellik taşımamaktadır. Baca, metan gurubu, benzin ve eter gurubu kimyasallarına karşı hassastır (İnt.Kyn.12). Bu özellikleri göz önüne alınarak yalıtım malzemesi değışkelerinden biri XPS seçilmektedir. Seçilen XPS'nin ısı transfer özelliğı göz önünde tutularak bölgelerin sıcaklık ve derece gün değerlerine göre kalınlıkları hesaplanmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.5 Ekspande Polistiren (İnt.Kyn.13).

Ekspande Polistiren EPS olarak da adlandırılmaktadır. Polistiren ham maddesinin su buharı ile teması sonucunda, ham madde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişirmesi ve birbirine yapıştırması sonucu meydana gelmektedir. İstenilen boyut ve teknik özelliklerde üretilebilen EPS, ısı yalıtımı için kullanılmaktadır. Isı iletkenlik değeri $0,032 \leq \lambda \leq 0,040 \text{ W/mK}$ olarak bildirilmekte, su buharı difüzyon direnci 20-100 olarak verilmektedir. Kullanım sıcaklığı -50 °C ile +75 °C arasında olması ve kapiler özelliğı taşımaması sebebiyle ısı yalıtımlarında tercih edilen EPS TS EN 13501-

1' göre E sınıfında yer almaktadır (İnt.Kyn.13). Bu özellikleri göz önüne alınarak yalıtım malzemesi değişkelerinden biri EPS olarak belirlenmiştir. Seçilen EPS ısı transfer özelliği dikkate alınarak bölgelerin sıcaklık ve derece gün değerlerine göre kalınlıkları hesaplanmıştır (Resim 3.5).

2008 yılında resmî gazetede yayımlanan Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliğinde, yapılarda oluşan ısı kayıplarının minimum düzeyde tutulması ve böylelikle enerji açısından tasarruf sağlaması amaçlanmaktadır. Ayrıca hedefler arasında uygulamaya ait usul ve esasları düzenlemek de bulunmaktadır. Bu yönetmelikte, binalarda ısı yalıtımının sağlaması amacıyla TS 825 standardında olan hesap metodu kullanılmaktadır (Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği, 2008). TS 825 standardıyla ulaşılmak istenen, yapılarda uygulanacak ısı yalıtım kuralları neticesinde Türkiye'deki yapıların tükettiği enerji miktarını azaltarak tasarruf elde etmektir. Yapının ihtiyaç duyduğu ısıtma enerji düzeyine etki eden etmenler; bina özellikleri, iç ısı kazanç kaynakları, ısıtma sistemlerinin özellikleri, güneş enerjisi, iç ve dış iklim şartlarıdır.(TS 2008). TS 825'de belirtilen derece-gün metoduyla yapı modellerinin bulundukları konuma göre optimum yalıtım kalınlıkları tüm değişkenler için hesaplanmaktadır. Bu hesap yönteminde belirli bir sıcaklık referans alınarak yapılmaktadır (Kaynaklı ve Yamankaradeniz 2007).

Isı kaybı ile enerji gereksinimi hesaplamalarında, derece-gün değerinden faydalanılarak dış duvarların birim yüzey alanında oluşan ısı kaybı aşağıdaki Denklem (3.1) yardımı ile bulunmaktadır.

$$q = 86400 * DG * U \quad (3.1)$$

Burada q olarak adlandırılan ifade, birim yüzeyde oluşan yıllık ısı kaybını tabir etmektedir. U değeri toplam ısı geçiş katsayısını, DG olarak adlandırılan ifade ise derece-gün sayısını vermektedir. Dış duvar için toplam ısı geçiş katsayısı değeri olan U, aşağıdaki (3.2) Denklem ile bulunmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{dış} + R_{duvar} + R_{yalıtım}} \quad (3.2)$$

Toplam ısı geçiş katsayısındaki denklemde bulunan $R_{iç}$ ifadesi, iç ortamın ısı taşınım direncini verirken $R_{dış}$ ifadesi, dış ortam ısı direncini vermektedir.

Denklemde (3.3) görüldüğü üzere R_{duvar} , duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan iletim direncini; $R_{yalıtım}$ ise yalıtım malzemesinin ısı iletim direncini vermektedir. Ayrıca $R_{duvar, toplam}$ değeri de aşağıdaki denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır.

$$R_{duvar} = R_{içsiva} + R_{yatay\ delikli\ tuğla} + R_{dışsiva} \quad (3.3)$$

$$R_{duvar, toplam} = R_{iç} + R_{duvar} + R_{dış} \quad (3.4)$$

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemin (3.5) payında yer alan x değeri, yalıtım malzemesinin kalınlığını ve yalıtım malzemesinin k değerinde ısı iletkenlik katsayısını vermektedir. Binayı ısıtmak için gereken yıllık enerji miktarı E_A olarak ifade edilmekte ve Denklemde (3.6) gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Aşağıdaki denklemde yer alan η ifadesi ise ısıtma düzeneginin verimini vermektedir.

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{\eta \cdot (R_{duvar, toplam} + R_{yalıtım})} \quad (3.6)$$

Yapıyı ısıtmak için gerekli olan enerji dozu aşağıda verilen Denklem (3.7) ile hesaplanmaktadır.

$$m_f = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{duvar, toplam} + R_{yalıtım}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde belirtilen m_f değeri, yapının ısıtılması amacıyla kullanılan yakıtın birim fiyatına çarpımı sonucunda yıllık yakıt maliyetini vermektedir. Yakıtın birim fiyatı $C_{yakıt}$ olarak ifade edilmektedir. Yıllık yakıt maliyeti ise Denklemde (3.8) $C_{yıl}$ olarak ifade edilmektedir. Denklemde var olan H_u değeri, yapıyı ısıtmak için seçilen enerji çeşidinin alt ısı değeri olarak ifade edilmektedir.

$$C_{yıl} = \frac{86400 * DG * C_{yakıt}}{(R_{duvar, toplam} + R_{yalıtım}) * H_u * \eta} \quad (3.8)$$

Optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanırken ömür maliyet analiz metodu kullanılmaktadır. Bu metotta, öncelikle gerçek faiz oranı bulunmakta ve gerçek faiz oranı r ifadesi ile gösterilmektedir. Denklemde (3.9) görüldüğü üzere i faiz oranını, g enflasyon oranını vermektedir. Faiz oranı enflasyon oranından büyük ise Denklem (3.9) uygulanmakta; eğer faiz oranı enflasyon oranından küçük ise Denklem (3.10) kullanılmakta ve elde edilen gerçek faiz oranı ile şimdiki değer faktörü hesaplanmaktadır. Şimdiki değer faktörü pwf olarak ifade edilmekte ve Denklem (3.11) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde yer alan N değeri yıl bazında zamanı ifade etmekte ve bu çalışmada süre 10 yıl olarak belirlenmektedir.

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (3.9)$$

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (3.10)$$

$$pwf = \frac{(1+r)^N - 1}{(1+R)^N * r} \quad (3.11)$$

Faiz oranı ile enflasyon oranının eşit olduğu durumlarda, şimdiki değer faktörünü bulmak için kullanılan Denklem (3.12) aşağıda yer almaktadır.

$$pwf = \frac{1}{1+i} \quad (3.12)$$

Yalıtım maliyeti $C_{yalıtım}$ olarak ifade edilmekte ve aşağıda yer alan Denklem (3.13) ile hesaplanmaktadır. Denklemde (3.13) görüldüğü üzere yalıtım birim fiyatı olan C_y , yalıtım kalınlığı olan x değeri ile çarpılarak bulunmektedir.

$$C_{yalıtım} = C_y * X \quad (3.13)$$

Bunun yanı sıra optimum yalıtım kalınlığını bulma amacıyla aşağıdaki (3.14) denklem uygulanmaktadır. Yapı kabuğunu oluşturan elemanların optimum yalıtım kalınlığı, yapının toplam ısıtma maliyetini en aza indirmek için öngörülen yalıtım kalınlığı olarak da ifade edilebilmektedir. Denklemde yer alan H_u ısıtma değerini, C_y değeri ise yapıyı ısıtmak için gereken yakıt fiyatını belirtmektedir.

$$X_{opt} = 293,94 * \left(\frac{DG * C_{yakıt} * pwf * k}{H_u * C_y * \eta} \right)^{\frac{1}{2}} - k * R_{duvar, toplam} \quad (3.14)$$

Çizelge 3.1 ve 3.2 de yer alan bilgiler doğrultusunda yapıların optimum yalıtım kalınları hesaplanmıştır. Yapıların dış duvarları için dış yüzeylerine çimento esaslı dış sıva ve iç yüzeylerine kireç esaslı iç sıva uygulaması yapıldığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 3.1’de bulunan derece gün sayıları Meteoroloji Genel Müdürlüğünden; doğalgaz kalori değeri, doğalgaz verimi ve yakıt fiyatı dağıtım şirketlerinin verilerinden alınmıştır. Çizelge 3.2’de yer alan yalıtım malzemelerinin optimum kalınlık hesabında kullanılan şimdiki değer faktörü, enflasyon ve faiz oranı sabitlenerek 9,675 olarak kabul edilmektedir. Bir malzemenin yalıtım malzemesi olarak adlandırılabilmesi için maksimum ısı iletkenlik katsayı 0,04 W/mk değerinde olmalıdır. Bu sebeple yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları 0,04 W/mk olarak

alınmıştır. Bunun yanı sıra yalıtım malzemelerinin ömür süreleri 10 yıl olarak alınmaktadır.

Çizelge 3.1 Hesaplamalarda kullanılan bölgesel ısıtma, derece-gün sayıları ve gerekli yakıt bilgileri.

Bölge adı		Derece – gün (DG)	Kalori değeri (Hu)(J/m ³)	Verim (η) (%)	Yakıt fiyatı (C _{yakıt}) (\$/m ³)
Birinci bölge	Çanakkale	1289	40708850	0,93	0,26736
İkinci bölge	Afyonkarahisar	1884	38841894	0,93	0,26973
Üçüncü bölge	Van	2479	38075856	0,93	0,27223

Çizelge 3.2 Derece-gün hesaplamalarında kullanılan parametreler.

Yalıtım malzemesi (k) (w/mk)	Şimdiki değer faktörü(PWF)	Ömür süresi (N) (yıl)
0,04	9,675	10

3.3 BIM Uygulamaları

Ulusal Yapı Bilgi Modelleme (BIM) Standart Komitesi'nin Bina Bilgi Modellemesi (BIM), bir tesisin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsilidir. BIM, “yaşam döngüsü boyunca doğru kararların alınabilmesi açısından güvenilir bir temel oluşturan önemli bir bilgi kaynağı” şeklinde tanımlanmaktadır (İnt.Kyn.16). İnşaat sektöründe bir gereklilik haline gelen BIM’de geleneksel 2B çizimler yerine 3B yapı tasarımları kullanılmaktadır. Bu tasarımlarda girilen verilerle uygulamanın sağladığı fayda artmakta; bu sayede yapı inşası sırasında ve sonrasında oluşabilecek olumsuzluklar ve sonuçlar görülebilmektedir. BIM kullanımında girilen verileri “n”, toplam verileri de nB olarak adlandırmak mümkündür. Burada n olarak ifade edilenler; boyut, maliyet, inşaa aşaması, çevresel etkiler vb. olarak sıralanabilir (Cerde ve Marin 2010).

Bina bilgi modellemesini, yapıya entegre edilen bütün bilgilerin oluşturulduğu bir veri tabanı olarak adlandırmak doğru olacaktır. Bu modelleme, performans analizlerinin daha kolay ve hızlı sonuçlanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca; yapının optimum

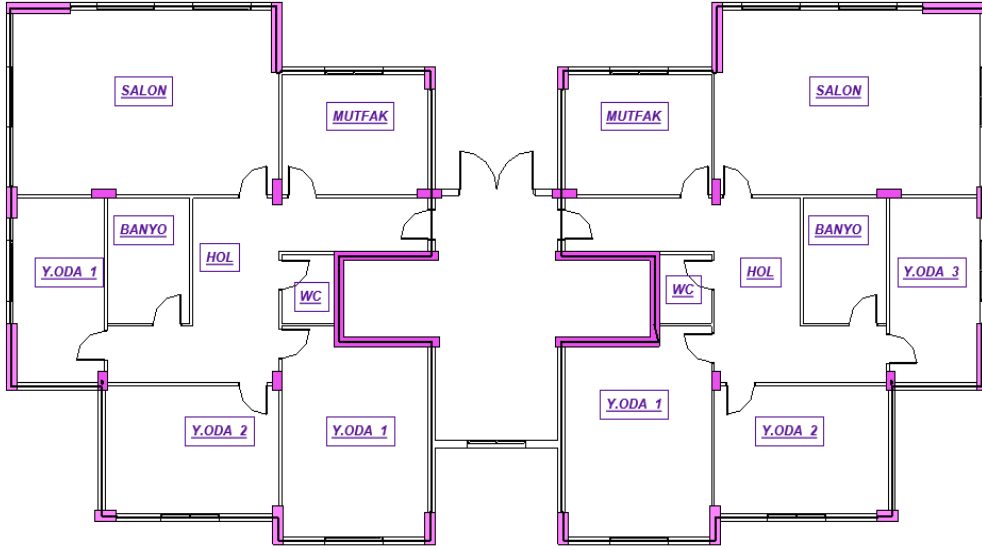
enerji kullanmasına olanak sağlamak, bina kabuğunu analiz etmek, gün ışığı analizi yapmak, yapıdaki su kullanımını azaltmaya yardımcı olmak, enerji modellemesi yapmak, ihtiyaç duyulan enerjiyi azaltmak, yenilenebilir enerji potansiyellerini analiz etmek, malzeme ihtiyacını azaltmak ve geri dönüştürülebilir malzeme seçimi ve yönetimini sağlamak gibi önemli yararlar da sağlamaktadır (Azhar vd. 2009).

Bu tez çalışmasında Resim 3.6’da görüldüğü gibi bir yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model 6 katlı olup her katta 2 daire bulunmaktadır. Dairelerin kat yüksekliği 3m olarak belirlenmiştir. üç oda, salon, mutfak ve genel banyodan oluşan yapı toplam 175m²’dir. Oluşturulan bu yapıda, bina kabuğu ve taşıyıcı sistem özellikleri belirlenerek bir mimari plan çizilmiştir. Yapılan bu projede, pencerelerin kapı ve döşeme özellikleri sabit tutulmuş ve mimari projeleri herhangi bir değişiklik yapılmadan çizilmiştir.

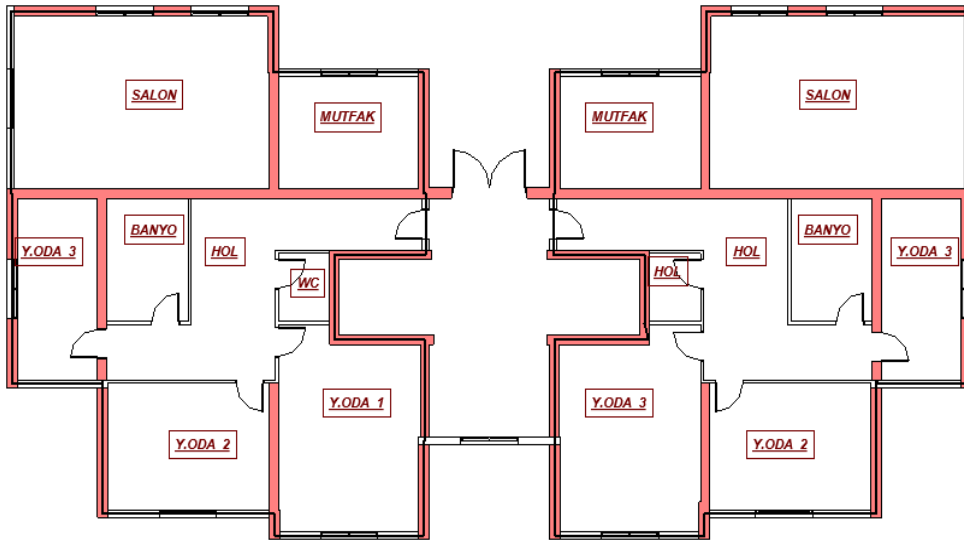


Resim 3.6 Revit aracılığı ile modellenen bina projesi (Revit 2021).

Resim 3.7’de ve Resim 3.8’de görüldüğü üzere, ilk değişken olarak yapıların taşıyıcı sistemleri seçilmiştir. Resim 3.7’de taşıyıcı sistemi karma (perde-çerçeve) sistem, Resim 3.8’de taşıyıcı sistemi salt perdeli sistem seçilerek modeller oluşturulmuştur. Mimari projelerde bir değişiklik yapılmaksızın tasarlanan bu sistemlerle yapılan projelere, yapı kabuğunu oluşturan elemanların malzeme özellikleri göz önüne alınarak gerekli atamalar program aracılığı ile yapılmıştır.



Resim 3.7 Revit aracılığı ile karma taşıyıcı sistem olarak modellenen bina projesi (Revit 2021).



Resim 3.8 Revit aracılığıyla taşıyıcı sistemi perdeli olarak modellenen bina projesi (Revit 2021).

İkinci değişken olarak dış duvar alınmış; bu değişkenler ülkemizde sıkça kullanılan gaz beton ile tuğla duvardan seçilmiştir. Resim 3.9’da görüldüğü üzere, karma taşıyıcı sistemde dış duvarlar için kullanılacak olan duvar ataması tuğla olarak yapılmıştır. Resim 3.10’da ise aynı çizimin salt perdeli sistem üzerine yapılmış hali bulunmaktadır.



Resim 3.9 Revit aracılığıyla karma taşıyıcı sistem olarak modellenen bina projelerinin 3B izimi (Revit 2021).



Resim 3.10 Revit aracılığıyla taşıyıcı sistemi perdeli olarak modellenen bina projelerinin 3B izimi (Revit 2021).

Üçüncü değişken sıcak çatı ve soğuk çatı olarak seçilmiş, malzeme atamalarının ve modellerinin tüm termal özellikleri Revit yardımı ile oluşturulmuştur. Bu atama, mimari projede belirtilen yapı elemanın özellikleri değiştirilerek sağlanmıştır. Bu değişime seçili elemanda Edit Type (düzenleme türü) komutu ile açılan Type Properties (tip modeli) ile ulaşılmaktadır. Resim 3.11’de gösterilen Structure (yapı) butonuyla edit assembly (derlemeyi düzenle) açılarak, oluşturulan ve seçilen yapı elemanının katmanları düzenlenmiştir. Resim 3.12’de ise oluşturulan duvar katmanlarının özellikleri ve kalınlıkları gibi genel özellikler yer almaktadır.

Type Properties

Family: System Family: Basic Wall
Type: dış duva

Load... Duplicate... Rename...

Type Parameters

Parameter	Value
Construction	
Structure	Edit...
Wrapping at Inserts	Do not wrap
Wrapping at Ends	None
Width	240.0
Function	Exterior
Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Black
Materials and Finishes	
Structural Material	Brick, Common
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	2.4372 W/(m²·K)
Thermal Resistance (R)	0.4103 (m²·K)/W
Thermal mass	29.30 kJ/K
Absorptance	0.100000
Roughness	1

What do these properties do?

<< Preview OK Cancel Apply

Resim 3.11 Yapı elemanın özellikleri (Revit 2021).

Edit Assembly

Family: Basic Wall
Type: dış duva
Total thickness: 240.0
Resistance (R): 0.4103 (m²·K)/W
Thermal Mass: 29.30 kJ/K

Sample Height: 6000.0

Layers

EXTERIOR SIDE					
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material
1	Finish 1 [4]	cement plast	30.0	☒	
2	Core Boundary Layers Above		0.0		
3	Structure [1]	Brick, Comm	190.0	☐	☒
4	Core Boundary Layers Below		0.0		
5	Finish 2 [5]	lime plaster	20.0	☒	

INTERIOR SIDE

Insert Delete Up Down

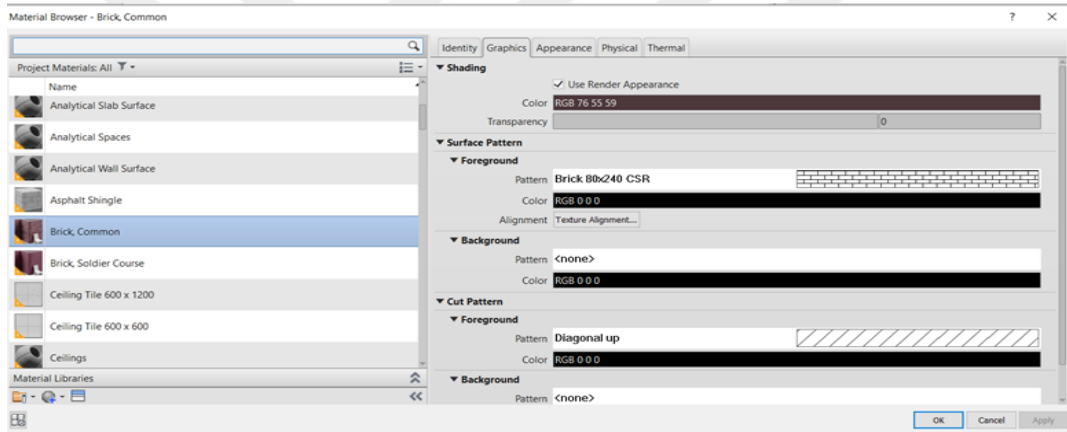
Default Wrapping
At Inserts: Do not wrap
At Ends: None

Modify Vertical Structure (Section Preview only)
Modify Merge Regions Sweeps
Assign Layers Split Region Reveals

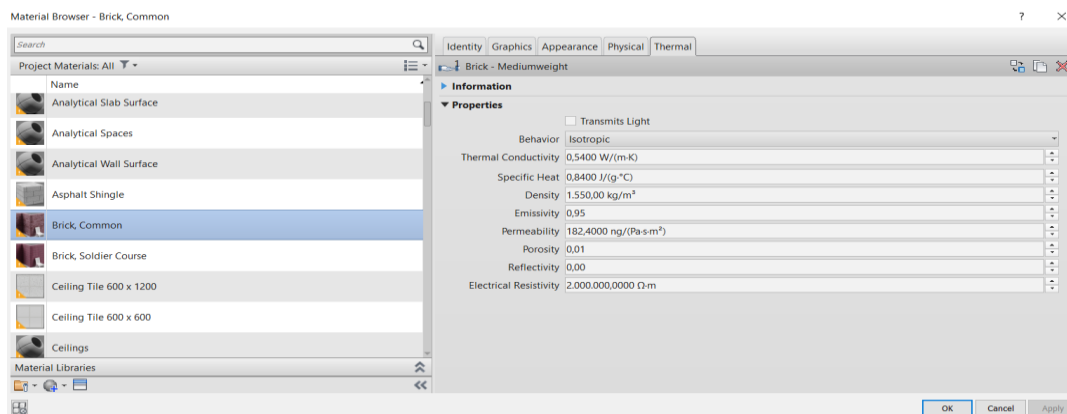
<< Preview OK Cancel Help

Resim 3.12 Yapı malzemelerinin katmanları ve özellikleri (Revit 2021).

Edit assembly ile yapı elemanlarının katmanlarını düzenleyebilmekte, bu alanda yeni bir katman oluşturabilmekte ve yapı elemanını oluşturan malzemelerin özelliklerini değiştirebilmekteyiz. Ayrıca malzemenin üzerine tıkladığımızda açılan Material Browser (malzeme tarayıcı) bölümüyle de düzenleme yapılabilir. Resim 3.13’de görüldüğü üzere malzeme seçilebilmekte, seçilen malzemenin identity (kimlik) ile malzemenin kimliği oluşturulabilmekte, graphics (grafik) ile malzemenin grafik özellikleri tercih edilebilmekte, appearance (dış görünüş) ile dış görünümü düzenlenebilmekte, physical (fiziksel) ile fiziksel özellikleri seçilebilmektedir. Ayrıca Resim 3.14’de thermal (termal) butonuyla da termal özelliklerinde değişiklik yapılabilir. Revitin bu özelliği, yapı elemanları üzerinde değişkenler belirleyebilmemize ve bu doğrultuda modellemeler yapmamıza olanak sağlamaktadır.



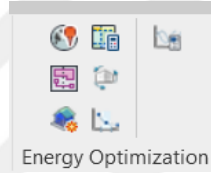
Resim 3.13 Yapı malzemelerinin Revit malzeme tarayıcısındaki grafik özellikleri (Revit 2021).



Resim 3.14 Yapı malzemelerinin Revit malzeme tarayıcısındaki termal özellikleri (Revit 2021).

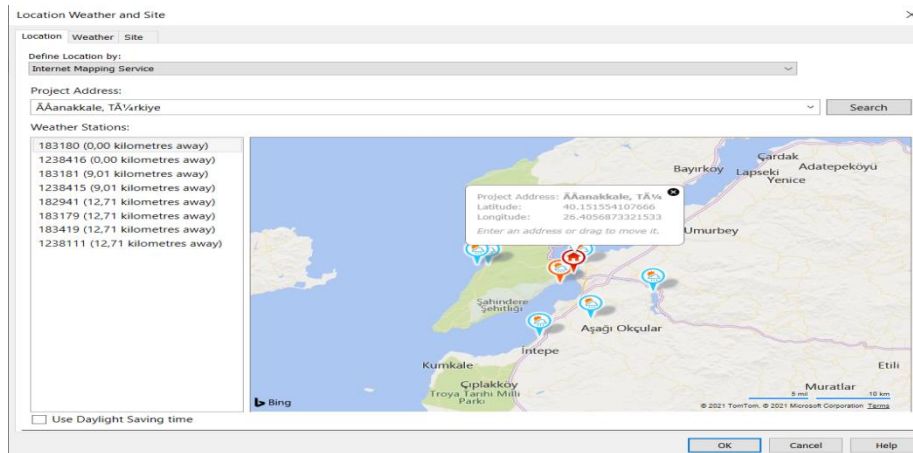
Taşıcı sistem, çatı tipi ve dış duvar için kullanılan yapı elemanları çizildikten sonra bu binalar için yalıtımsız, xps, eps ve taş yünü yalıtım malzemeleri seçilerek modeller oluşturulmuştur. Bu yapı modellerinde, seçilen üç şehirde kullanılan derece-gün hesap metoduyla optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiş ve ısıtma ile soğutma yükleri analiz edilmiştir.

Analiz yapılmadan önce modellerin belirlenen konum bilgileri girilmiştir. Bu konum, Resim 3.15’de görüldüğü üzere Revit komutlarının bulunduğu şerit menüsünden, analyze (analiz) komutunu tıklayarak açtığımız alanda yer alan ve energy optimization (enerji optimizasyonu) panelinde bulunan location (yer) komutu ile belirlenmiştir.



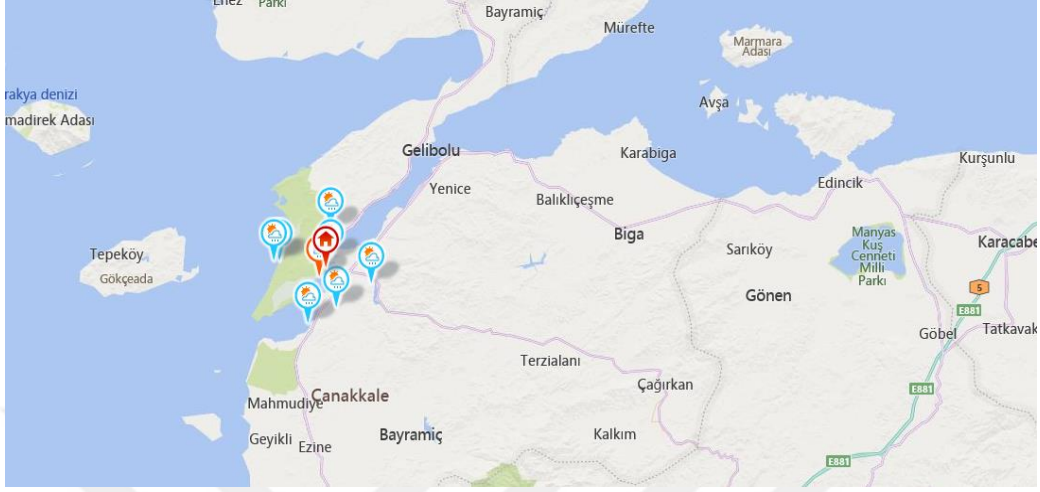
Resim 3.15 Revit Enerji optimizasyonu (Revit 2021).

Resim 3.16’da görüldüğü üzere Location komutu ile açılan ve Location Weather and Site (hava durumu ve yer) panelinde yer alan location penceresi ile projenin konumu seçilmiştir. Yine Resim 3.16’de Location Weather and Site panelinde yer alan Weather komutu ile yapının olduğu konumda bulunan hava sıcaklıkları girilmiştir. Bu bilgiler manuel olarak girilebileceği gibi aynı zamanda konuma en yakın meteoroloji istasyonundan da ulaşılabilir.



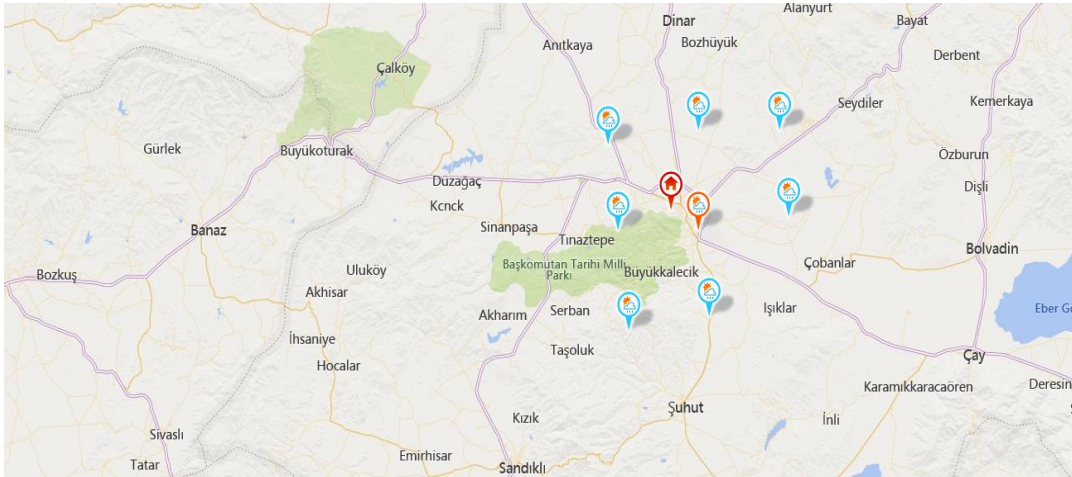
Resim 3.16 Yapıların konum, hava durumu ve şehir bilgileri (Revit 2021).

Resim 3.17’de birinci bölge olarak seçilmiş olan Çanakkale şehri için modellenen yapıların konumu görülmektedir



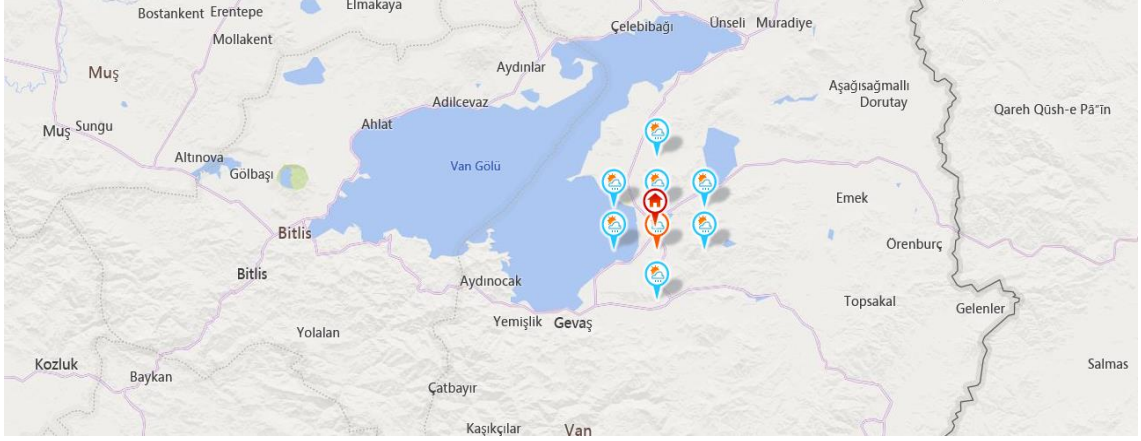
Resim 3.17 Birinci bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).

Resim 3.18’de ikinci bölge olarak seçilmiş olan Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların konumu görülmektedir.



Resim 3.18 İkinci bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).

Resim 3.19’da üçüncü bölge olarak seçilmiş olan Van şehri için modellenen yapıların konumu görülmektedir.



Resim 3.19 Üçüncü bölge için modellenen yapıların konumu (Revit 2021).

Resim 3.20’de ise birinci bölge olarak belirlenen Çanakkale şehri içinde bulunan yapıların, maruz kaldığı hava sıcaklıkları bulunmaktadır.

Location Weather and Site												
Location: Weather Site												
☒ Use HVAC design data from weather station (183180_2006)												
Cooling Design Temperatures												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	14 °C	14 °C	16 °C	21 °C	27 °C	31 °C	31 °C	34 °C	29 °C	24 °C	18 °C	14 °C
Wet Bulb	11 °C	13 °C	12 °C	16 °C	20 °C	20 °C	20 °C	23 °C	20 °C	19 °C	14 °C	12 °C
Mean Daily Range	7 °C	8 °C	8 °C	10 °C	11 °C	11 °C	11 °C	12 °C	10 °C	8 °C	9 °C	8 °C
Heating Design Temperature: -4 °C												
Clearness Number: 1.0												
OK Cancel Help												

Resim 3.20 Birinci bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).

Resim 3.21 ve 3.22’de, sırasıyla ikinci ve üçüncü bölge olarak seçilen Afyonkarahisar ve Van’da bulunan yapıların maruz kaldıkları hava sıcaklıkları bulunmaktadır. Bu sayfalarda belirtilen verilere, yapının bulunduğu konuma en yakın meteoroloji merkezinden ulaşılabilmekte; aynı zamanda bu veriler manuel olarak da girilebilmektedir.

Location Weather and Site

Location Weather Site

☒ Use HVAC design data from weather station (1246940_2006)

Cooling Design Temperatures

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	9 °C	11 °C	18 °C	21 °C	29 °C	31 °C	32 °C	36 °C	30 °C	26 °C	14 °C	11 °C
Wet Bulb	6 °C	7 °C	10 °C	13 °C	16 °C	16 °C	16 °C	19 °C	17 °C	12 °C	9 °C	4 °C
Mean Daily Range	9 °C	9 °C	13 °C	15 °C	17 °C	18 °C	18 °C	21 °C	18 °C	14 °C	14 °C	13 °C

Heating Design Temperature: -10 °C

Clearness Number: 1.0

OK Cancel Help

Resim 3.21 İkinci bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).

Location Weather and Site

Location Weather Site

☒ Use HVAC design data from weather station (1274689_2006)

Cooling Design Temperatures

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	3 °C	4 °C	8 °C	16 °C	23 °C	28 °C	31 °C	32 °C	29 °C	21 °C	15 °C	4 °C
Wet Bulb	3 °C	4 °C	2 °C	11 °C	11 °C	13 °C	14 °C	15 °C	14 °C	8 °C	8 °C	0 °C
Mean Daily Range	9 °C	10 °C	9 °C	11 °C	15 °C	18 °C	18 °C	17 °C	17 °C	13 °C	12 °C	13 °C

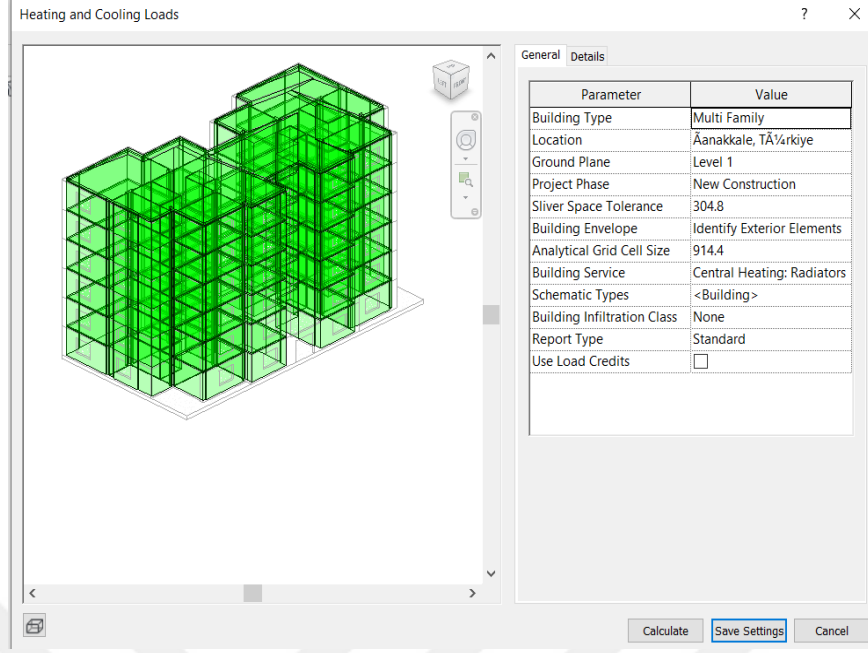
Heating Design Temperature: -13 °C

Clearness Number: 1.0

OK Cancel Help

Resim 3.22 Üçüncü bölge sıcaklık bilgileri (Revit 2021).

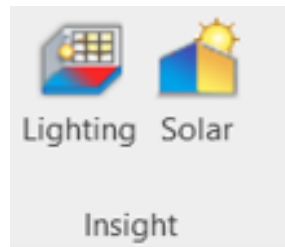
Yapıların konumu tespit edilmiş, ısıtma ve soğutma yük analizlerinin yapılması amacıyla da mahalleri belirlenmiştir. Bununla birlikte; mahallerde insan yükünün olup olmayacağı, alanın ne amaçla kullanılacağı ve aktif barınmanın kaç saat sağlanacağı gibi veriler de girilmiştir. Bu çalışmada mahal verileri, tüm modellerde sabit alınmıştır. Gerekli tüm veriler girildikten sonra yapıların ısıtma ve soğutma yüklerinin hesabı, Heating and cooling loads (ısıtma ve soğutma yükleri) komutu ile açılan panelde yapının bina tipi, konumu, zemin yüzeyi gibi pek çok veri düzenlenmiş, yapıların ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır (Resim 3.23).



Resim 3.23 Isıtma ve soğutma yük analizi (Revit 2021).

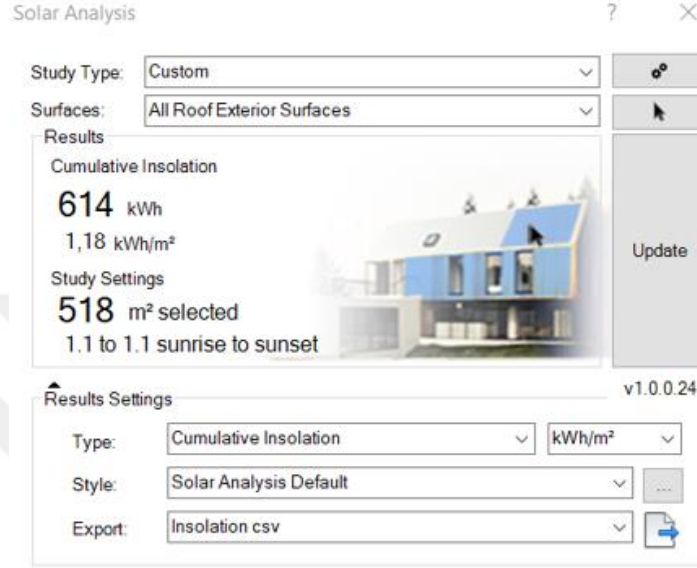
Yapıların ısıtma ve soğutma yükleri hesaplandıktan sonra binaların bulundukları konum doğrultusunda rüzgâr hızı ve rüzgâr frekansları analizleri yapılmaktadır. Bu sayede yapıların maruz kalacakları hâkim rüzgârın yönünü, Ő  d  tini ve Beaufort   l  eğinde ortalama ve en yüksek hız değerlerine ulaşılmaktadır (Tulukcu ve Murat, 2021).

Enerji etkin yapı tasarımlarında yapının bulunduğu konumlar dikkat ederek güneş enerji potansiyel analizleri ve güneş enerji sistemlerinde kullanılan fotovoltaiiklerin (PV)   atı yüzeyindeki kullanımıyla   retilbilecek enerji miktarlarının ortalama enerji analizleri yapılmaktadır. Resim 3.24'te g  r  ld  ğu gibi Revit komutlarının bulunduğu şerit menüsünden, analyze (analiz) komutunu tıklayarak açtığımız alanda yer alan ve Insight (i   g  r  ) panelinde bulunan solar (güneş) komutu ile yapıla bilinmektedir.



Resim 3.24 Insight güneş analiz paneli (Revit 2021).

Resim 3.25'te görüldüğü üzere Solar Analysis (güneş analizi) komutu ile açılan panelde bulunan Study Type (çalışma ayarları) komutu ile güneş analizinin çalışma ayarlarının kontrol edebilmekteyiz. Revitin bu özelliğinden yararlanılarak ortalama potansiyel güneş analizleri yapılmıştır.



Resim 3.25 Güneş analizi (Revit 2021).

4. BULGULAR

4.1 Değişken Olarak Belirlenen Yapı Elemanlarının Optimum Yalıtım Kalınlık Değerleri

Çizelge 4.1 Birinci bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.

Bölge	Taşıyıcı Sistem	Çatı	Duvar	Yalıtım	Taşıyıcı sistemlerin optimum yalıtım kalınlığı (m)	Çatının optimum yalıtım kalınlığı (m)	Dış duvarın optimum yalıtım kalınlığı (m)
Çanakkale	Çerçeve	Sıcak	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,06	0,05
				eps	0,06	0,06	0,05
				Taşıyünü	0,07	0,07	0,06
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,06	0,01
				eps	0,06	0,06	0,01
				Taşıyünü	0,07	0,07	0,02
		Soğuk	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,07	0,05
				eps	0,06	0,07	0,05
				Taşıyünü	0,07	0,08	0,06
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,07	0,01
				eps	0,06	0,07	0,01
				Taşıyünü	0,07	0,08	0,02
	Perde	Sıcak	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,06	0,05
				eps	0,06	0,06	0,05
				Taşıyünü	0,07	0,07	0,06
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,06	0,01
				eps	0,06	0,06	0,01
				Taşıyünü	0,07	0,07	0,02
		Soğuk	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,07	0,05
				eps	0,06	0,07	0,05
				Taşıyünü	0,07	0,08	0,06
			Gaz beton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,06	0,07	0,01
				eps	0,06	0,07	0,01
				Taşıyünü	0,07	0,08	0,02

Çizelge 4.1’de birinci bölge olarak seçilen Çanakkale şehri için modellenen 32 projenin,

özellikleri ile değişken olarak belirlenen yapı elemanlarının derece-gün metoduna göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları bulunmaktadır.

Çizelge 4.2 İkinci bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.

Bölge	Taşıyıcı Sistem	Çatı	Duvar	Yalıtım durumu	Taşıyıcı sistemlerin optimum yalıtım kalınlığı (m)	Çatının optimum yalıtım kalınlığı (m)	Dış duvarın optimum yalıtım kalınlığı (m)
Afyonkarahisar	Çerçeve	Sıcak	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.08	0.07
				eps	0.08	0.08	0.07
				Taşıyünü	0.09	0.09	0.08
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.08	0.03
				eps	0.08	0.08	0.03
				Taşıyünü	0.09	0.09	0.04
		Soğuk	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.09	0.07
				eps	0.08	0.09	0.07
				Taşıyünü	0.09	0.1	0.08
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.09	0.03
				eps	0.08	0.09	0.03
				Taşıyünü	0.09	0.1	0.04
	Perde	Sıcak	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.08	0.07
				eps	0.08	0.08	0.07
				Taşıyünü	0.09	0.09	0.08
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.08	0.03
				eps	0.08	0.08	0.03
				Taşıyünü	0.09	0.09	0.04
		Soğuk	Tuğla	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.09	0.07
				eps	0.08	0.09	0.07
				Taşıyünü	0.09	0.1	0.08
			Gazbeton	Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0.08	0.09	0.03
				eps	0.08	0.09	0.03
				Taşıyünü	0.09	0.1	0.04

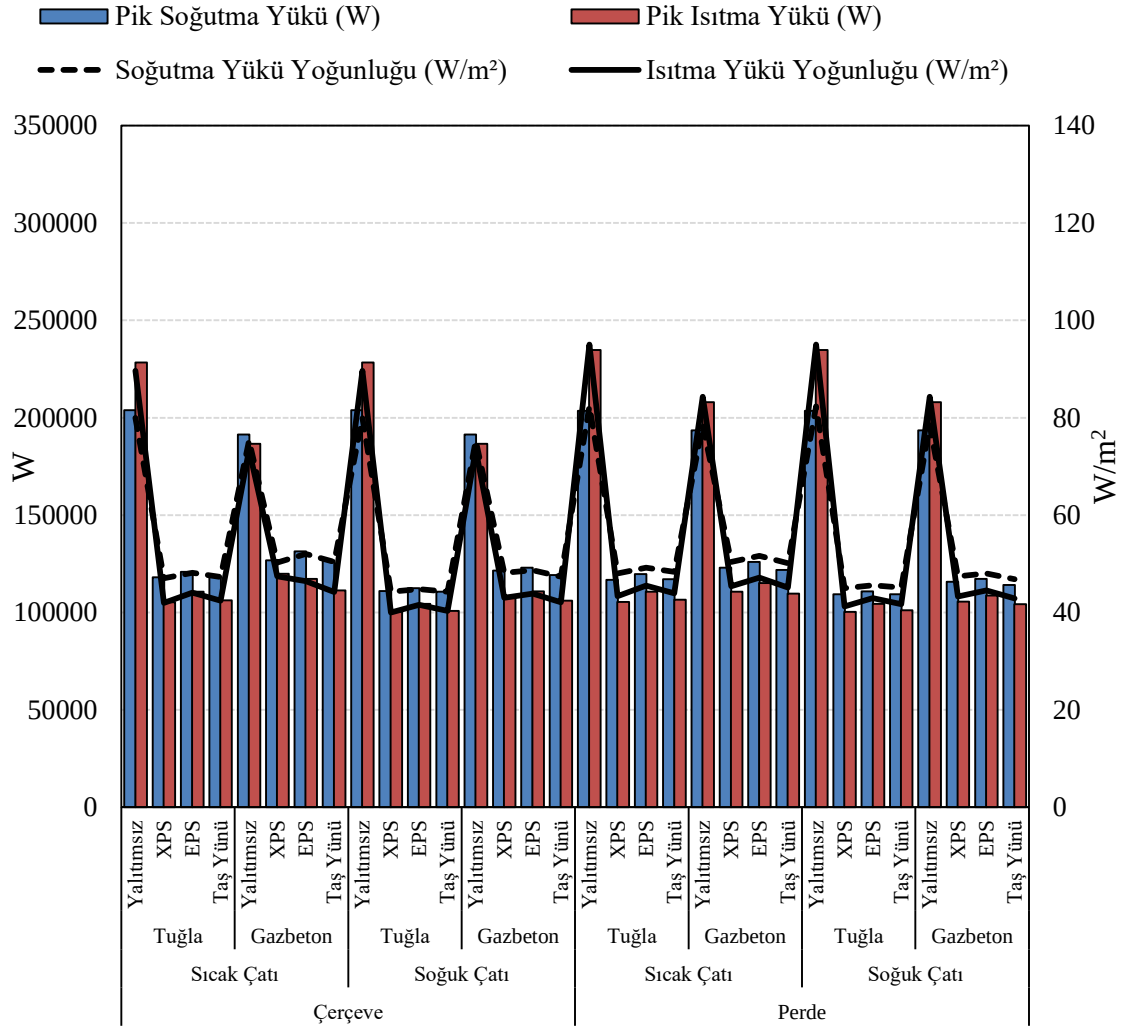
Çizelge 4.2’de ikinci bölge olarak seçilen Afyonkarahisar şehri için modellenen 32 projenin, özellikleri ile değişken olarak belirlenen yapı elemanlarının derece-gün metoduna göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları bulunmaktadır.

Çizelge 4.3 Üçüncü bölge için modellenen yapıların yapı özellikleri.

Bölge	Taşıyıcı Sistem	Çatı	Duvar	Yalıtım	Taşıyıcı sistemlerin optimum yalıtım kalınlığı (m)	Çatının optimum yalıtım kalınlığı (m)	Dış duvarın optimum yalıtım kalınlığı (m)
Van	Çerçeve			Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,09
				eps	0,1	0,1	0,09
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,1
				Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,04
				eps	0,1	0,1	0,04
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,05
				Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,09
				eps	0,1	0,1	0,09
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,1
	Perde			Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,04
				eps	0,1	0,1	0,04
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,05
				Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,09
				eps	0,1	0,1	0,09
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,1
				Yalıtımsız	0	0	0
				xps	0,1	0,1	0,04
				eps	0,1	0,1	0,04
				Taşıyünü	0,11	0,11	0,05

Çizelge 4.3’de ikinci bölge olarak seçilen Van şehri için modellenen 32 projenin, özellikleri ile değişken olarak belirlenen yapı elemanlarının derece-gün metoduna göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları bulunmaktadır.

4.2 Seçilen Bölgeler için Modellenen Yapıların Pik Isıtma ve Soğutma Yükleri ile Yoğunluk Verileri



Şekil 4.1 Çanakkale için modellenen yapıların ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.

Şekil 4.1’de birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu çizelgede görülen yapılarda, pik ısıtma ve soğutma yükü ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler

arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 8 proje içinde 234782 W değeri ile maksimum pik ısıtma yüküne ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan çerçeve sistemler arasından, dış duvarları gaz beton olan soğuk çatı projesinin minimum pik ısıtma yükünün 186670 W değerinde olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda pik ısıtma yükünün %20,49 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.4). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeve sistemler arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 8 proje arasından 203818 W değeri ile maksimum pik soğutma yüküne ulaştığı görülmüştür. Diğer taraftan çerçeve sistemler arasından dış duvarları gaz beton olan soğuk çatı projesinin ise minimum pik soğutma yükünün 191440 W değeri aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda pik soğutma yükünün %6,07 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.5).

Şekil 4.1’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine XPS uygulaması yapıldığında, 100327 W değeri ile minimum pik ısıtma yüküne düştüğü görülmektedir. Yapılan bu uygulama ile maksimum pik ısıtma yüküne kıyasla %57,27’lik bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.4). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine taş yünü uygulaması yapıldığında, 109302 w değeri ile minimum pik soğutma yüküne düştüğü görülmektedir. Bunun sonucunda maksimum pik soğutma yüküne kıyasla %46,37’lik bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4 Çanakkale şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Isıtma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Perdeli sistem	Sıcak-soğuk çatı	Tuğla	234782	
Yalıtımsız	Çerçeve sistem	Soğuk çatı	Gaz beton	186670	
					20,49
XPS uygulamaları	Perdeli sistem	Soğuk çatı	Tuğla	100327	
					57,27

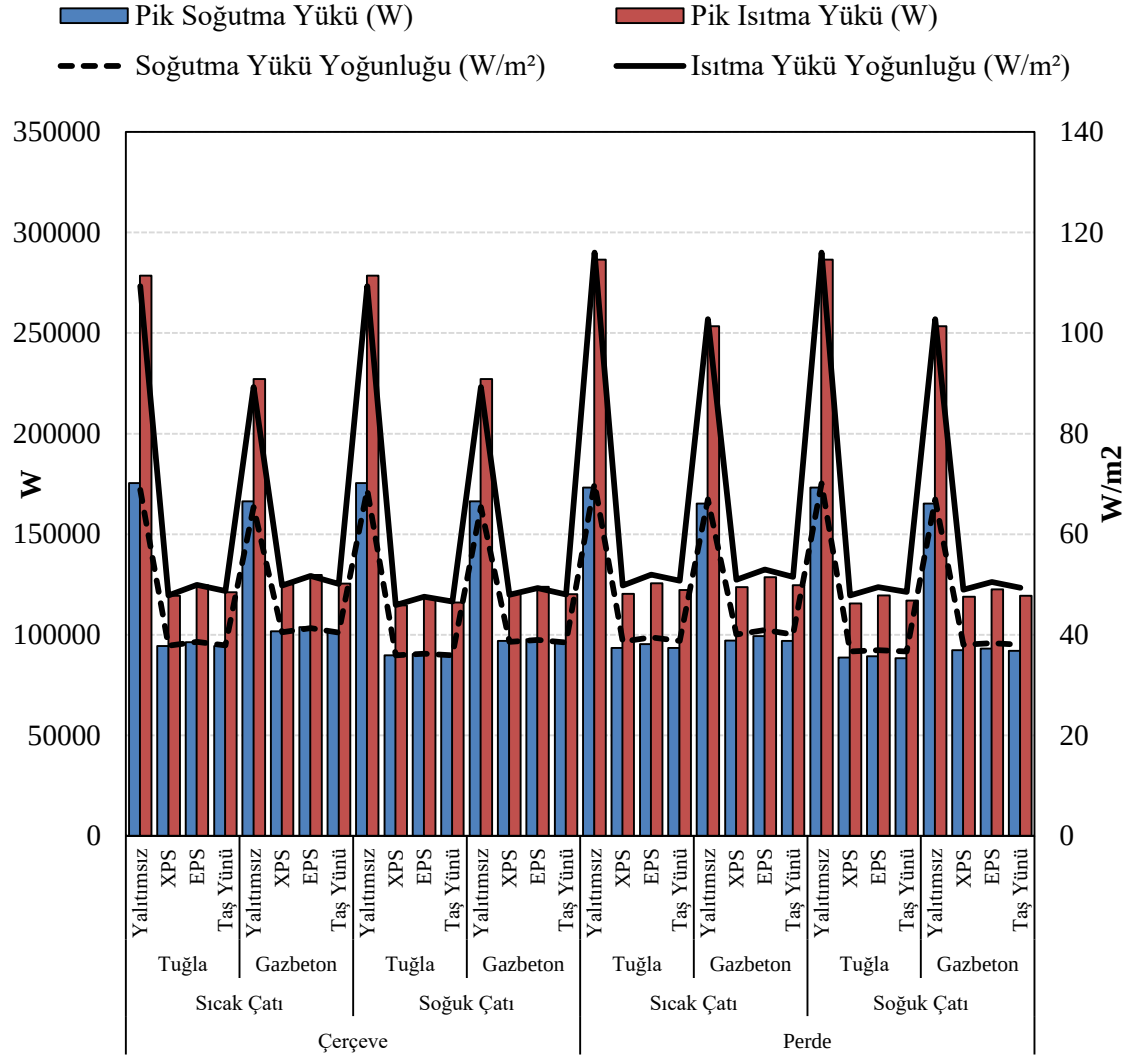
Çizelge 4.5 Çanakkale şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Soğutma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Çerçevesiz sistem	Sıcak-soğuk çatı	Tuğla	203818	
Yalıtımsız	Çerçevesiz sistem	Soğuk çatı	Gaz beton	191440	
					6,07
Taşıyıcı uygulamaları	Perdeli sistem	Soğuk çatı	Tuğla	109302	
					46,37

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı projelerde ısıtma yük yoğunluğu soğutma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı 8 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden, dış duvarı tuğla olan soğuk ve sıcak çatı projelerinde maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluk farkı $12,68 \text{ W/m}^2$ değerindedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı projelerde soğutma yük yoğunluğu ısıtma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan çerçevesiz sistemlerden, dış duvarı gaz beton olan sıcak çatı projelerine taş yünü uygulaması yapıldığında, maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluk farkı $6,17 \text{ W/m}^2$ değerini vermektedir.

Şekil 4.2’de ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu çizelgede görülen yapılarda pik ısıtma ve soğutma yükü ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 32 proje içinde 286537 W değeri ile maksimum pik ısıtma yüküne ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan çerçevesiz sistemler arasından, dış duvarları gaz beton olan sıcak çatı projesinin minimum pik ısıtma yükünün 227071 W değerinde olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda pik ısıtma yükünün %20,75 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.6). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçevesiz sistemler arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 32 proje arasından 175448 W değeri ile maksimum pik soğutma yüküne ulaştığı görülmüştür. Diğer taraftan perdeli sistemler

arasından dış duvarları gaz beton olan sıcak ve soğuk çatı projelerinde minimum pik soğutma yükünün 165163 W değerini aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda pik soğutma yükünün %5,86 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.7).



Şekil 4.2 Afyonkarahisar için modellenen yapıların ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.

Şekil 4.2’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan çerçeveli sistemlerden dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine XPS uygulaması yapıldığında, 114608 W değeri ile minimum pik ısıtma yüküne düştüğü görülmektedir. Bu uygulamanın sonucunda maksimum pik ısıtma yüküne kıyasla %60’lık bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.6). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde

bulunan perdeli sistemlerden, dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine taş yünü uygulaması yapıldığında, 88414 W değeri ile minimum pik soğutma yüküne düştüğü görülmektedir. Bu uygulama ile maksimum pik soğutma yüküne kıyasla %49,61'lik bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.7).

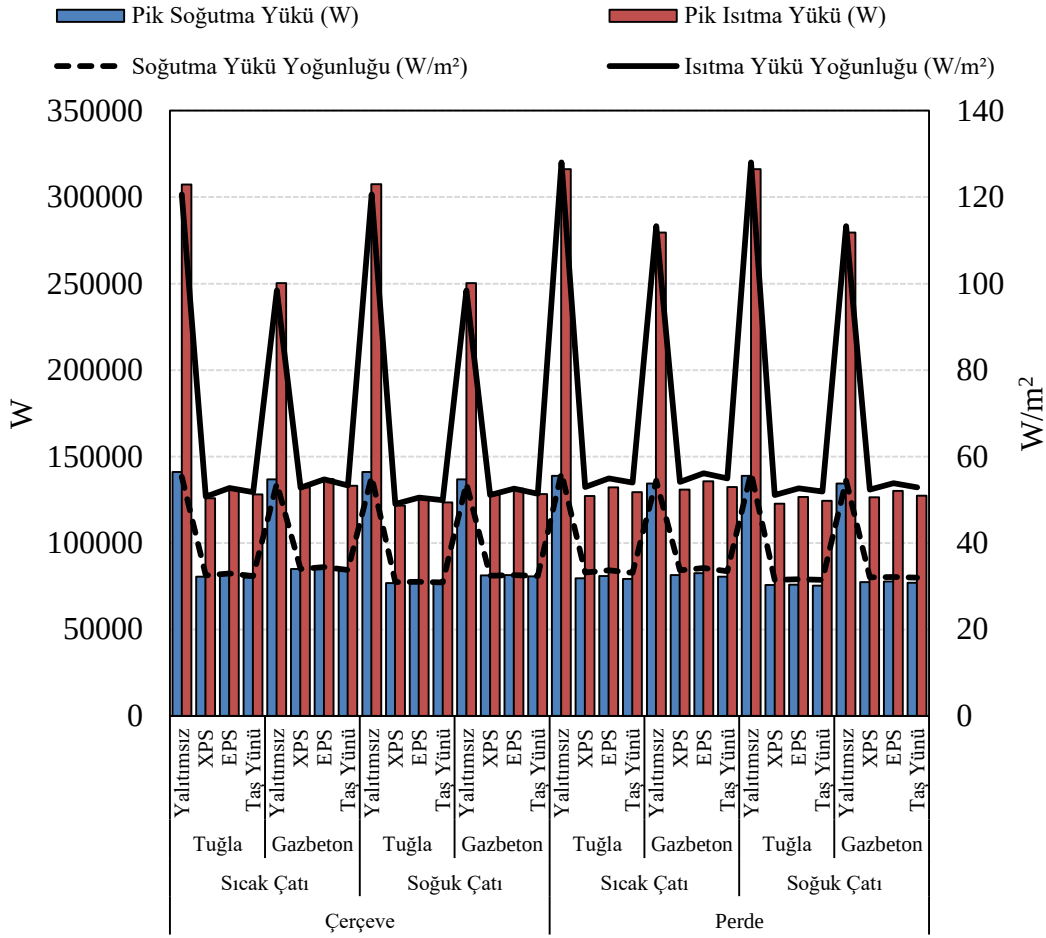
Çizelge 4.6 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Isıtma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Perdeli sistem	Sıcak-Soğuk Çatı	Tuğla	286537	
Yalıtımsız	Çerçevesiz sistem	Sıcak Çatı	Gaz beton	227071	
XPS uygulamaları	Çerçevesiz sistem	Soğuk Çatı	Tuğla	114608	20,75
					60

Çizelge 4.7 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Soğutma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Çerçevesiz sistem	Sıcak-Soğuk Çatı	Tuğla	175448	
Yalıtımsız	Perdeli sistem	Sıcak-soğuk Çatı	Gaz beton	165163	
Taşıyünü uygulamaları	Perdeli sistem	Soğuk Çatı	Tuğla	88414	5,86
					49,61

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı projelerde ısıtma yük yoğunluğu soğutma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı 8 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarı tuğla olan soğuk ve sıcak çatı projelerinde, maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluğu farkı 45.85 W/m^2 değerindedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı projelerde de ısıtma yük yoğunluğu soğutma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarı tuğla olan sıcak çatı projesine eps uygulaması yapıldığında, maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluk farkı $13,20 \text{ W/m}^2$ değerini vermektedir.



Şekil 4.3 Van için modellenen yapıların pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk verileri.

Şekil 4.3'te üçüncü bölge olarak seçilen ve Van şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu çizelgede görülen yapılarda pik ısıtma ve soğutma yükü ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 32 proje içinde 316256 W değeri ile maksimum pik ısıtma yüküne ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan, çerçeveli sistemler arasından dış duvarları gaz beton olan sıcak ve soğuk çatı projelerindeki minimum pik ısıtma yükünün, 250254 W değerinde olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda pik ısıtma yükünün %20,87 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.8). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarları tuğla olan sıcak ve soğuk çatı projelerinin, 32 proje arasından 141027 W ve 141014 W değerleri ile maksimum pik soğutma yüklerine ulaştığı görülmüştür. Öte yandan çerçeveli sistemler arasından dış duvarları gaz beton olan

sıcak ve soğuk çatı projelerindeki minimum pik soğutma yükünün, 136827 W değerini aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda pik soğutma yükünün %2,98 oranında azaldığı göze çarpmaktadır (Çizelge 4.9)

Çizelge 4.8 Van şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik ısıtma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Isıtma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Perdeli sistem	Sıcak-Soğuk Çatı	Tuğla	316256	
Yalıtımsız	Çerçevesi sistem	Sıcak-soğuk Çatı	Gaz beton	250254	
					20,87
XPS uygulamaları	Çerçevesi sistem	Soğuk Çatı	Tuğla	121658	
					61,53

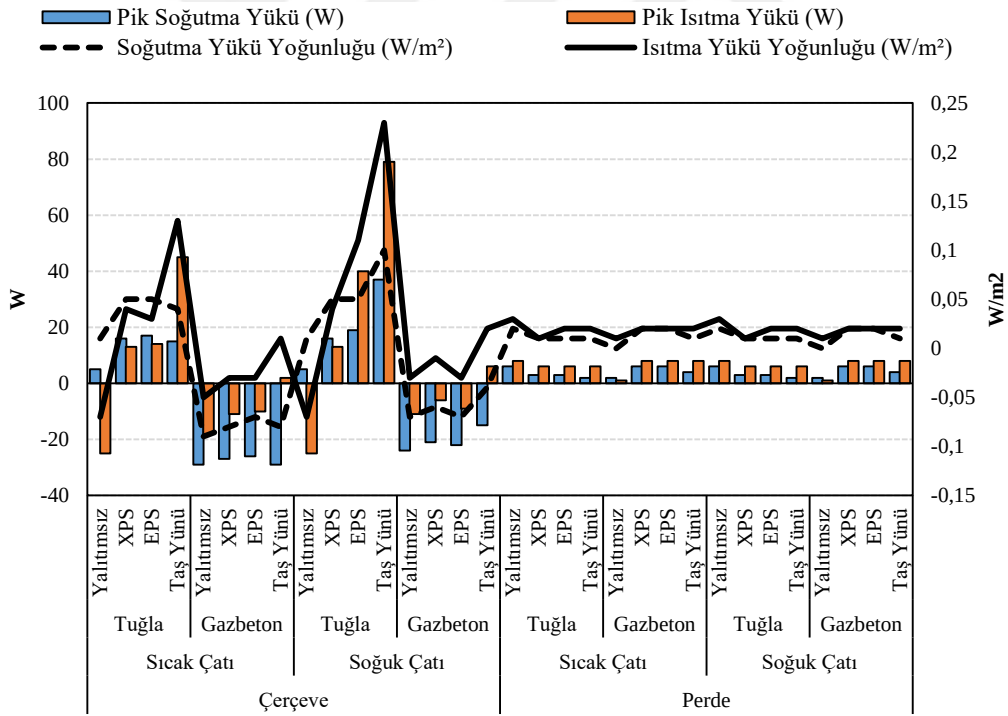
Çizelge 4.9 Van şehri için modellenen yapıların maksimum ve minimum pik soğutma yük verileri.

Yalıtım Durumu	Taşıyıcı Sistem	Çatı tipi	Dış duvar	Soğutma yükü (W)	Verim (%)
Yalıtımsız	Çerçevesi sistem	Sıcak Çatı	Tuğla	141027	
Yalıtımsız	Çerçevesi sistem	Sıcak-soğuk Çatı	Gaz beton	136827	
					2,98
XPS uygulamaları	Perdeli sistem	Soğuk Çatı	Tuğla	75732	
					46,30

Şekil 4.3'te yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan çerçevesi sistemlerden dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine XPS uygulaması yapıldığında, 121658 W değeri ile minimum pik ısıtma yüküne düştüğü görülmektedir. Bu uygulamanın sonucunda maksimum pik ısıtma yüküne kıyasla %61,53'lik bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.8). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarları tuğla olan soğuk çatı projesine xps uygulaması yapıldığında, 75732 W değeri ile minimum pik soğutma yüküne düştüğü görülmektedir. Bu uygulamanın sonucunda maksimum pik soğutma yüküne kıyasla %46,30'luk bir azalma sağlanmaktadır (Çizelge 4.9).

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı projelerde ısıtma yük yoğunluğu soğutma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı 8 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarı tuğla olan soğuk ve sıcak çatı projelerinde, maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluk farkı $71,83 \text{ W/m}^2$ değerindedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı projelerde de ısıtma yük yoğunluğu soğutma yük yoğunluğundan büyüktür. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı 24 proje içinde bulunan perdeli sistemlerden dış duvarı gazbeton olan sıcak çatı projesine eps uygulaması yapıldığında, maksimum ısıtma ve soğutma yük yoğunluk farkı $21,92 \text{ W/m}^2$ değerini vermektedir.

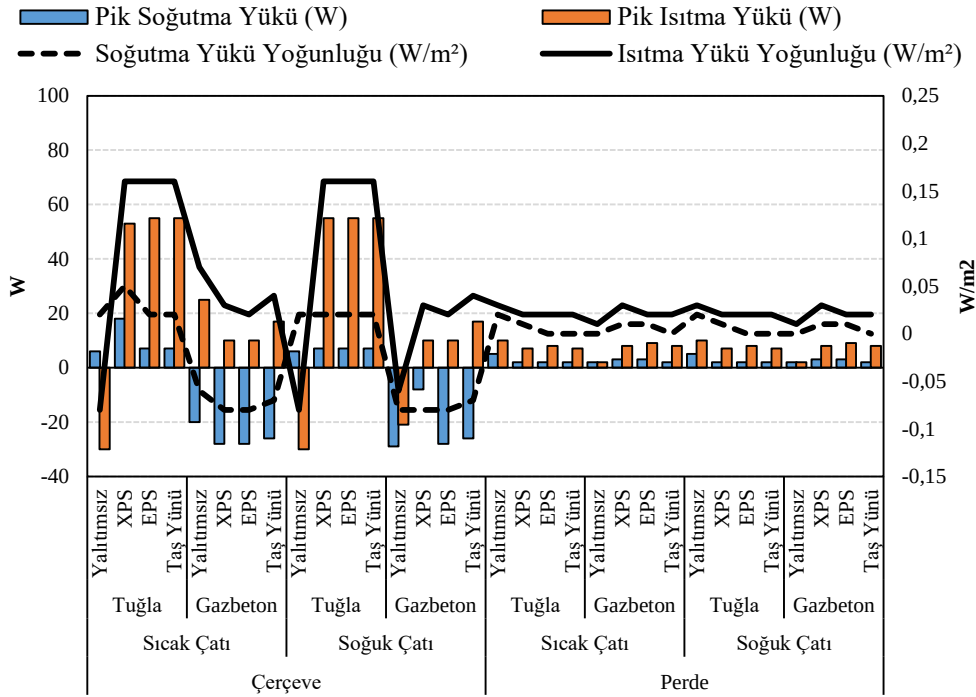
4.3 Bölgeler için Modellenen Yapıların 3. ve 6. Katları Arasındaki Pik Isıtma ve Soğutma Yükleri ile Yoğunluklarının Farkları



Şekil 4.4 Çanakkale şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile ısıtma ve soğutma yoğunluk farklarının verileri.

Şekil 4.4'te birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu yapılarda 3. ve 6. kat arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile

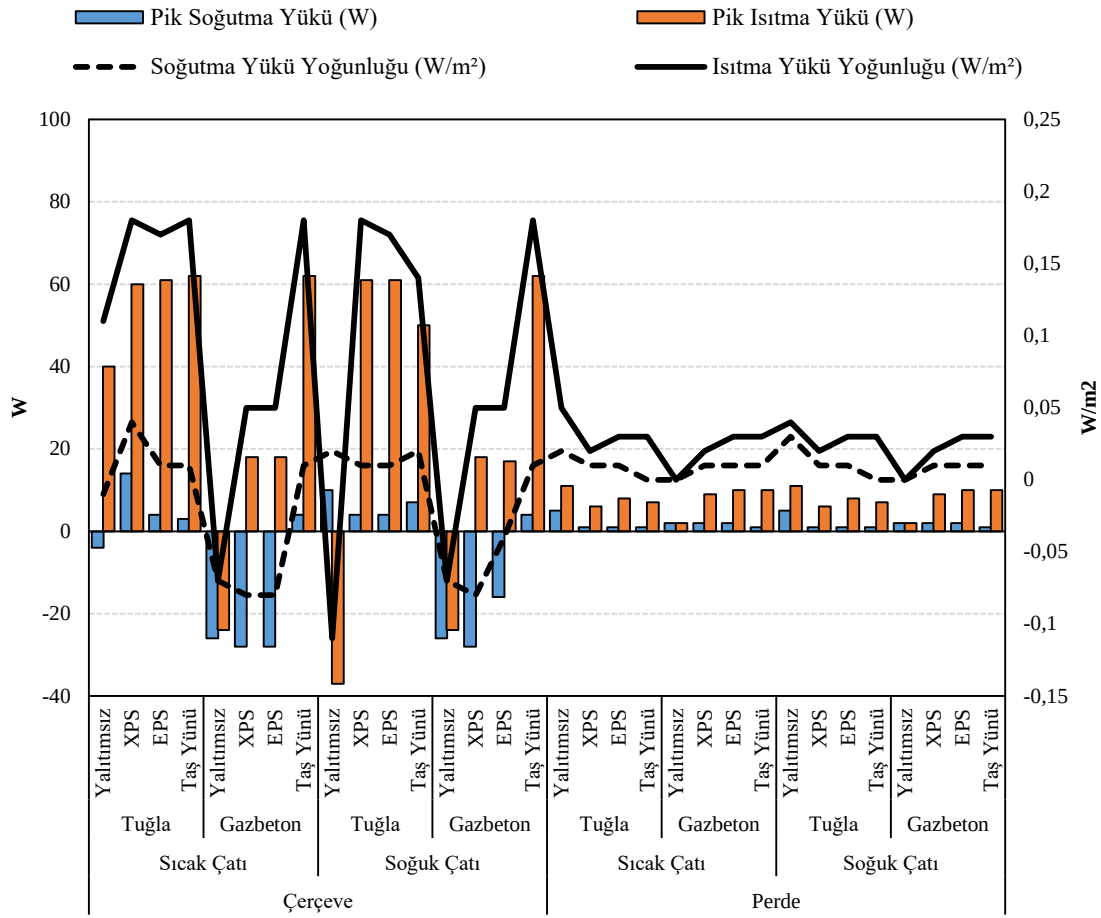
yoğunluklarının farkı bulunmaktadır. 3. katta ihtiyaç duyulan enerji miktarından 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarı çıkartılarak çizelge oluşturulmuştur. Eksi W olarak ifade edilen değerlerde, 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Oluşturulan çizelgede 3. ve 6. katlar arasındaki farkın büyük olmadığı; maksimum farkın pik ısıtma yükünde 104 W, pik soğutma yükünde 66 W olduğu görülmektedir. Böylece çerçevesi sistemlerde bu farkın perdeli sistemlere kıyasla daha değişken olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge4.10).



Şekil 4.5 Afyonkarahisar şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yoğunluk farkları.

Şekil 4.5'te ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu yapılarda 3. ve 6. kat arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluklarının farkı bulunmaktadır. 3. katta toplam ihtiyaç duyulan enerji miktarından 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarı çıkartılarak çizelge oluşturulmuştur. Eksi W olarak ifade edilen değerlerde, 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Oluşturulan çizelgede 3. ve 6. katlar arasındaki farkın büyük olmadığı, maksimum farkın pik ısıtma yükünde 85 W ve pik soğutma yükünde 47 W olduğu görülmektedir. Böylelikle çerçevesi sistemlerde bu farkın perdeli sistemlere

kıyasla daha değişken olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge4.10).



Şekil 4.6 Van şehrinde modellenen yapıların 3. ve 6. katları arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluk farkları.

Şekil 4.6'da üçüncü bölge olarak seçilen ve Van şehri için modellenen 32 proje kullanılmıştır. Bu yapılarda 3. ve 6. kat arasındaki pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunluklarının farkı bulunmaktadır. 3. katta toplam ihtiyaç duyduğu enerji miktarından 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarı çıkartılarak çizelge oluşturulmuştur. Eksi W olarak ifade edilen değerlerde, 6. katın ihtiyaç duyduğu enerji miktarının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Oluşturulan çizelgede 3. Ve 6. Katlar arasındaki farkın büyük olmadığı maksimum farkın Pik ısıtma yükünde 99 W ve pik soğutma yükünde 42 W olduğu görülmektedir. Böylece çerçevesi sistemlerde bu farkın perdeli sistemlere kıyasla daha değişken olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge4.10).

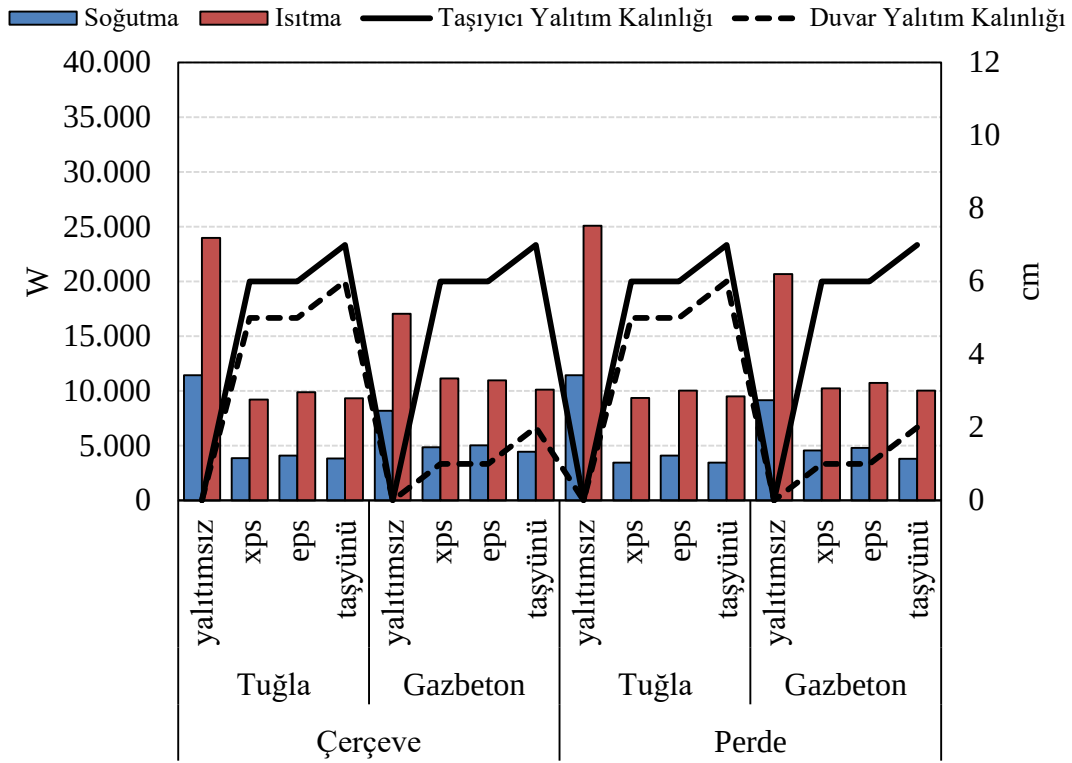
Çizelge 4.10 Seçilen bölgeler için tasarlanan yapıların 3. Ve 6 katları arasındaki mutlak farkları.

Bölge	Pik ısıtma yükü maksimum farkı (W)	Pik soğutma yükü maksimum farkı (W)
Çanakkale	104	66
Afyonkarahisar	85	47
Van	99	42

4.4 Üç Bölge İçin Modellenen Yapıların 3. Katlarına Göre Çerçeve ve Perde Soğutma ve Isıtma Yüklerinin Verileri

Şekil 4,7’de birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen projelerin, perdeli ve çerçeveli sistemler arasındaki farklarının detaylı görünümü bulunmaktadır. Bu yapılarda 3. kat pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 25103 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 23990 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın tuğla seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %4,43 oranında azalma göze çarpmaktadır (Çizelge4.11).

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 11438 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 11450 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın tuğla seçildiği çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin uygulandığı projelerde %0,1 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge4.11).



Şekil 4.7 Çanakkale için modellenen çerçeveli ve perdeli yapıların 3. katlarındaki soğutma ve ısıtma yükü.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 20683 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 17046 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarı gazbeton seçilen perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %17,58 oranında azalma göze çarpmaktadır (Çizelge4.11).

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 9155 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 8205 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarı gaz beton seçilen perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %10,38 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge4.11).

Çizelge 4.11 Çanakkale için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.

Yalıtım Durumu	Dış Duvar	Taşıyıcı sistem	Isıtma yükü (W)	Soğutma yükü (W)	Perde /çerçeve sistemindeki verim (%)	Çerçeve/ Perde sistemindeki verim (%)
Yalıtımsız	Tuğla	Perdeli sistemler	25103			
	Tuğla	Çerçeveli sistemler	23990		4,43 Azalma	
	Tuğla	Perdeli sistem		11438		
	Tuğla	Çerçeveli sistem		11450		0,1 Azalma
	Gaz beton	Perdeli sistem	20683			
	Gaz beton	Çerçeveli sistem	17046		17,58 Azalma	
	Gaz beton	Perdeli sistem		9155		
	Gaz beton	Çerçeveli sistem		8205	10,38 Azalma	

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 9896W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 9215 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı tuğla olan yapılarda görülen maksimum duvar ısıtma yük farkı 681 W’tır ve %6,88 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 11139 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü Taşyünü uygulamalarında 10136W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı ise 1003 W’tır ve %9 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 4093W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 3846 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 247 W’tır ve %6,03 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 5049 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 4448 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 601 W’tır ve %11,90 oranında azaldığı görülmektedir.

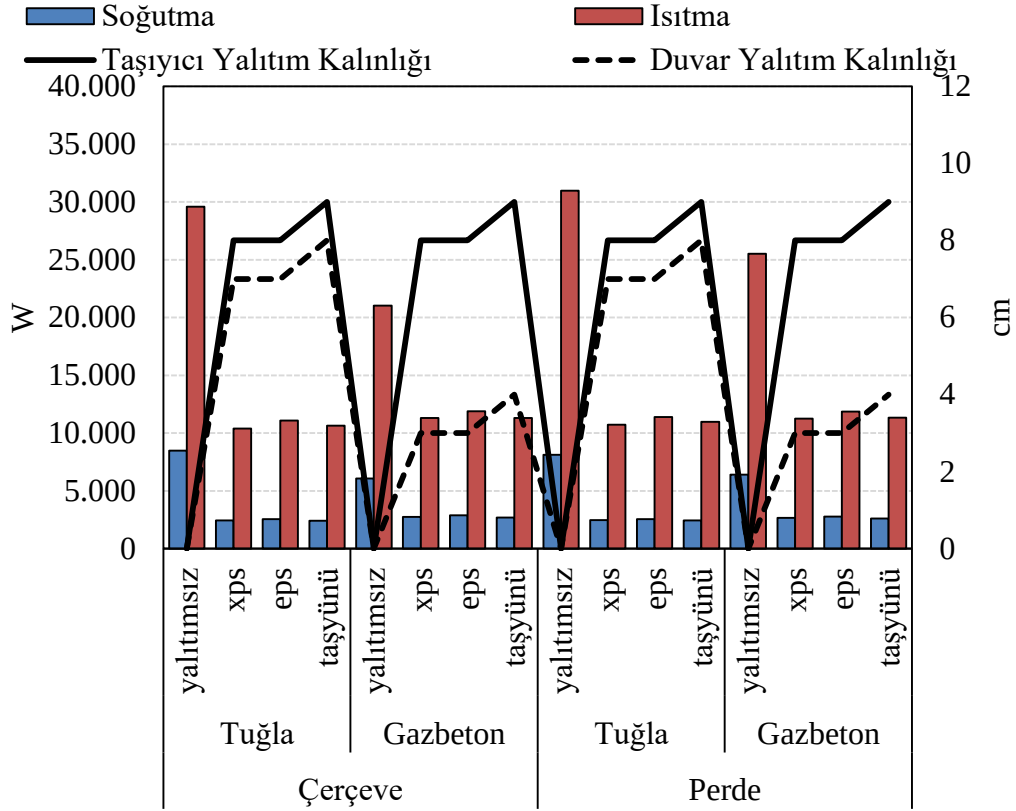
Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 10047W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 9370 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 677 W’tır ve %6,74 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 10745 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü Taşyünü uygulamalarında 10028 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 717 W’tır ve %6,67 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 4100 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü xps uygulamalarında 3452 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan

yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 648 W'tır ve %15,8 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.7'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 4813 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 3803 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 1010 W'tır ve %20,98 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.8 Afyonkarahisar için modellenen çerçeveli ve perdeli yapıların 3. katlarındaki soğutma ve ısıtma yükü.

Şekil 4.8'de ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen projelerin, perdeli ve çerçeveli sistemler arasındaki farklarının detaylı görünümü mevcuttur. Bu yapılarda 3. kat pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış

duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 30961 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 29587 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarlarının tuğla seçildiği perdeli sistemlerin yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %4,44 oranında azalma göze çarpmaktadır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 Afyonkarahisar için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.

Yalıtım Durumu	Dış Duvar	Taşıyıcı sistem	Isıtma yükü	Soğutma yükü	Perde /çerçeve sistemindeki verim (%)	Çerçeve/ Perde sistemindeki verim (%)
Yalıtımsız	Tuğla	Perdeli sistemler	39161			
	Tuğla	Çerçeveli sistemler	29587		4,44 Azalma	
	Tuğla	Perdeli sistem		8111		
	Tuğla	Çerçeveli sistem		8467		4,20 Azalma
	Gaz beton	Perdeli sistem	25510			
	Gaz beton	Çerçeveli sistem	21023		17,59 Azalma	
	Gaz beton	Perdeli sistem		6399		
	Gaz beton	Çerçeveli sistem		6079	5 Azalma	

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 8111 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 8467 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın tuğla seçildiği çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin uygulandığı projelerde %4,20 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.12).

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 25510 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 21023 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın gaz beton seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %17,59 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.12).

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 6399 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 6079 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın gaz beton seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %5 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.12).

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 11077W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 10399 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı tuğla olan yapılarda görülen maksimum duvar ısıtma yük farkı 678 W’tır ve %6,12 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum ısıtma yükü eps uygulamalarında 11882 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü Taşyünü uygulamalarında 10309W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı ise 573 W’tır ve %4,82 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8’de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 2561 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 2420 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış

duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 141 W'tır ve %5,51 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 2891 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 2688 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 203 W'tır ve %7,02 oranında azaldığı görülmektedir.

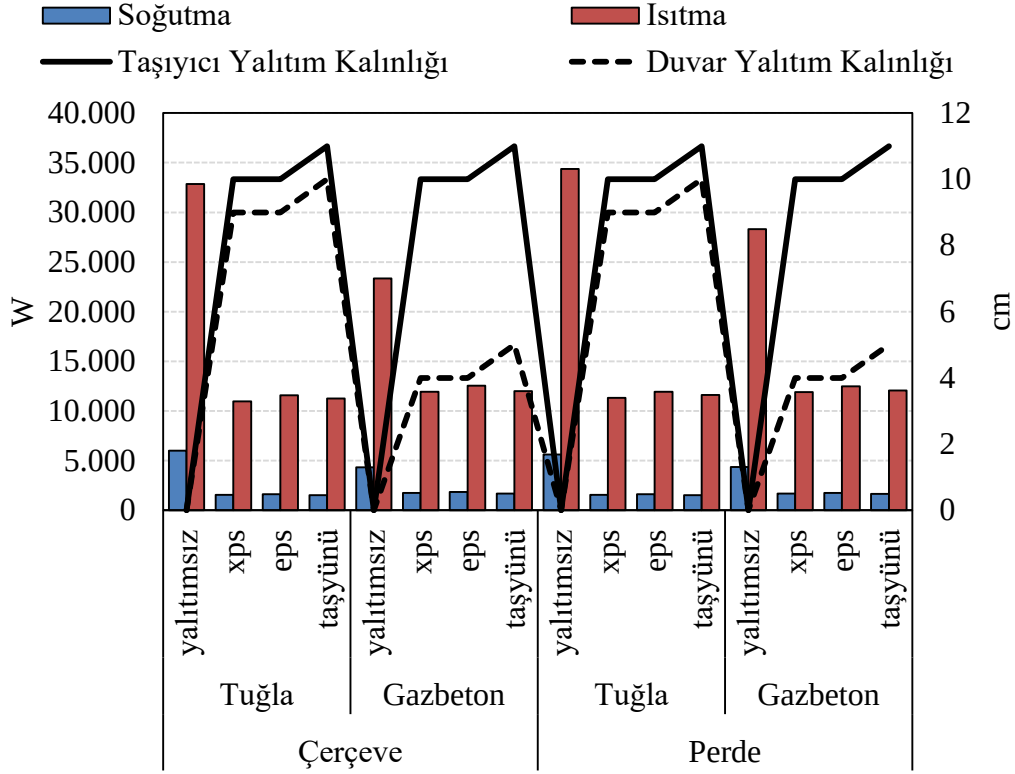
Şekil 4.8'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 11392W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 10719 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 673 W'tır ve %5,91 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 11853 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 11246 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 607 W'tır ve %5,12 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 2563 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 2433 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 130 W'tır ve %5,07 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8'de yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı

gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 2788 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü xps uygulamalarında 2654 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 134 W'tır ve %4,81 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9 Van için modellenen çerçeveli ve perdeli yapıların 3. katlarının soğutma ve ısıtma yüklerinin verileri.

Şekil 4.9'da üçüncü bölge olarak seçilen ve Van şehri için modellenen projelerin, perdeli ve çerçeveli sistemler arasındaki farklarının detaylı görünümü mevcuttur. Bu yapılarda 3. kat pik ısıtma ve soğutma yükleri ile yoğunlukları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 34363 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin ısıtma yükü 32839 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarlarının tuğla seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %4,44 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Van için modellenen yalıtımsız yapıların üçüncü katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değerleri ile yüzdelik verimleri.

Yalıtım Durumu	Dış Duvar	Taşıyıcı sistem	Isıtma yükü	Soğutma yükü	Perde /çerçeve sistemindeki verim (%)	Çerçeve/ Perde sistemindeki verim (%)
Yalıtımsız	Tuğla	Perdeli sistem	34363		4,44 Azalma	
	Tuğla	Çerçeve sistem	32839			
	Tuğla	Perdeli sistem		5609		6,42 Azalma
	Tuğla	Çerçeve sistem		5994		
	Gaz beton	Perdeli sistem	28313		17,59 Azalma	
	Gaz beton	Çerçeve sistem	23334			
	Gaz beton	Perdeli sistem		4360	0,71 Azalma	
	Gaz beton	Çerçeve sistem		4329		

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 5609 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeve sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan projenin soğutma yükü 5994 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın tuğla seçildiği çerçeve sistemler yerine perdeli sistemlerin uygulandığı projelerde %6,42 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.13).

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 28313 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeve sistemler arasından, dış duvarı gaz beton olan projenin ısıtma yükü 23334 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarları gaz beton seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeve sistemlerin uygulandığı projelerde %17,59 oranında azalma göze çarpmaktadır (Çizelge 4.13).

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler arasından dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 4360 W iken yalıtım uygulamalarının yapılmadığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gaz beton olan projenin soğutma yükü 4329 W değerindedir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarın gaz beton seçildiği perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin uygulandığı projelerde %0,71 oranında azalma ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.13).

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 11578 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 10951 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı tuğla olan yapılarda görülen maksimum duvar ısıtma yük farkı 627 W’tır ve %5,42 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum ısıtma yükü eps uygulamalarında 12535 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 11943 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı ise 573 W’tır ve %4,72 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 1619W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 1520 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 99 W’tır ve %6,11 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9’da yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 1836 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 1689 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından, dış

duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 147W'tır ve %8 oranında azaldığı görülmektedir.

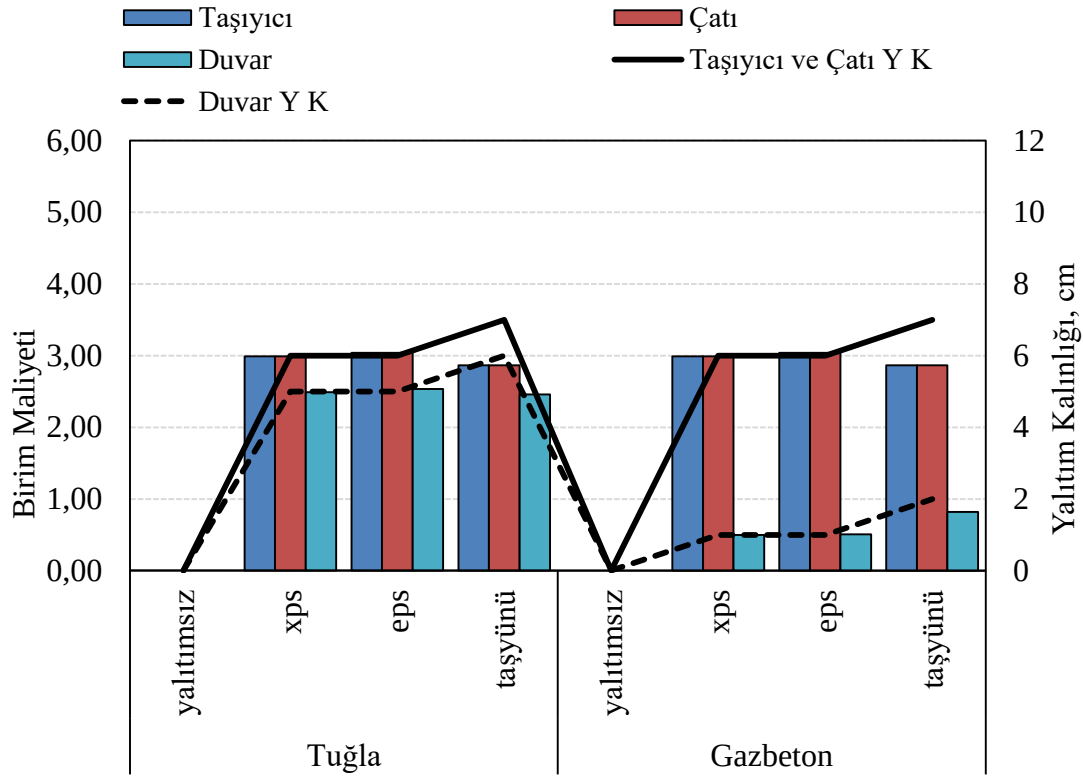
Şekil 4.9'da yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 11940 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 11317 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 623 W'tır ve %5,22 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9'da yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum ısıtma yükü eps uygulamaları ile 12489 W değerine ulaşırken minimum ısıtma yükü xps uygulamalarında 11886 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar ısıtma yük farkı 603 W'tır ve %4,83 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9'da yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 1610 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 1521 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı tuğla olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 89 W'tır ve %5,53 oranında azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9'da yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılar da maksimum soğutma yükü eps uygulamaları ile 1760 W değerine ulaşırken minimum soğutma yükü Taşyünü uygulamalarında 1638 W değerine ulaşmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı perdeli sistemler arasından, dış duvarı gazbeton olan yapılarda maksimum duvar soğutma yük farkı 122 W'tır ve %6,93 oranında azaldığı görülmektedir.

4.5 Yalıtım Malzemelerinin Birim Fiyat Karşılaştırması



Şekil 4.10 Çanakkale için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.

Şekil 4.10’da birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen projeler kullanılmıştır. Bu çizelgede, projelerin tuğla ve gaz beton duvarları için yalıtım malzemelerinin kalınlıkları ile ilk yatırım maliyetlerinin birim fiyatları bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemlerde ve çatıda bir değişiklik olmamasından dolayı yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıklarının sabit kaldığı görülmektedir.

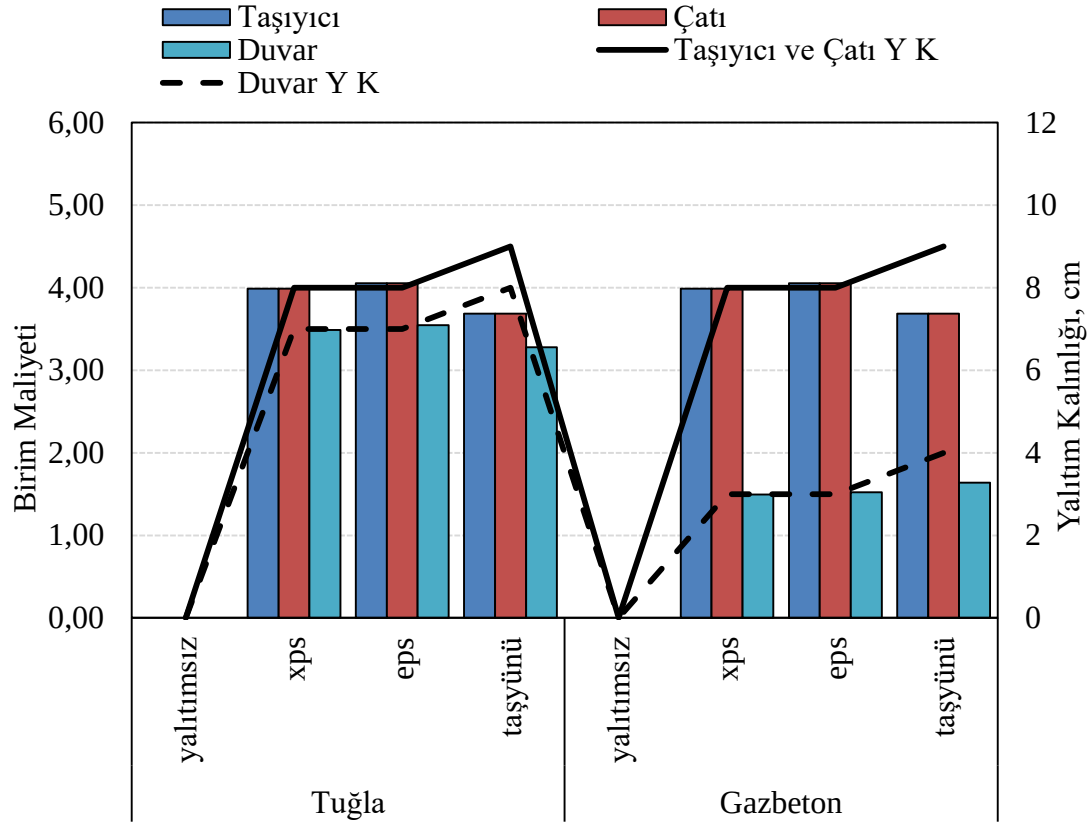
Şekil 4.10’da tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum xps yalıtım kalınlığı 5 cm olurken gazbeton duvarları için bu değer 1 cm olmaktadır. Tuğla duvarın xps birim maliyeti 2,49 iken gaz beton için 0,50 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma xps yalıtım malzemesi açısından %79,92 oranındadır.

Şekil 4.10'da tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum eps yalıtım kalınlığı 6 cm olurken gaz beton için bu değer 2 cm olmaktadır. Tuğla duvarın eps birim maliyeti 2,53 iken gaz beton için bu maliyet 0,51 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma eps yalıtım malzemesi açısından %79,84 oranındadır.

Şekil 4.10'da tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum taş yünü yalıtım kalınlığı 6 cm olurken gaz beton için bu değer 2 cm olmaktadır. Tuğla duvarın taş yünü birim maliyeti 2,46 iken gaz beton için bu maliyet 0,82 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma Taşyünü yalıtım malzemesi açısından %66,67 oranındadır. Bu bilgiler doğrultusunda, tuğla ve gaz beton uygulamalarında tuğla için gerekli yalıtım kalınlığının daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.11'de ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen projeler kullanılmıştır. Bu projelerde, tuğla ve gaz beton duvarlarında kullanılan yalıtım malzemelerinin kalınlıkları ile ilk yatırım maliyetlerinin birim fiyatları bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemlerde ve çatıda bir değişiklik olmadığından dolayı yalıtım malzemelerindeki optimum kalınlıkların sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.11'de tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum xps yalıtım kalınlığı 7cm olurken gaz beton için bu değer 3 cm olmaktadır. Tuğla duvarın xps birim maliyeti 3,49 iken gaz betonda bu maliyet 1,49 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma xps yalıtım malzemesi açısından %57,31 oranındadır.

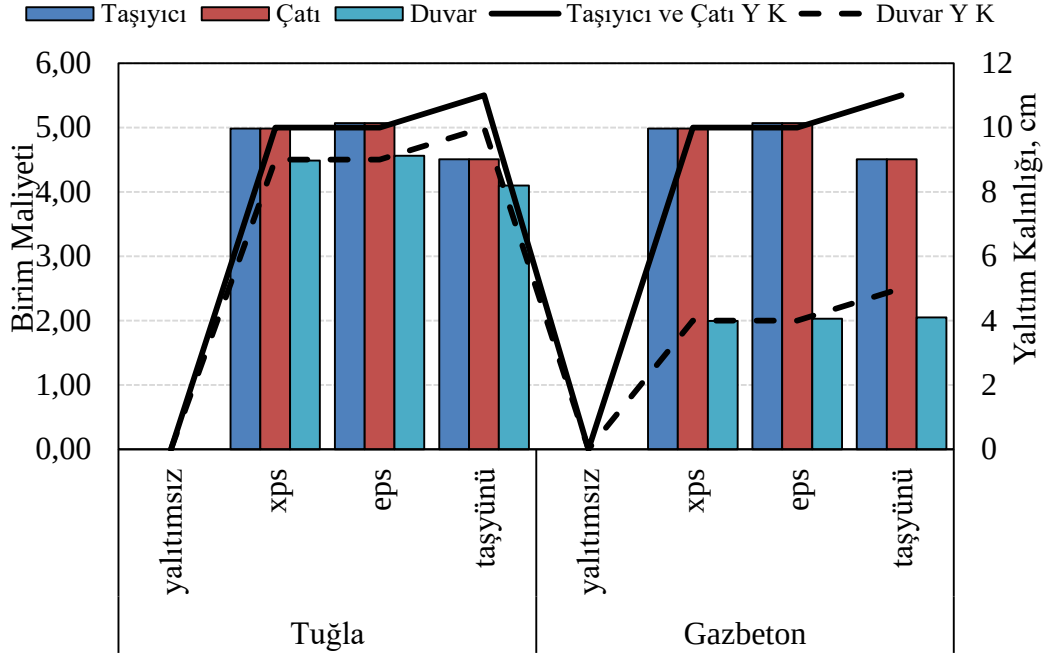


Şekil 4.11 Afyonkarahisar için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.

Şekil 4.11’de tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum eps yalıtım kalınlığı 8 cm olurken gaz beton için bu değer 4 cm olmaktadır. Tuğla duvarın eps birim maliyeti 3,55 birim iken gaz betonda bu maliyet 1,52 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma eps yalıtım malzemesi açısından %57,18 oranındadır.

Şekil 4.11’de tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum taş yünü yalıtım kalınlığı 8 cm olurken gaz betonda bu değer 4 cm olmaktadır. Tuğla duvarın taş yünü birim maliyeti 3,28 iken gaz betonda bu maliyet 1,64 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma Taşyünü yalıtım malzemesi açısından %50 oranındadır. Bu bulgular neticesinde, tuğla ve gaz beton uygulamalarında tuğla için gerekli yalıtım kalınlığının daha fazla

olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 Afyonkarahisar için modellenen yapıların tuğla ve gaz beton uygulamalarında yalıtım malzemelerinin kalınlık ve birim maliyeti.

Şekil 4.12’de üçüncü bölge olarak seçilen ve Van şehri için modellenen projeler kullanılmıştır. Bu projelerde, tuğla ve gaz beton duvarlarında kullanılan yalıtım malzemelerinin kalınlıkları ile ilk yatırım maliyetlerinin birim fiyatları bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemlerde ve çatıda bir değişiklik olmamasından dolayı yalıtım malzemelerindeki optimum kalınlığın sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.12’de tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum xps yalıtım kalınlığı 9 cm olurken gaz betonda bu değer 4 cm olmaktadır. Tuğla duvarın xps birim maliyeti 4,48 birim iken gaz betonda bu maliyet 1,99 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma xps yalıtım malzemesi açısından %55,58 oranındadır.

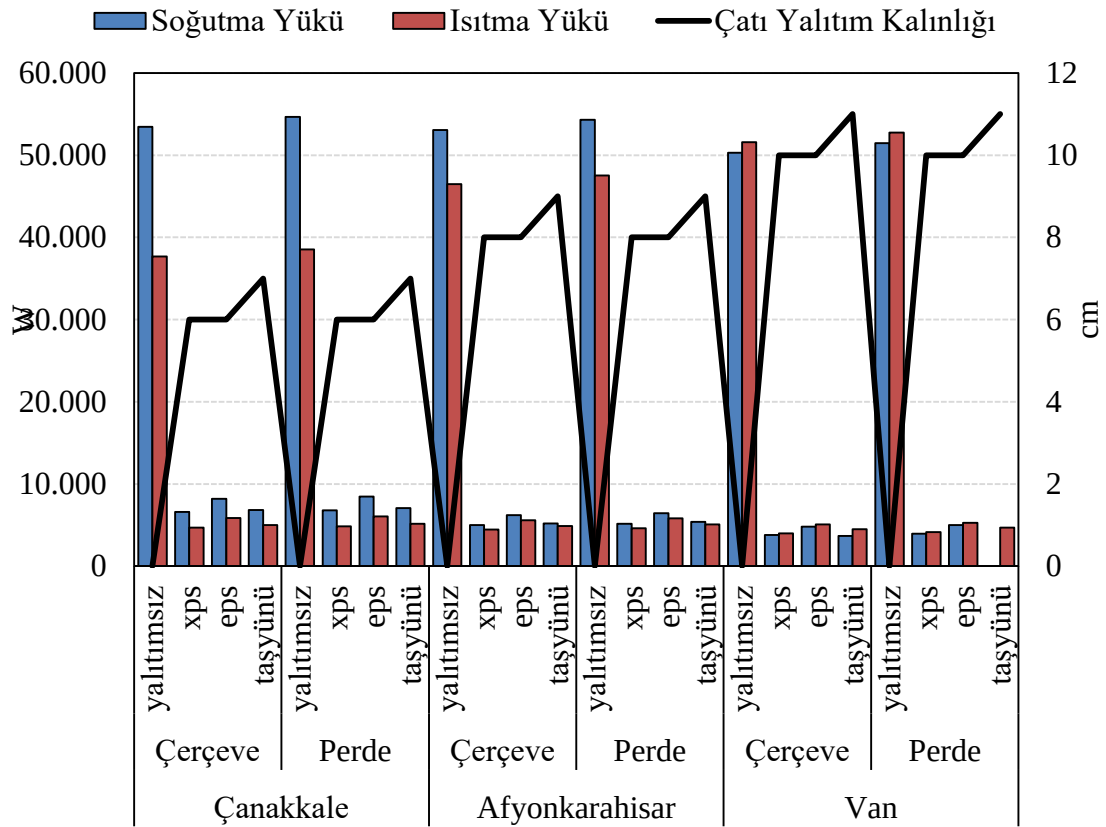
Şekil 4.12’de tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum eps yalıtım kalınlığı 10 cm olurken gaz betonda bu değer 5 cm olmaktadır. Tuğla duvarın eps birim

maliyeti 4,56 birim iken gaz betonun maliyeti 2.03 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma eps yalıtım malzemesi açısından %55,48 oranındadır.

Tuğla duvarda uygulanmak üzere hesaplanan optimum taş yünü yalıtım kalınlığı 10 cm olurken gaz beton bu değer 5 cm olmaktadır. Tuğla duvarın taş yünü birim maliyeti 4,10 iken gaz betonun maliyeti 2,05 birimdir. Görüldüğü üzere yalıtım uygulamalarının yapıldığı dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda yalıtım malzemesi açısından ilk yatırım maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma Taşyünü yalıtım malzemesi açısından %50 oranındadır. Bu bulgular neticesinde, tuğla ve gaz beton uygulamalarında tuğla için gerekli yalıtım kalınlığının daha fazla olduğu görülmektedir.

4.6 Çatı Katına Göre Sıcak Çatının Soğutma ve Isıtma Yükü

Şekil 4.13’de birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen projelerin sıcak çatı uygulamalarındaki ısıtma ve soğutma yükleri ile yalıtım malzemelerinin kalınlıkları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının soğutma yükünde, %2,24 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının ısıtma yükünde, %2,21 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik ısıtma yükü 5859 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik ısıtma yükü 4689 W değeri ile xps uygulaması olmaktadır ve %19,97 oranında azalma görülmektedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik soğutma yükü 8199 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik soğutma yükü 6581 W değeri ile xps uygulaması olmaktadır ve % 19,73 oranında azalma görülmektedir. Yalıtımsız ve yalıtımlı yapıların maksimum ve minimum ısıtma yükleri karşılaştırıldığında %87,83 oranında azalma sağlanmaktadır; soğutma yükleri için bu oran %87,96 olmaktadır.



Şekil 4.13 Üç bölge için sıcak çatı olarak modellenen yapıların çatı katına göre soğutma ve ısıtma yükü.

Şekil 4.13’de ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen projelerin sıcak çatı uygulamalarındaki ısıtma ve soğutma yükleri ile yalıtım malzemelerinin kalınlıkları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının soğutma yükünde, %2.26 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçeveli sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının ısıtma yükünde, %2.22 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik ısıtma yükü 5604 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik ısıtma yükü 4449 W değeri ile xps uygulaması olmaktadır ve % 20.61 oranında azalma görülmektedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçeveli sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik soğutma yükü 6221 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik

soğutma yükü 4995 W değeri ile xps uygulaması olmaktadır ve % 19,71 oranında azalma görülmektedir. Yalıtımsız ve yalıtımlı yapıların maksimum ve minimum ısıtma yükleri karşılaştırıldığında %90,64 oranında azalma sağlanmaktadır; soğutma yükleri için bu oran %90.80 olmaktadır.

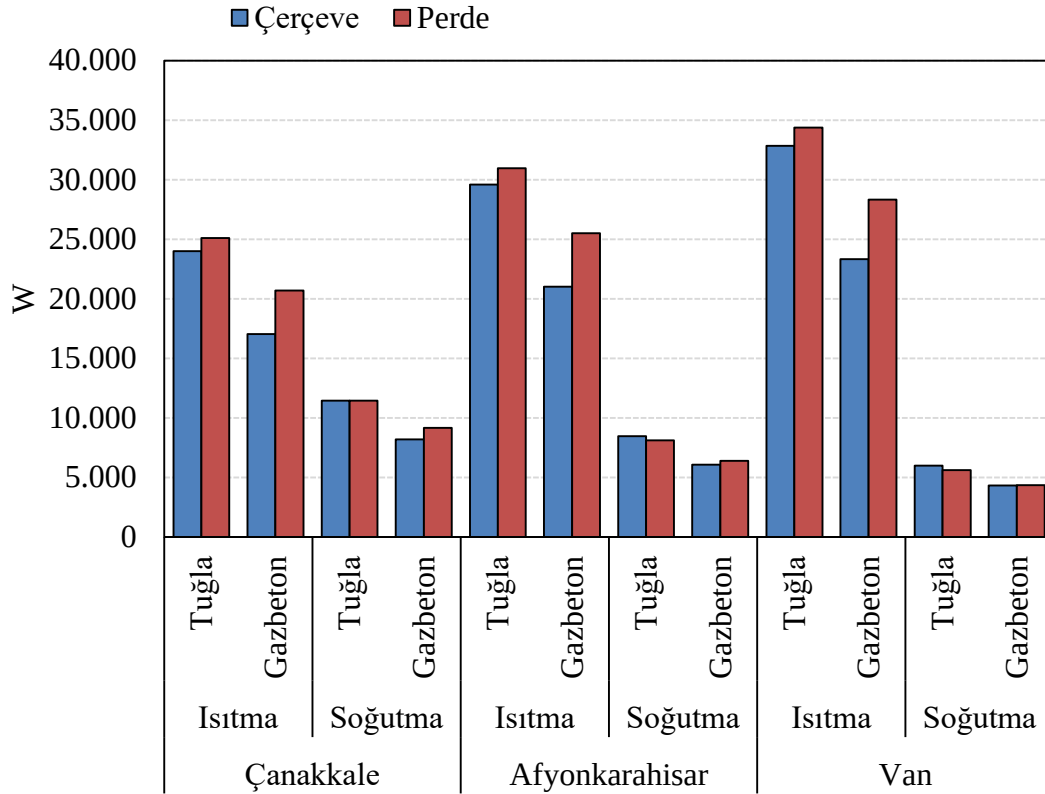
Şekil 4.13’de üçüncü bölge olarak seçilen ve Van şehri için modellenen projelerin sıcak çatı uygulamalarındaki ısıtma ve soğutma yükleri ile yalıtım malzemelerinin kalınlıkları bulunmaktadır. Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçevesi sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının soğutma yükünde, %2,25 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapılmadığı perdeli sistemler yerine çerçevesi sistemlerin seçildiği sıcak çatı uygulamalarının yapıldığı projelerin çatı katlarının ısıtma yükünde, %2,21 oranında azalma görülmektedir (Çizelge 4.14). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçevesi sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik ısıtma yükü 5068 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik ısıtma yükü 4002 W değeri ile xps uygulaması olmaktadır ve %21,03 oranında azalma görülmektedir. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı çerçevesi sistemler arasından çatı katlarında maksimum pik soğutma yükü 4798 w değeri ile eps uygulamaları olurken minimum pik soğutma yükü 3693 W değeri ile Taşyünü uygulaması olmaktadır ve %23,03 oranında azalma görülmektedir. Yalıtımsız ve yalıtımlı yapıların maksimum ve minimum ısıtma yükleri karşılaştırıldığında %92,42 oranında azalma sağlanmaktadır; soğutma yükleri için bu oran %92,82 olmaktadır.

Çizelge 4.14 Seçilen bölgeler için modellenen yapıların sıcak çatı uygulamalarında ısıtma ve soğutma yüklerindeki azalma oranı.

Bölge	Yalıtım Durumu	Çatı tipi	Taşıyıcı sistem tercihi	Isıtma yükünde azalma oranı (W)	Soğutma yükünde azalma oranı (%)
Çanakkale	Yalıtımsız	Sıcak Çatı	Perdeli sistemler yerine çerçevesi sistemlerin tercih edildiği durum	2,21	2,24
Afyonkarahisar				2,22	2,26
Van				2,21	2,25

4.7 Seçilen Bölgeler İçin Tasarlanan Modellerin Karşılaştırılması

Şekil 4.14'te seçilen üç bölge için gerekli ısıtma ve soğutma yükleri bulunmaktadır. Bu şekilde 3. katlar dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çizelgede, seçilen birinci bölge için tasarlanan yapılar ile yalıtımsız olarak modellenen yapılar karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4.14 Yalıtımsız binalar arasından perdeli ve çerçeveli sistemlerin ısıtma ve soğutma yükleri.

Şekil 4.14'te gösterilen Çanakkale şehrinde, dış duvarı tuğla olarak modellenen çerçeveli ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 23990 W ve 25103 W değerinde iken soğutma yükleri 11450 W ve 11438 W değerindedir. Dış duvarı gaz beton olarak modellenen çerçeveli ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 17046 W ile 20683 W değerleri arasındayken soğutma yükleri 8205 W ile 9155 W değerleri arasındadır. Görüldüğü üzere dış duvarları tuğla olarak atanan yapılarda, çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih edildiği durumlarda ısıtma yükünde %4,64 oranında artış ve soğutma yükünde %0,1 oranında azalma bulunmaktadır (Çizelge 4.15). Dış duvarları gazbeton olarak atanan durumlarda, çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih

edildiği durumlarda ısıtma yükünde %21,34 oranında artış ve soğutma yükünde %11,58 oranında artma bulunmaktadır (Çizelge 4.15).

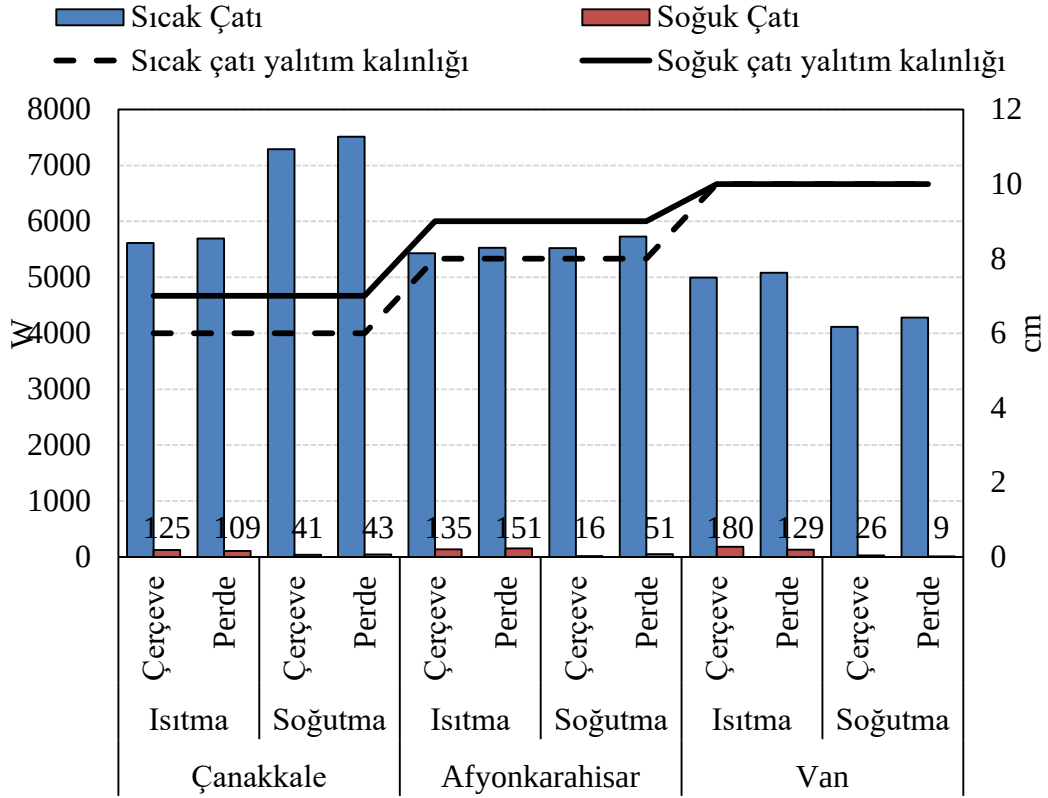
Şekil 4.14'te gösterilen Afyonkarahisar şehrinde, dış duvarı tuğla olarak modellenen çerçeve ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 29587 W ile 30961 W değer aralığındayken, soğutma yükleri 8467 W ile 8111 W değer arasındadır. Dış duvarı gaz beton olarak modellenen çerçeve ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 21023 W ile 25510 W değer aralığındayken, soğutma yükleri 6079 W ile 6339 W değerleri arasındadır. Görüldüğü üzere dış duvarları tuğla olarak atanan yapılarda, çerçeve sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih edildiği durumlarda ısıtma yükünde %4,64 oranında artış ve soğutma yükünde %4,20 oranında azalma bulunmaktadır (Çizelge 4.15). Dış duvarları gazbeton olarak atanan durumlarda, çerçeve sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih edildiği durumlarda ısıtma yükünde %21,34 oranında artış ve soğutma yükünde %4,28 oranında artma bulunmaktadır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15 Yalıtımsız binalar için çerçeve sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.

Bölge	Yalıtım Durumu	Taşıyıcı sistem tercihi	Dış Duvar	Isıtma yükündeki değişim oranı (W)	Soğutma yükündeki değişim oranı (%)
Çanakkale	Yalıtımsız	Çerçeve sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda	Tuğla	4,64 Artış	0,1 Azalma
Afyonkarahisar			Gaz beton	21,34 Artış	11,58 Artış
			Tuğla	4,64 Artış	4,20 Azalma
			Gaz beton	21,34 Artış	4,28 Artış
Van			Tuğla	4,64 Artış	6,42 Azalış
			Gazbeton	21,34 Artış	0,72 Artış

Şekil 4.14'te gösterilen Van şehrinde, dış duvarı tuğlayla modellenen çerçeve ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 32839 ile 34363 W değer aralığındayken, soğutma yükleri 5994 ile 5609 W değerleri arasındadır. Dış duvarı gaz beton olarak modellenen çerçeve ve perdeli sistemlerin ısıtma yükleri 23334 ile 28313 W değer aralığındayken soğutma yükleri 4329 ile 4360 W arasındadır. Görüldüğü üzere dış duvarları tuğla olarak atanan yapılarda, çerçeve sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih edildiği

durumlarda ısıtma yükünde %4,64 oranında artış ve soğutma yükünde %6,42 oranında azalma bulunmaktadır (Çizelge 4.15). Dış duvarları gazbeton olarak atanan durumlarda, çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin tercih edildiği durumlarda ısıtma yükünde %21,34 oranında artış ve soğutma yükünde %0,72 oranında artma bulunmaktadır (Çizelge 4.15).



Şekil 4.15 Çatı katlarındaki toplam ısıtma ve soğutma yük ortalamalarının verileri.

Şekil 4.15'te üç şehirde bulunan çatı katlarındaki toplam ısıtma ve soğutma yüklerinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Bu ortalamada, perdeli ve çerçeveli sistemler açısından ayrı ayrı hesaplanarak oluşturulan sütunlar ile sıcak ve soğuk çatı uygulamalarında kullanılan optimum yalıtım kalınlıkları görülmektedir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere, Çanakkale şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında ısıtma yükü 5615 W değerindeyken, taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında bu değer 5695 W'tır. Çanakkale şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 7288 W

değerindeyken, taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 7515 W değerindedir. Bu durumu sağlayan sıcak çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 6 cm'dir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Çanakkale şehri için sıcak çatı uygulamalarında çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin kullanılması halinde ısıtma yükü %1,42 oranında ve soğutma yükü %3,11 oranında artış mevcuttur (Çizelge 4.16). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak çerçeveli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %29,80 oranında fazladır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak perdeli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %31,96 oranında fazladır.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Çanakkale şehri için çerçeveli sistemle modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 125 W değerindeyken, perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 109 W değerindedir. Çerçeveli sistem ile modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 41 W değerindeyken, perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 43 W değerindedir. Bu durumu sağlayacak soğuk çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 7 cm'dir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere, Afyonkarahisar şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında ısıtma yükü 5428 W değerindeyken, taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında ısıtma yükü 5528 W değerindedir. Afyonkarahisar şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 5524 W değerindeyken, taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 5726 W değerindedir. Bu durumu sağlayan sıcak çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 8 cm'dir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Afyonkarahisar şehri için sıcak çatı uygulamalarında çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin kullanılması halinde ısıtma yükü %1,84

oranında ve soğutma yükü %3,66 oranında artış göstermektedir (Çizelge 4.16). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak çerçeveli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %1,84 oranında fazladır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak perdeli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %3,58 oranında fazladır.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Afyonkarahisar şehri için çerçeveli sistem ile modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 135 W değerindeyken, perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 151 W değerindedir. Çerçeveli sistem ile modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 16 W değerindeyken perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 51 W değerindedir. Bu durumu sağlayacak soğuk çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 9 cm'dir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere, Van şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında ısıtma yükü 4995 W değerinde iken taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında ısıtma yükü 5079 W değerindedir. Van şehrindeki taşıyıcı sistemin çerçeve seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 4112 W değerinde iken taşıyıcı sistemin perdeli seçildiği sıcak çatı uygulamalarında soğutma yükü 4278 W değerindedir. Bu durumu sağlayan sıcak çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Van şehri için sıcak çatı uygulamalarında çerçeveli sistemler yerine perdeli sistemlerin kullanılması halinde ısıtma yükü %1,68 oranında ve soğutma yükü %4,04 oranında artış göstermektedir (Çizelge 4.16). Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak çerçeveli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %17,68 oranında azdır. Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve taşıyıcı sistem olarak perdeli sistemlerin tercih edildiği binaların çatı katlarında, ihtiyaç duyulan soğutma yük ortalamaları ihtiyaç duyulan ısıtma yüklerine kıyasla %15,77

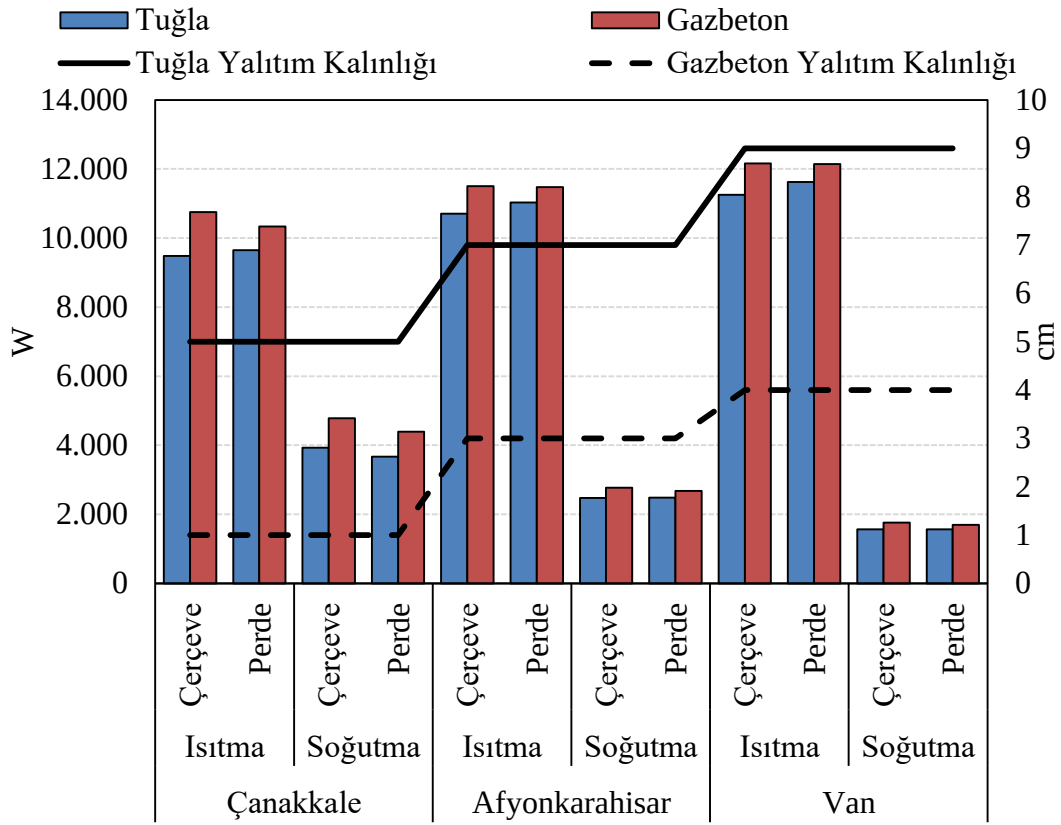
oranında azdır.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Van şehri için çerçevesi sistem ile modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 180 W değerindeyken, perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında ısıtma yükü 129 W değerindedir. Çerçevesi sistem ile modellenen projelerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 26 W değerindeyken, perdeli sistemlerin soğuk çatı uygulamalarında soğutma yükü 9 W değerindedir. Bu durumu sağlayacak soğuk çatı uygulamalarında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir.

Çizelge 4.16 Yalıtımlı binaların çerçevesi sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda çatı katları için ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.

Bölge	Yalıtım Durumu	Çatı Tipi	Taşıyıcı sistem tercihi	Isıtma yükünde değişim oranı (%)	Soğutma yükünde değişim oranı (%)
Çanakkale	Yalıtımlı	Sıcak Çatı	Çerçevesi sistem yerine	1,42 Artış	3,11 Artış
Afyonkarahisar			perdeli sistemin	1,84 Artış	3,66 Artış
Van			kullanılması halinde	1,68 Artış	4,04 Artış

Şekil 4.16'da modellerin 3. katları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Seçilen bu üç şehirde, gaz beton ve tuğla duvarlarının yalıtım kalınlıkları ile ısıtma ve soğutma yükleri bulunmaktadır. Çanakkale şehrindeki çerçevesi sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile oluşan ısıtma yükü 9480 W olurken, gazbeton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla ısıtma yükü değeri 10750 W'a kadar çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan ısıtma yükü 9645 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile ısıtma yükü değeri 10335 W'a çıkmaktadır. Çerçevesi sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 3932 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile soğutma yükü değeri 4783 W'a çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 3669 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile soğutma yükü değeri 4394 W'a kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.16 Yapı modellerinin üçüncü katlarındaki ortalama ısıtma ve soğutma yükleri ile yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıklarının verileri.

Şekil 4.16’da görüldüğü üzere, Çanakkale şehrindeki binalar için dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %1,74 oranında artış mevcuttur. Dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perde tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının soğutma yüklerinde %6,69 oranında azalma mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %3,86 oranında azalma mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda 3. katlarının soğutma yüklerinde %8,13 oranında azalma mevcuttur (Çizelge 4.17). Çerçeve sistemler olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda ısıtma yüklerinde %13,40

oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %80 oranında azalma mevcuttur. Perdeli sistem olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda duş duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumların ısıtma yükü %7,15 oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %80 oranında azaldığı görülmektedir (Çizelge .18).

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere, Afyonkarahisar şehrindeki çerçevesiz sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan ısıtma yükü 10707 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla ısıtma yükü değeri 11501 W'a çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan ısıtma yükü 11027 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla ısıtma yükü 11478 W değerine çıkmaktadır. Çerçevesiz sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 2477 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla soğutma yükü 2774 W değerine çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 2485 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla soğutma yükü değeri 2680 W'a çıkmaktadır.

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere, Afyonkarahisar şehrindeki binalar için dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %2,99 oranında artış mevcuttur. Dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perde tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının soğutma yüklerinde %0,32 oranında artış mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %0,2 oranında azalma mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda 3. katlarının soğutma yüklerinde %3,39 oranında azalma mevcuttur (Çizelge 4.17). Çerçevesiz sistemler olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda ısıtma yüklerinde %7,42 oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %57,14 oranında azalma mevcuttur.

Perdeli sistem olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumların ısıtma yükü %4,09 oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %57,14 oranında azaldığı görülmektedir (Çizelge .18).

Şekil 4.16’da görüldüğü üzere, Van şehrindeki çerçeveli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan ısıtma yükü 11257 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile ısıtma yükü değeri 12162 W’a çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan ısıtma yükü 11625 W olurken, gaz betondaki yalıtım uygulamaları ile ısıtma yükü değeri 12143 W’a çıkmaktadır. Çerçeveli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 1569 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile soğutma yükü değeri 1758 W’a çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin tuğla duvarlarında yapılan yalıtım uygulamalarıyla oluşan soğutma yükü 1565 W olurken, gaz beton duvarlarında yapılan yalıtım uygulamaları ile soğutma yükü 1695 W değerine çıkmaktadır.

Şekil 4.16’da görüldüğü üzere, Van şehrindeki binalar için dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %3,23 oranında artış mevcuttur. Dış duvarların tuğla seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perde tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının soğutma yüklerinde %0,25 oranında azalma mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda yapıların 3. katlarının ısıtma yüklerinde %0,17 oranında azalma mevcuttur. Dış duvarların gazbeton seçildiği ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı projeler arasından taşıyıcı sistemlerin çerçeve yerine perdeli tercih edildiği durumlarda 3. katlarının soğutma yüklerinde %3,58 oranında azalma mevcuttur (Çizelge 4.17). Çerçeveli sistemler olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda dış duvarların tuğla yerine gazbeton seçildiği durumlarda ısıtma yüklerinde %8,03 oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %55,56 oranında azalma mevcuttur. Perdeli sistem olarak tasarlanan ve yalıtım uygulamalarının yapıldığı durumlarda dış duvarların tuğla

yerine gazbeton seçildiği durumların ısıtma yükü %4,49 oranında artış gözlenirken yalıtım kalınlığının %55,56 oranında azaldığı görülmektedir (Çizelge .18).

Çizelge 4.17 Yalıtımlı binaların çerçeveli sistem yerine perdeli sistemin tercih edildiği durumlarda 3. katlarındaki ısıtma ve soğutma yük değişim oranları.

Bölge	Yalıtım durumu	Taşıyıcı sistem tercihi	Dış duvar	Isıtma yükünde değişim oranı (%)	Soğutma yükünde değişim oranı (%)
Çanakkale	Yalıtımlı	Çerçeveli	Tuğla	1,74 Artış	6,69 Azalma
		sistem yerine	Gaz beton	3,86 Azalma	8,13 Azalma
Afyonkarahisar		perdeli	Tuğla	2,99 Artış	0,32 Artış
		sistemin	Gaz beton	0,2 Azalma	3,39 Azalma
Van		kullanılması	Tuğla	3,23 Artış	0,25 Azalma
		halinde	Gaz beton	0,17 Azalma	3,58 Azalma

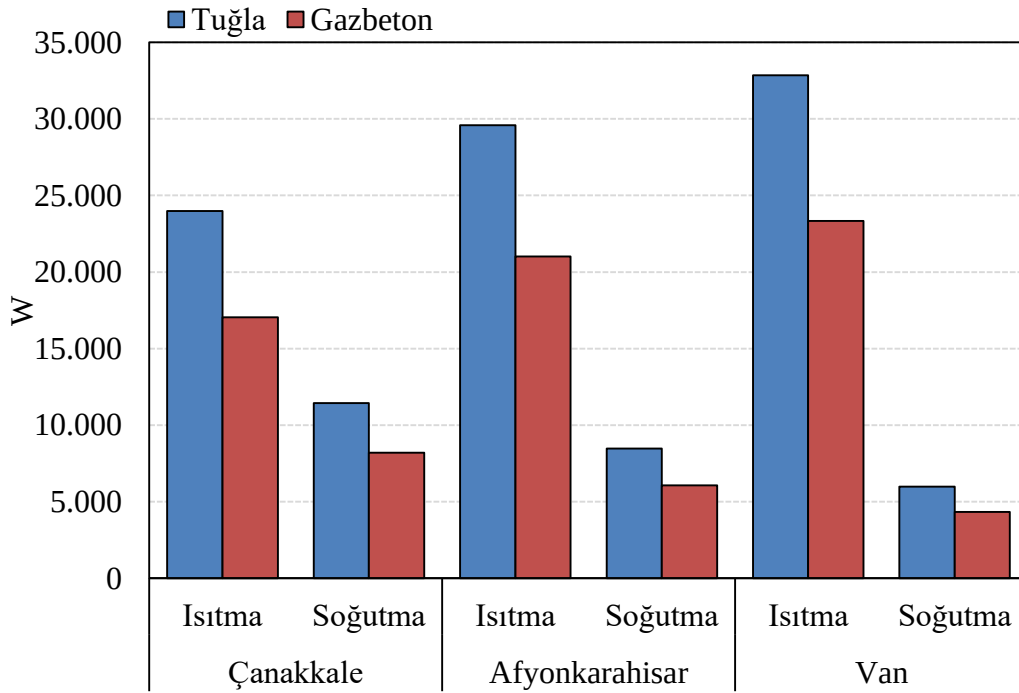
Çizelge 4.18 Yalıtımlı binaların tuğla yerine gaz beton kullanılması halinde 3. katlarındaki ısıtma yük değişimi ve yalıtım kalınlığındaki değişim oranı.

Bölge	Yalıtım Durumu	Dış duvar tercihi	Taşıyıcı Sistem	Isıtma yükündeki değişim oranı (%)	Yalıtım kalınlığındaki değişim oranı (%)
Çanakkale	Yalıtımlı	Tuğla yerine gaz beton kullanılması halinde	Çerçeveli sistem	13,40 Artış	80 Azalma
			Perdeli sistem	7,15 Artış	
Afyonkarahisar			Çerçeveli sistem	7,42 Artış	57,14 Azalma
			Perdeli sistem	4,09 Artış	
Van			Çerçeveli sistem	8,03 Artış	55,56 Azalma
			Perdeli sistem	4,49 Artış	

Şekil 4.17'deki modeller, çerçeveli sistemlerin 3. katları dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Seçilen bu üç şehirde, gaz beton ve tuğla duvarlarının yalıtımsız uygulamalarının ısıtma ve soğutma yükleri bulunmaktadır.

Şekil 4.17'de görüldüğü üzere, Çanakkale şehrinde modellenen çerçeveli sistemlerin

yalıtımsız yapılarından olan tuğla duvarın ısıtma yükü 23990 W değerindeyken, gaz beton duvarın ısıtma yükü 17046 W değerindedir. Çerçevesi sistem olarak tasarlanan yalııtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde ısıtma yüklerinde %28,95 oranında azalma mevcuttur. Diğer yandan tuğla duvarın soğutma yükü 11450 W değerini alırken gaz beton duvarın soğutma yükünün 8205 W değerini aldığı görülmektedir. Çerçevesi sistem olarak tasarlanan yalııtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde soğutma yüklerinde %28,34 oranında azalma mevcuttur.

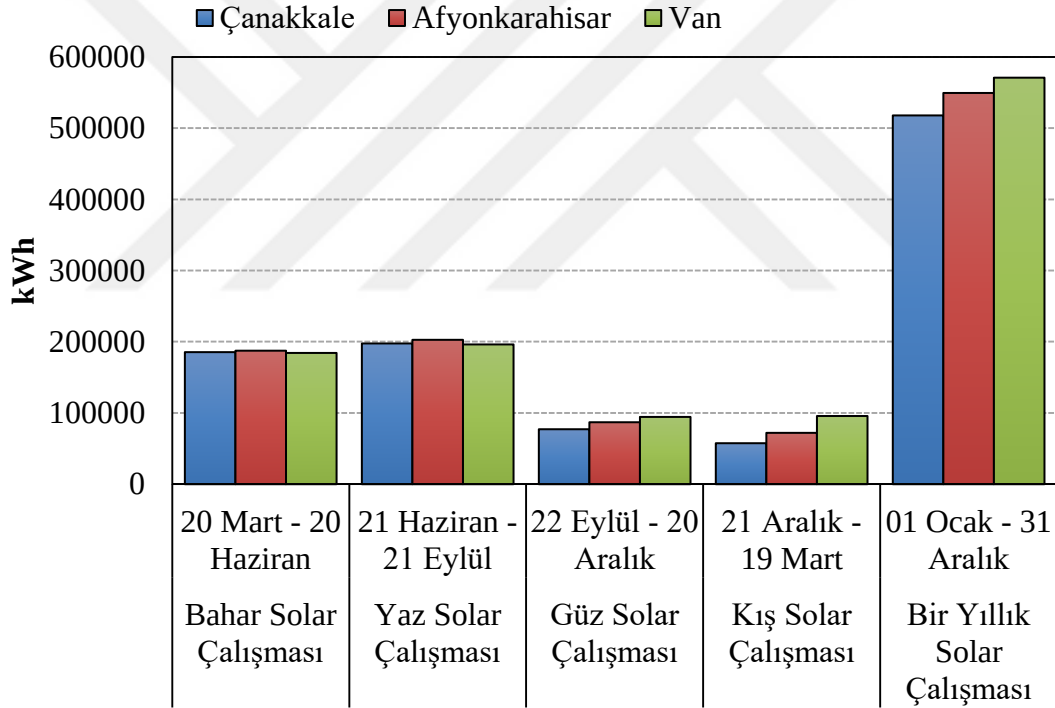


Şekil 4.17 Seçilen bölgeler için duvar tipi değiştirilerek yalııtımsız tasarlanan yapıların ısıtma ve soğutma yükleri.

Şekil 4.17’de Afyonkarahisar şehrinde modellenen çerçevesi sistemlerin yalııtımsız yapılarından olan tuğla duvarın ısıtma yükü 29587 W değerindeyken, gaz beton duvarın ısıtma yükü 21023 W değerindedir. Çerçevesi sistem olarak tasarlanan yalııtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde ısıtma yüklerinde %29,25 oranında azalma mevcuttur. Diğer taraftan tuğla duvarın soğutma yükü 8467 W değerindeyken gaz beton duvarın soğutma yükü değeri 6079 W’tır. Çerçevesi sistem olarak tasarlanan yalııtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde soğutma yüklerinde %28,20 oranında azalma mevcuttur.

Şekil 4.17’de Van şehrinde modellenen çerçeveli sistemlerin yalıtımsız yapılarından olan tuğla duvarın ısıtma yükü 32839 W değerindeyken, gaz beton duvarın ısıtma yükü 23334 W değerindedir. Çerçeveli sistem olarak tasarlanan yalıtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde ısıtma yüklerinde %29,94 oranında azalma mevcuttur. Tuğla duvarın soğutma yükü 5994 W değerindeyken gaz beton duvarın soğutma yükü değeri 4329 W’tır. Çerçeveli sistem olarak tasarlanan yalıtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde soğutma yüklerinde %27,78 oranında azalma mevcuttur.

4.8 Yapıların Bulundukları Konumlar İçin Sürdürülebilir Potansiyel Enerji Analiz Verileri



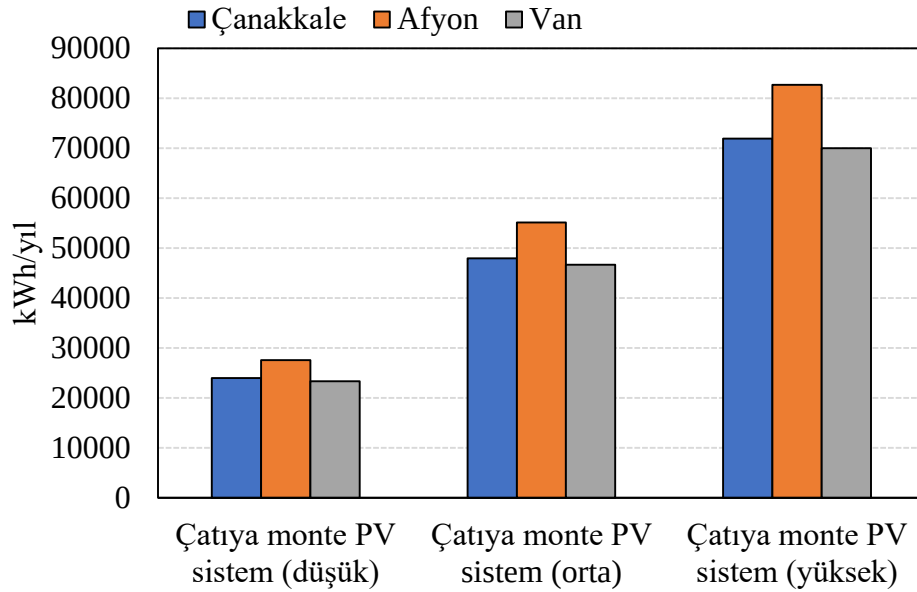
Şekil 4.18 Seçilen bölgelerin mevsimlik ve yıllık güneş analizi.

Şekil 4.18’de dört mevsimin başlangıç ve bitiş tarihleriyle birlikte, 1 yıllık toplam güneş radyasyonunun analizi görülmektedir. Çanakkale şehri için tasarlanan yapıların ilkbahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 185532 kWh, yaz mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 197729 kWh, son bahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 77219 kWh, kış mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 57589 kWh olmakta; yıllık ulaşılan toplam enerji miktarının ise

518069 kWh olduğu görülmektedir.

Şekil 4.18’de Afyonkarahisar şehri için tasarlanan yapıların ilkbahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 187565 kWh, yaz mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 202843 kWh, son bahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 87046 kWh ve kış mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 72142 kWh olmakta; yıllık ulaşılan toplam enerji miktarının 549596 kWh olduğu görülmektedir.

Şekil 4.18’de Van şehri için tasarlanan yapıların ilkbahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 184410 kWh, yaz mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 196347 kWh, son bahar mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 94517 kWh ve kış mevsiminde ulaştığı enerji miktarı 95806 kWh olmakta; yıllık ulaşılan toplam enerji miktarının 571080 kWh olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19 Seçilen bölgeler için ortalama PV güneş enerji analizi.

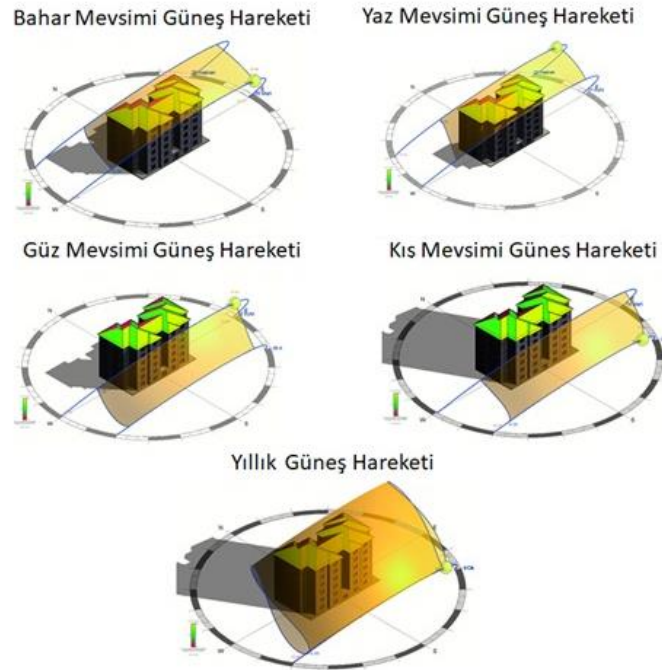
Şekil 4.19’da, güneş enerji sistemlerinde kullanılan fotovoltaiğin (PV) çatı yüzeyindeki kullanımıyla üretililecek ortalama enerji miktarı gösterilmektedir. Ayrıca düşük, orta ve yüksek verimli sistemler için PV veriminin %5, %10 ve %15 olduğu varsayılarak oluşturulmuştur.

Şekil 4.19’da Çanakkale şehrinde düşük PV sistem uygulamalarında 23957 kWh/yıl, orta PV uygulamalarında 47914 kWh/yıl, yüksek PV sistem uygulamalarında ise 71872 kWh/yıl olduğu görülmektedir.

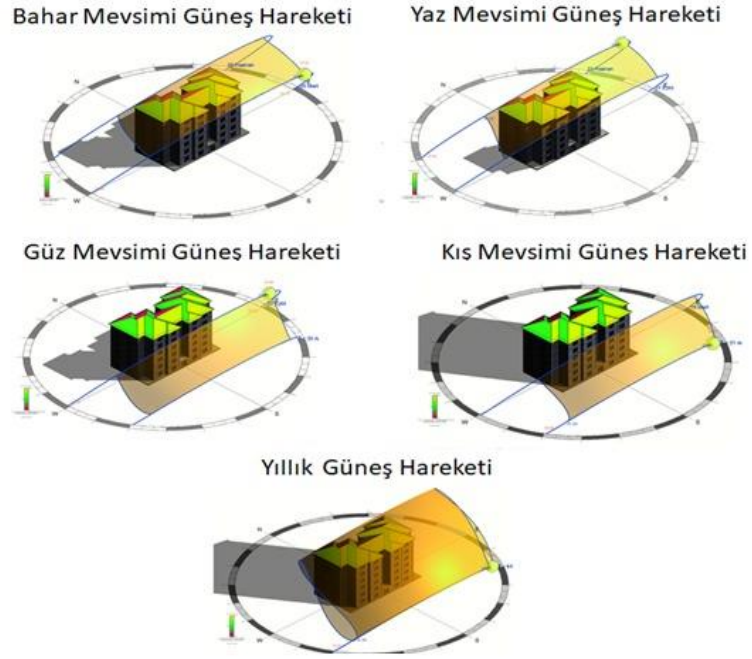
Şekil 4.19’da Afyonkarahisar şehrinde düşük PV sistem uygulamalarında 27557 kWh/yıl, orta PV uygulamalarında 55115 kWh/yıl, yüksek PV sistem uygulamalarında ise 82672 kWh/yıl olduğu görülmektedir.

Şekil 4.19’da Van şehrinde düşük PV sistem uygulamalarında 23327 kWh/yıl, orta PV uygulamalarında 46653 kWh/yıl ve yüksek PV sistem uygulamalarında 69980 kWh/yıl olduğu görülmektedir.

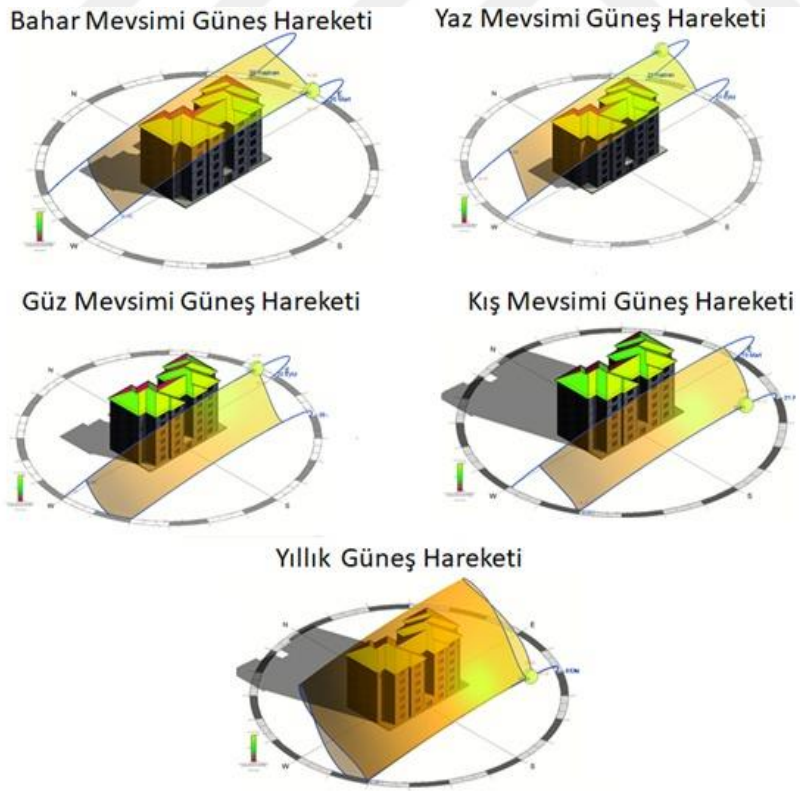
Resim 4.1’de birinci bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotasını; Resim 4.2’de ikinci bölge olarak seçilen ve Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotasını; Resim 4.3’te üçüncü bölge olarak seçilen ve Çanakkale şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotasını vermektedir.



Resim 4.1 Çanakkale şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.

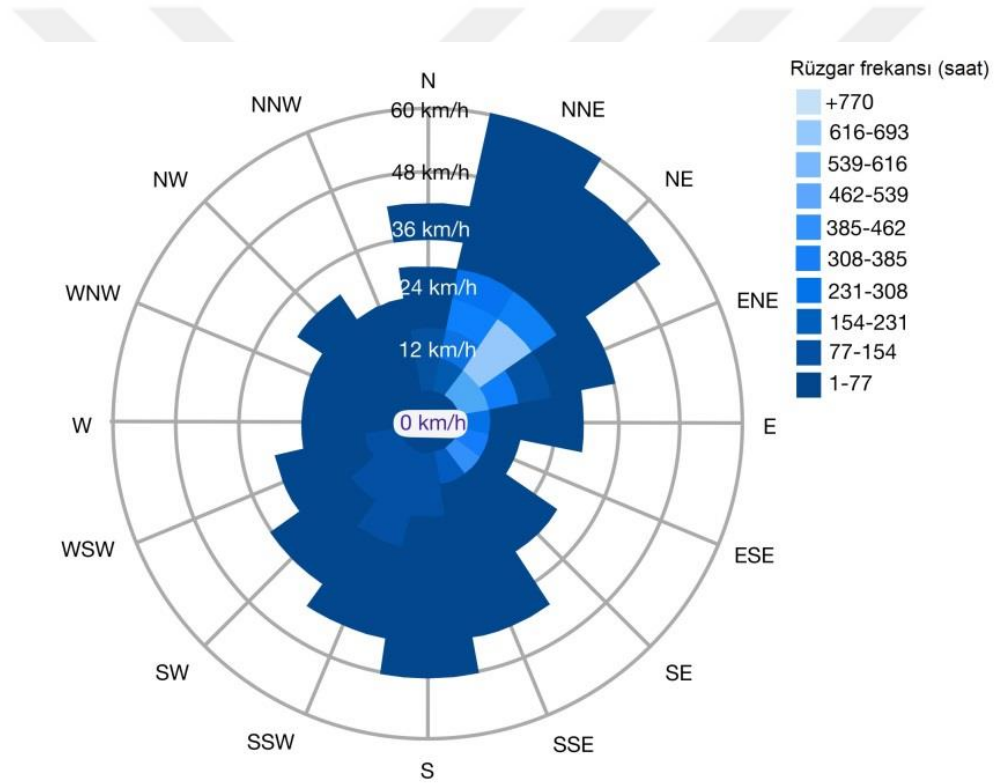


Resim 4.2 Afyonkarahisar şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.



Resim 4.3 Van şehri için modellenen yapıların mevsimsel güneş rotası.

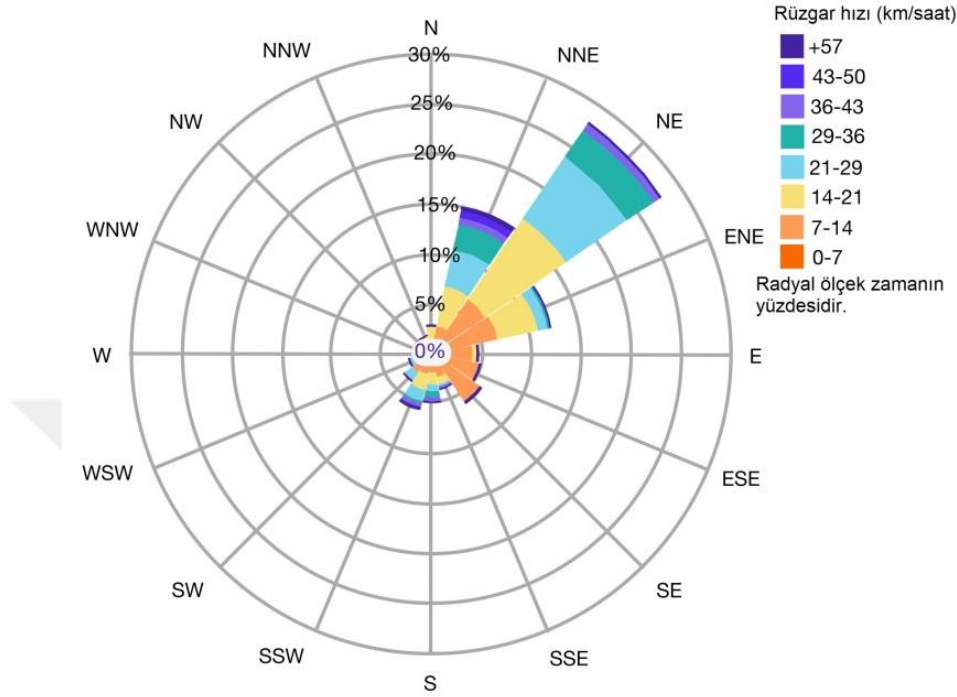
Enerji etkin yapı tasarım ilkelerinden biride; yapıların kullanımı sırasında ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabiliyor olmasıdır. Bu sebep ile oluşturulan yapı modellerinin konumları göz önüne alınarak potansiyel enerjileri değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da yapıların bulundukları konumlar göz önüne alınarak yenilenebilir enerji sistemlerinden güneş enerjisi değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerin bir diğeri de rüzgar enerjisidir. Bu sebeple bölgelerin rüzgar frekansı ve hızı göz önüne alınarak 4.57m çapında olan bir rüzgâr türbininden sağlanan enerji miktarı değerlendirilmektedir. Bu sayede yapıların kullanımında ihtiyaç duyulan enerjinin ne kadarının sürdürülebilir enerjiler ile karşılanacağı kestirilebilmektedir.



Şekil 4.20 Çanakkale şehri için yapıların bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.

Şekil 4.20’de birinci bölge olarak seçilen Çanakkale şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr frekansı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit rüzgâr frekansını gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın frekansını vermektedir. Radyal ölçekte dışa doğru hareket ettikçe, o yönden gelen rüzgârla ilişkili frekans artar. En az rüzgâr frekansı 12 km/h ile doğu- güneydoğu (ESE)

yönünde bulunurken en fazla rüzgâr frekansı 60 km/h ile kuzey-kuzeydoğu (NNE) yönünde bulunmaktadır.

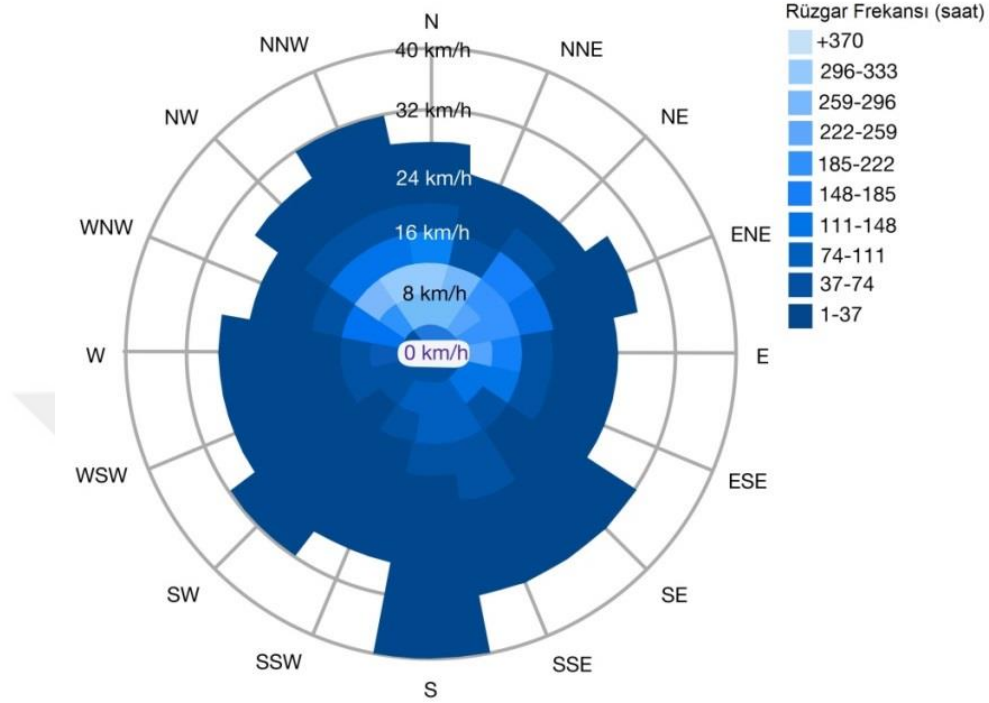


Şekil 4.21 Çanakkale şehri için yapıların bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.

Şekil4.21’de birinci bölge olarak seçilen Çanakkale şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr hızı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit rüzgâr hızı gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın hızını vermektedir. Rüzgâr hızı yönleri ile birlikte daire aralıklarında radyal ölçeğine göre belirlenen renkler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Daire etrafında bulunan %'lik değerler rüzgârın o yönde estiği zamanın yüzdesini vermektedir. Yıllık esen rüzgârın %25’inden fazlası kuzey doğu (NE) yönünden gelmektedir.

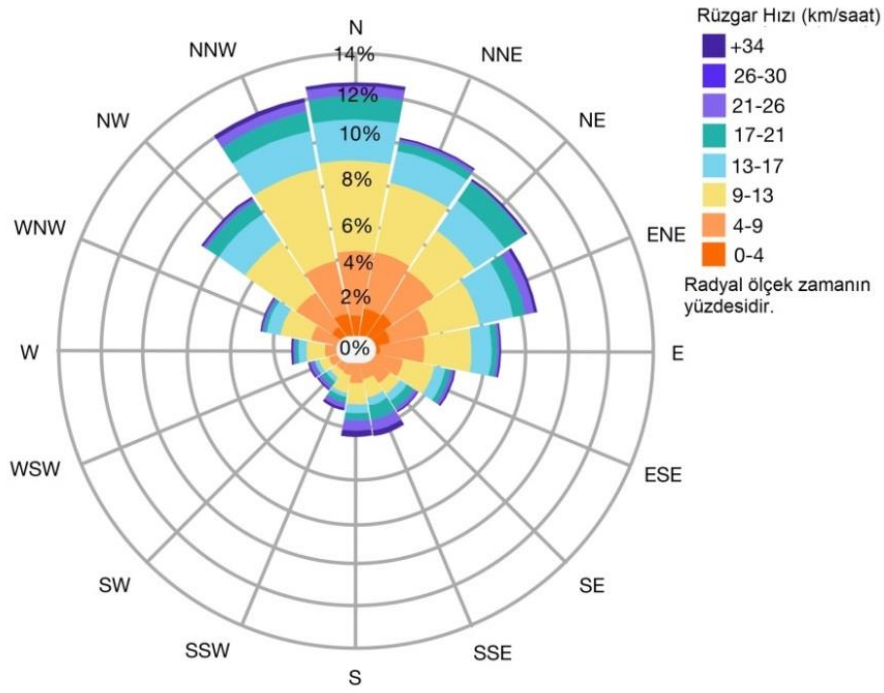
Şekil 4.22’de ikinci bölge olarak seçilen Afyonkarahisar şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr frekansı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit rüzgâr frekansını gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın frekansını vermektedir. Radyal ölçekte dışa doğru hareket ettikçe, o yönden gelen rüzgârla ilişkili frekans artar. En az rüzgâr frekansı 24 km/h ile doğu- güneydoğu (ESE),

doğu (E), kuzey doğu (NE) ve kuzey kuzey-doğu (NNE) yönlerinde bulunurken en fazla rüzgâr frekansı 40 km/h ile güney (S) yönünde bulunmaktadır.

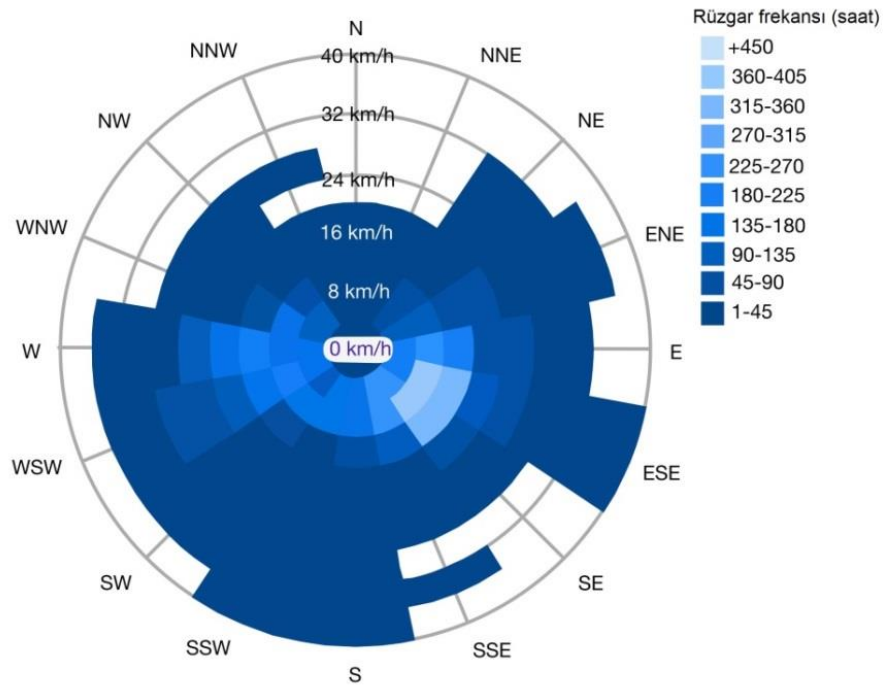


Şekil 4.22 Afyonkarahisar şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.

Şekil 4.23’de ikinci bölge olarak seçilen Afyonkarahisar şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr hızı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit rüzgâr hızı gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın hızını vermektedir. Rüzgâr hızı yönleri ile birlikte daire aralıklarında radyal ölçeğine göre belirlenen renkler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Daire etrafında bulunan %’lik değerler rüzgârın o yönde estiği zamanın yüzdesini vermektedir. Yıllık esen rüzgârın %12’sinden fazlası kuzey (N) yönünden gelmektedir. Görüldüğü üzere kuzey yönlü rüzgârların hızı güney yönü rüzgârlara göre daha yüksektir.



Şekil 4.23 Afyonkarahisar şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.

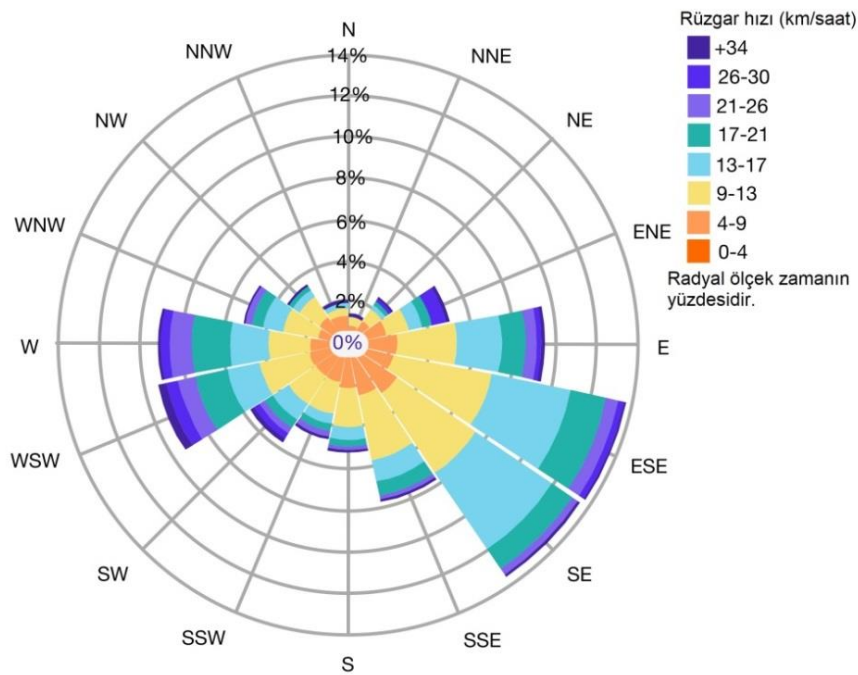


Şekil 4.24 Van şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr frekansı.

Şekil 4.24'te üçüncü bölge olarak seçilen Van şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr frekansı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit

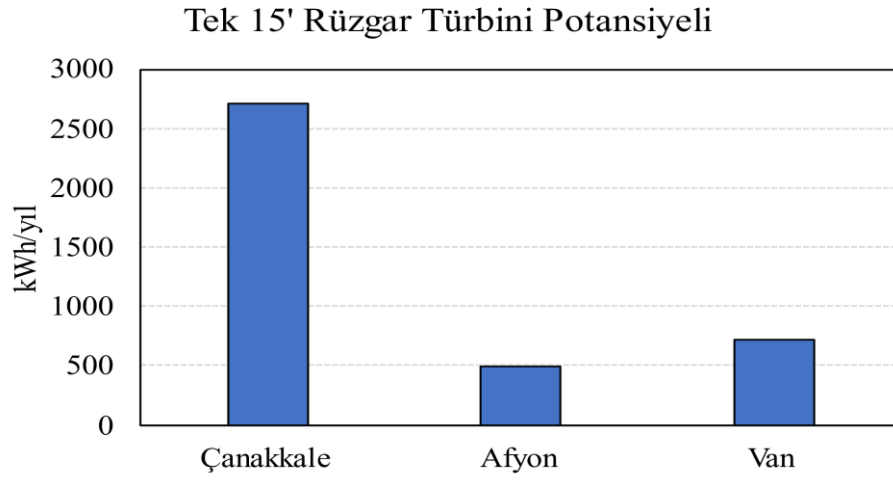
rüzgâr frekansını gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın frekansını vermektedir. Radyal ölçekte dışa doğru hareket ettikçe, o yönden gelen rüzgârla ilişkili frekans artar. En az rüzgâr frekansı 24 km/h'den az Kuzey kuzey-doğu (NNE), Kuzey ve kuzey kuzey-batı (NNW) yönlerinde bulunurken en fazla rüzgâr frekansı 40 km/h ile güney (S) ve güney güney-batı (SSW) yönünde bulunmaktadır.

Şekil 4.25'te üçüncü bölge olarak seçilen Van şehri için tasarlanan yapıların konumları dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr hızı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere Revit rüzgâr hızı gösterimini 16 rüzgârlı pusula gülünde her yönde esen rüzgârın hızını vermektedir. Rüzgâr hızı yönleri ile birlikte daire aralıklarında radyal ölçeğine göre belirlenen renkler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.



Şekil 4.25 Van şehri için yapının bulunduğu konumdaki rüzgâr hızı.

Şekil 4.25'te daire etrafında bulunan %'lik değerler rüzgârın o yönde estiği zamanın yüzdesini vermektedir. Yıllık esen rüzgârın %12'sinden fazlası doğu güney-doğu (ESE) ve güney doğu (SE) yönlerinden gelmektedir. Görüldüğü üzere güney yönlü rüzgârların hızı kuzey yönü rüzgârlara göre daha yüksektir.



Şekil 4.26 Seçilen bölgeler için rüzgar enerji verileri.

Şekil 4.26’da, rüzgâr enerjisi kullanılarak üretilebilecek tahmini yıllık enerji miktarını vermektedir. 4.57m çapında olan bir rüzgâr türbininden sağlanan enerji miktarı Çanakkale için 2709 kWh/yıl, Afyon için 499 kWh/yıl ve Van için 724 kWh/yıl’dır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı neticesinde ortaya çıkan karbon emisyonu küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Yapı sektörü toplam enerji tüketiminin üçte birinden, doğrudan ya da dolaylı olarak karbon emisyonlarının %40'ından sorumludur. Ayrıca ülkemizde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı başka ülkelerden ithal edilmekte ve ciddi ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerji miktarının azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bu hususlar dikkate alındığında, sürdürülebilir yapı modelleri içinde yer alan enerji etkin yapı tasarımları; binalarda bulunan ısıtma ve soğutma yük seviyelerinin düşürülmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarında azalma sağlayan, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması neticesinde çevreye en az zararı vermeyi hedefleyen bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır (Dikmen 2011).

Ülkemizde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı diğer ülkelerden ithal edilmektedir. Temin edilen bu enerji miktarının önemli bir kısmı da yapılardaki iklimsel konforu sağlamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle, gün geçtikçe gelişen ve daha işlevsel bir hale bürünen yapı malzemeleri sayesinde var olan ihtiyacı azaltabilmek mümkündür. Yalıtım malzemeleri seçilirken malzemelerin alanlarına ve amaçlarına göre tercih yapılmaktadır. Ayrıca yapılarda ısı yalıtımının sağlanması amacıyla üretilen yalıtım malzemelerinin seçimi kadar yalıtım malzemelerinin kalınlıkları da büyük önem taşımaktadır. Yalıtım malzemelerinin kalınlıkları, ülkemizde görülen iklimsel çeşitlilik sebebiyle derece gün hesap metoduna göre hesaplanarak belirlenmektedir. Bu hesap yönteminde kullanılan DG sayıları ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmaktadır. Malzemelerde bulunan yalıtım kalınlıkları; DG sayısına, duvar tiplerine ve ısı iletim katsayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yalıtım malzemelerinde bulunan ısı iletim katsayıları ile bölgelerin derece gün sayıları arttıkça yalıtım kalınlıkları da artmaktadır. Ayrıca şimdiki değer faktörü sabit tutularak hesaplanan yalıtım kalınlıkları, ülkemizde farklı değerler almaktadır (Kaynaklı ve Yamankaradeniz 2007).

Günümüzde enerji etkin yapı tasarımları, sürdürülebilir kentler için bir zorunluluk haline gelmektedir. Yapıların kullanımında ihtiyaç duyulan enerjinin asgari seviyede tutulabilmesi için yapı elemanlarının enerji açısından değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ve güçlendirme yapılması gerekmektedir. DG yöntemine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları sayesinde yapının ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duyduğu enerji azaltılmaktadır. Ayrıca azalma miktarının daha doğru değerlendirilebilmesi amacıyla geliştirilen Revit programının BIM özelliğinden yararlanılmaktadır (Marzouk vd 2021, Zhang vd 2021). Diğer taraftan yapı kabuğu kavramı, yapının ihtiyaç duyduğu enerji gereksinimlerinde önemli bir yer edinmektedir. Bu nedenle bölgeleri belirlenen yapıların derece-gün yöntemine göre optimum yalıtım kalınlıkları ve maliyet birim fiyatları belirlenmeli, yalıtım malzeme seçenekleri ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Bununla birlikte yapının bulunduğu konum dikkate alınarak oluşturulan potansiyel enerji miktarı da göz ardı edilmemelidir. Bu sayede yapının ihtiyaç duyduğu enerjinin ortalama ne kadarlık bir kısmının yenilenebilir enerjilerden sağlanacağı analiz edilebilecektir (Wang vd. 2005, Ünal vd 2006, Yılmaz 2006).

Yapı modellerinde bir veya birkaç parametre değişikliği farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin yapı malzemelerinin farklı termal özellikleri barındırmasıyla birlikte çatı, taşıyıcı ve duvar tipi değişkenleri de buna sebebiyet vermektedir. Bu nedenle yapılardaki tüm parametreler, erken kavramsal aşamadan yıkım sürecine kadar BIM aracılığı ile değerlendirilebilir (Uddin vd. 2021).

Betonarmenin ısı geçirgenlik katsayısı, tuğla ve gazbetona kıyasla daha büyük olduğundan ısı kaybı da fazla görülmektedir. Tuğla ile gazbeton karşılaştırıldığında da aynı durum geçerlidir. Tuğlanın ısı geçirgenlik katsayısı gazbetondan yüksek olduğundan ısı kaybına daha çok sebebiyet vermektedir. Yapılarda minimum ısıtma yüküne duyulan ihtiyacı, ısı geçirgenlik katsayısı tuğla ve betona göre daha az olan gazbeton sağlamaktadır. Sıcak çatı uygulamalarında yapıyı ısıtmak için ihtiyaç duyulan enerji miktarı soğuk çatıya kıyasla artmaktadır. Bu nedenle yalıtımsız yapılarda maksimum pik ısıtma yükü, taşıyıcı sistemlerden perdeli ve dış duvarı tuğla olan sıcak çatı modellerinde görülmektedir.

Enerji etkin yapı tasarım parametrelerinden biride; yapıların kullanımı sırasında ihtiyaç duyulan enerjinin sürdürülebilir enerji kaynakları ile karşılanabiliyor olmasıdır. Bu sebep ile oluşturulan yapı modellerinin konumları göz önüne alınarak potansiyel enerjileri değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında yapıların bulundukları konumlar göz önüne alındığında farklı potansiyellerinin olduğu anlaşılmıştır. Yıllık güneş analizlerine bakıldığında ekvatora daha yakın olan Van'ın diğer şehirlere kıyasla daha fazla enerji potansiyeline sahip olduğu görülmüştür Van şehri seçilen bölgeler arasında güneş enerji sistemlerinde kullanılan PV sistemlerin çatı yüzeyindeki kullanımı ile üretilebilecek enerji miktarı en az olan şehir olarak görülmektedir. Bunun nedeni PV sistemlerin ürettiği enerji miktarı birçok parametreye bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bunların arasında hava koşullarını bulunmaktadır. (Boztepe 2017).

Sonuç olarak seçilen bölgelerde, çatı ve duvar tipleri ile taşıyıcı sistem değişiklikleriyle modellenen yapılar karşılaştırılarak aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Seçilen üç bölgede uygulanan yalıtımsız projelerde; perdeli sistemler yerine çerçevesiz sistemlerin, dış duvarlarda ise tuğla yerine gazbetonun tercih edildiği durumlarda ısıtma yükünde %20 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca görülen bu azalma, optimum yalıtım uygulamalarıyla birlikte Çanakkale şehrinde %57, Afyonkarahisar şehrinde %60 ve Van şehrinde %61 değerine ulaşmıştır.
- Yapılarda bulunan çatı ve duvar tipleri ile taşıyıcı sistemler değiştirildiğinde soğutma yüklerinde de değişim görülmüştür. Bu değişim Çanakkale'den Van'a gidildikçe %6'dan %2'lere gerilemiştir. Bu gerileme optimum yalıtım uygulamalarıyla birlikte Çanakkale ve Van şehirlerinde %46, Afyonkarahisar şehrinde ise %49 olmuştur.
- Afyonkarahisar ve Van şehirlerinde tasarlanan tüm yapılarda ısıtma yükü yoğunluğu soğutma yükü yoğunluğundan büyük, Çanakkale şehrinde tasarlanan yalıtımlı yapılarda ise ısıtma yükü yoğunluğu soğutma yükü yoğunluğundan küçük olduğu görülmüştür.

- Seçilen tüm bölgelerde yapılan projelerin 3. ve 6. katlarında maksimum pik ısıtma yükü farkı 100 W civarında görülürken maksimum pik soğutma yükü farkının 66 W olduğu belirlenmiştir.
- Seçilen üç bölgede; yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarların tuğla seçildiği ve perdeli sistem yerine çerçeveli sistemin uygulandığı projelerin 3. katlarında oluşan ısıtma yükünde %4 oranında azalma görülürken soğutma yükünde bölgelere göre farklılaşan bir artış görülmüştür. Bu artış Çanakkale şehrinde %0,1, Afyonkarahisar şehrinde %4, Van şehrinde ise %6 civarındadır.
- Seçilen üç bölgede; yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, dış duvarların gazbeton seçildiği ve perdeli sistem yerine çerçeveli sistemin uygulandığı projelerin 3. katlarında oluşan ısıtma yükünde %17 oranında azalma görülürken soğutma yükünde bölgelere göre farklılaşan bir azalma görülmektedir. Bu azalmanın Çanakkale şehrinde %10, Afyonkarahisar şehrinde %5, Van şehrinde ise %0,7 oranında olduğu hesaplanmıştır.
- Yalıtım uygulamalarının yapıldığı, dış duvarların tuğla seçildiği, çerçeveli ve perdeli sistemlerin sırayla uygulandığı projelerin 3. katlarında oluşan ısıtma yükleri karşılaştırıldığında, yalıtım malzemelerinin seçiminde oluşan farklılık sonucunda %5 ile %7'lik bir değişim elde edilmiştir. Ayrıca üç bölgede modellenen tuğla duvarın bulunduğu yapılarda, minimum duvar ısıtma yükünü xps yalıtım malzemesi sağlamıştır.
- Yalıtım uygulamalarının yapıldığı, dış duvarları gazbeton seçildiği, çerçeveli ya da perdeli sistemlerin uygulandığı projelerin 3. katlarında oluşan ısıtma yükleri karşılaştırıldığında, yalıtım malzemelerinin seçiminde oluşan farklılık sonucunda %4 ile %9'luk bir değişim elde edilmiştir. Birinci bölgede minimum duvar ısıtma yükü taşıyıcı uygulamalarıyla sağlanırken ikinci ve üçüncü bölgede minimum duvar ısıtma yükü xps yalıtım malzemesi ile sağlanmıştır.

- Dış duvarların tuğla yerine gaz beton tercih edildiği durumlarda, ilk yatırım maliyetinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın xps ve eps açısından birinci bölgede %79, ikinci bölgede %57 ve üçüncü bölgede %55 olduğu görülürken taşıyıcı açısından birinci bölgede %66, ikinci ve üçüncü bölgelerde ise %50 oranında olduğu tespit edilmiştir.
- Seçilen üç bölgede; yalıtım uygulamalarının yapılmadığı, sıcak çatı tipinin tercih edildiği ve perdeli sistem yerine çerçevesi sistemin uygulandığı projelerin çatı katlarında oluşan ısıtma ve soğutma yüklerinde %2'lik bir azalma olduğu görülmüştür.
- Yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve çerçevesi sistemlerin uygulandığı projelerin çatı katları karşılaştırıldığında gözle görülür bir değişim belirlenmiştir. Bu değişimin ısıtma yüklerinde birinci bölgede %19, ikinci bölgede %20, üçüncü bölgede %21 oranındayken soğutma yüklerinde bu durum birinci ve ikinci bölgede %19, üçüncü bölgede %23 oranında olduğu görülmüştür.
- Yalıtımlı ve yalıtımsız projelerin çatı katlarında oluşan maksimum ve minimum ısıtma yükleri karşılaştırıldığında, maksimum ısıtma yükü üç bölgede de yalıtımsız ve perdeli yapılar olmuştur. Diğer taraftan minimum ısıtma yükü ise xps yalıtım uygulamalarının yapıldığı ve çerçevesi sistemlerin uygulandığı yapılarda görülmüştür. Bu yapıların ısıtma ve soğutma yükleri karşılaştırıldığında birinci bölgede %87, ikinci bölgede %90 ve üçüncü bölgede %92 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Çerçevesi sistem olarak tasarlanan yalıtımsız yapılarda tuğla yerine gazbeton tercih edildiğinde, ısıtma ve soğutma yüklerinde %27 ile %29 oranında bir azalma olduğu görülmüştür.
- Yapıların bulundukları konumlar göz önüne alındığında farklı potansiyellerinin olduğu anlaşılmıştır. Çanakkale şehri için rüzgâr enerjisinin miktarı Van ve Afyonkarahisar şehirlerine kıyasla daha avantajlı olduğu görülmüştür.

- Yıllık güneş analizlerine bakıldığında en az ve en fazla enerji potansiyeline sahip şehirler arasında %10'luk bir değişim görülmektedir. Diğer şehirlere kıyas ile ekvatora daha yakın olan Van şehrinin en fazla yıllık güneş analizi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.
- Yıllık PV sistemlerin kullanımı ile üretilebilecek enerji miktarına bakıldığında en az ve en fazla enerji potansiyeline sahip şehirler arasında %18'lik bir değişim görülmektedir. PV sistemlerinde birçok nedenden dolayı üretilen enerji miktarında farklılık oluşmaktadır. Seçilen bölgeler arasında modellenen yapıların; çatı alanlarına PV uygulamaları ile en fazla enerji üretme potansiyeline sahip şehrin, Afyonkarahisar olduğu görülmektedir.

Yapıların iklimsel konforu için ihtiyaç duyduğu enerji miktarı, yapı kabuğunun doğru seçimi ile büyük oranda düşürülebilmektedir. Bu sayede enerji ihtiyacını ve küresel ısınmaya sebebiyet veren karbon salınım miktarını azaltmak mümkündür. Yapı kabuğunu oluşturan elemanların, tasarım aşamalarında optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve BIM uygulamaları yardımıyla proaktif bir yaklaşım sergilemek etkili bir yöntemdir. Bu sayede yapıların ihtiyaç duyacağı enerji miktarı coğrafi ve şehir planında yapının konumuna göre tespit edilerek ideal yapı elemanı ve yalıtım uygulamaları yapılacaktır. Yapıların bulundukları konumlar göz önüne alınarak oluşturulan enerji potansiyel analizleri değerlendirilerek ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı yenilenebilir enerji sistemleri ile karşılamak mümkün olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Aditya L, Mahlia T, Rismanchi B, Ng H, Hasan M, Metselaar H, Aditiya H, 2017, A Review on Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 1352-1365.
- Akadiri P. O, Chinyio E. A, Olomolaiye P. O, 2012, Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework For Implementing Sustainability in The Building Sector, Buildings, 2, 126-152.
- Akgöz E, 2004, Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri İçin Uygun Değerlerin Belirlenmesi; İstanbul Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İstanbul.
- Akın G, 2018, Sağlıklı ve Kaliteli Yaşamda Sürdürülebilir Dünya Görüşü, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Anarsan Sempozyumu Özel Sayısı, Ekim 2018, 11, 877-891.
- Aleksanin A, 2018, Potential for The Use of Information Systems in The Management of Construction Waste. Paper Presented at The Matec Web of Conferences.
- Al-Homoud M. S, 2005, Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials. Building and Environment, 40, 353-366.
- Anonim, 2011, Sağlıkın Teşviki ve Geliştirilmesi Sözlüğü, T.C. Sağlık Bakanlığı, Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, bakanlık yayını no:814.
- Anonim, 2017, Dünya ve Türkiye Enerji Tabi Kaynaklar Görünümü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, yayın no:15, Ankara.
- Anonim, 2018, 2018 Yılı Ulusal Enerji Denge Tablosu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2019a, World Population Prospects 2019, United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division, New York.
- Anonim, 2019b, World Population Prospects 2019: Data Booklet, United Nations, New York.

- Attia S, 2020, Spatial and Behavioral Thermal Adaptation in Net Zero Energy Buildings: An Exploratory Investigation, Sustainability, 12, 7961.
- Azhar S, Brown J, Farooqui R, 2009, BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building performance Analysis Software, Paper Presented at The Proceedings of The 45th ASC Annual Conference.
- Baykal G, Aydın U, 2015, Revit 2015,- Cilt 1: Abaküs, 885s, İstanbul
- Berardi U, 2013, Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building, Sustainable cities and society, 8, 72-78.
- Biswas M, Biswas A, 1984, Complementarity Between Environment and Development Processes, Environmental Conservation, 11, 35-44.
- Boyle C. A, 2005, Sustainable Buildings, Paper Presented at The Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability.
- Boztepe M, 2017, Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, 19-20.
- Candemir B, Beyhan B, Karaata S, 2012, İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri, TÜSİAD-T/2012-10/533, İstanbul.
- Carlisle N, Elling J, Penney T, 2008, Renewable energy community: Key elements, Retrieved from.
- Cerda W, Marin C, 2010, Building Information Modeling, Project Management for Construction.
- Cerny T, Kopp K. L, Wolf M, Amundsen D, 2002, Designing a Low Water Use Landscape.
- Cole R. J, Larsson N. K, 1999, GBC'98 and GBTool: background. Building Research & Information, 27, 221-229.
- D'Oca S, Hong T, Langevin J, 2018, The Human Dimensions of Energy Use in Buildings: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 731-742.
- Danish M. S. S, Senjyu T, Ibrahimi A. M, Ahmadi M, Howlader A. M, 2019, A Managed Framework for Energy-efficient Building, Journal of Building Engineering, 21, 120-128.

- Dikmen Ç, 2011, Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi, Politeknik Dergisi, 14, 121-134
- Ekici B. B, Aksoy U. T, 2011, Prediction of Building Energy Needs in Early Stage of Design By using Anfis. Expert Systems With Applications, 38, 5352-5358.
- Farreny R, Morales-Pinzón T, Guisasola A, Tayà C, Rieradevall J, Gabarrell X, 2011, Roof Selection for Rainwater Harvesting: Quantity and Quality Assessments in Spain. Water Research, 45, 3245-3254.
- Faten Albtcoush A, Doh S, Abdul Rahman A. R. B, Albtcoush J. f. A. A, 2020, Factors Effecting the Cost Management in Construction Projects, International Journal of Civil Engineering and Technology, 11
- Franzoni E, 2011, Materials selection for Green Buildings: Which Tools for Engineers and Architects? Procedia Engineering, 21, 883-890.
- Gardner D, Lark R, Jefferson T, Davies R, 2018, A survey on Problems Encountered in Current Concrete Construction and The Potential Benefits of Self-healing Cementitious Materials, Case studies in Construction Materials, 8, 238-247.
- Geraldi M. S, Ghisi E, 2018, Assessment of The Length of Rainfall Time Series for Rainwater Harvesting in Buildings, Resources, Conservation and Recycling, 133, 231-241.
- Graham P, 2002, Building Ecology, First Principles for a Sustainable Built Environment; Blackwell, Publishing: Oxford, UK.
- Guy B, Shell S, Esherrick H, 2006, Design for Deconstruction and Materials Reuse, Proceedings of The CIB Task Group, 39, 189-209.
- Güner M. S, Yüksel A, 2011, Yapı Teknolojisi I-II, son baskı Eylül 2011: Aktif Yayınevi, 449s, İstanbul
- Halliday S, 2008, Sustainable Construction: Routledge.
- Hechler O, Larsen O. P, Nielsen S, 2012, Design for Deconstruction, Cost, European Cooperation in Science and Technology, Malta.
- Hill R. C, Bowen P. A, 1997, Sustainable Construction: Principles and a Framework for Attainment, Construction Management & Economics, 15, 223-239.

- Hoşkara E, 2007, Ülkesel Koşullara Uygun Sürdürülebilir Yapım için Stratejik Yönetim Modeli, İstanbul: İTÜ.
- Junlv Z. 2021, Dynamic Control and Management of Construction Engineering Cost, Paper Presented at The IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Kabirifar K, Mojtahedi M, Wang C, Tam V. W, 2020, Construction and Demolition Waste Management Contributing Factors Coupled With Reduce, Reuse, and Recycle Strategies for Effective Waste Management: A Review. Journal of Cleaner Production, 121265.
- Karaca Ü. B, Çetintaş Ö. G. K. F, 2015, Sürdürülebilir Yapı Tasarımının Türkiye’deki ve Dünyadaki Yasal Düzenlemeler Açısından İncelenmesi, Examination of Sustainable Building Design From The Point of Legislation View In Turkey and In The World.
- Kaynaklı A. G. Ö, Yamankaradeniz R, 2007, Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, VIII. Ulusal Tesis, Müh. Kongresi, 187-195.
- Keeble B. R, 1988, The Brundtland Report: ‘Our Common Future’. Medicine and War, 4, 17-25.
- Kibert C, 1994, Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction, Proceedings of First International Conference of CIBTG16 on Sustainable Construction, University of Florida, 3-12.
- Kucukkaya E, Kelesoglu A, Gunaydin H, Kilic G. A, Unver U, 2020, Design of a Passive Rainwater Harvesting System With Green Building Approach, International Journal of Sustainable Energy, 1-13.
- Lacasse M. A, Gaur A, Moore T. V, 2020, Durability and Climate Change, Implications for Service Life Prediction and the Maintainability of Buildings. Buildings, 10(3), 53.
- Lovell S. T, 2010, Multifunctional urban agriculture for sustainable land use planning in the United States. Sustainability, 2, 2499-2522.

- Maçin K. E, Demir İ. 2018, Kentsel Dönüşüm Sürecinde İstanbul'da İnşaat ve Yıkıntı (İ&Y) Atıkları Yönetimi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 202-210.
- Marzouk M, Ayman R, Alwan Z, Elshaboury N, 2021, Green building system integration into project delivery utilising BIM, Environment, Development and Sustainability, 1-14.
- Miyatake Y, 1996, Technology development and sustainable construction, Journal of Management in Engineering, 12, 23-27.
- Mo L, 2018, Research on Application of BIM Technology in Construction Project Cost Management, Paper presented at the 2018 3rd International Conference on Smart City and Systems Engineering (ICSCSE).
- Morel J. C, Mesbah A, Oggero M, Walker P, 2001, Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, Building and Environment, 36, 1119-1126.
- Omer A. M, 2008, Energy, environment and sustainable development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2265-2300.
- Onat N C, Küçükvar M, 2020, Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 124, 109783.
- Özçuhadar T, 2007, Sürdürülebilir Çevre için Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 74s, İstanbul.
- Pacheco R, Ordóñez J, Martínez G, 2012, Energy Efficient Design of Building: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3559-3573.
- Pamuk R, Koruoğlu M, 2016, İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri, Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9, 161-177.
- Papadopoulos A. M, 2005, State Of The Art in Thermal Insulation Materials and Aims For Future Developments, Energy and Buildings, 37, 77-86.

- Pásztory Z, 2021, An Overview of Factors Influencing Thermal Conductivity of Building Insulation Materials, *Journal of Building Engineering*, 102604.
- Polat G, 2005, Betonarme Yüksek Yapılarda kullanılabilir Taşıyıcı Sistemler ve Perde-çerçeve Bir Yapının Statik ve Dinamik Hesabı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 152s, İstanbul.
- Revit 2021 Inc, Revit for Windows, Version Student 2021, ABD
- Rijal H B, 2021, Thermal Adaptation of Buildings and People for Energy Saving in Extreme Cold Climate of Nepal, *Energy and Buildings*, 230, 110551.
- Ruggieri L, Cadena E, Martínez-Blanco J, Gasol C. M, Rieradevall J, Gabarrell X, Sánchez A, 2009, Recovery of Organic Wastes in the Spanish Wine Industry, Technical, Economic and Environmental Analyses of the Composting Process. *Journal of Cleaner Production*, 17, 830-838.
- Schade J, 2007, Life Cycle Cost Calculation Models for Buildings, Paper Presented at the Nordic Conference on Construction Economics and Organisation: 2007.
- Schimschar S, Blok K, Boermans T, Hermelink A, 2011, Germany's Path Towards Nearly Zero-energy Buildings, Enabling the Greenhouse Gas Mitigation Potential in the Building Stock. *Energy Policy*, 39, 3346-3360.
- Sheth D, 2017, Water efficient Technologies for Green Buildings, *Int. J. Eng. Innov. Sci. Res. ISSN*, 1, 5-10.
- Stavenhagen M, Buurman J, Tortajada C, 2018, Saving Water in Cities: Assessing Policies for Residential Water Demand Management in Four Cities in Europe, *Cities*, 79, 187-195.
- Stec A, Mazur A, Słyś D 2017, Evaluating the Financial Efficiency of Energy and Water Saving Installations in Passive House, Paper Presented at the E3S Web of Conferences.
- Şahin N. İ, Manioğlu G, 2019, Water Conservation Through Rainwater Harvesting Using Different Building Forms in Different Climatic Regions, *Sustainable Cities and Society*, 44, 367-377.

- Şen H, Kaya A, Alpaslan B, 2018, Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif, Ekonomik Yaklaşım, 29, 1-47.
- Şenel A, 2010, Sürdürülebilir Bina Yapım İlkelerinin ve Yeni Yaklaşımların İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 289s, İzmir
- Tabor D. P, Roch L. M, Saikin S. K, Kreisbeck C, Sheberla D, Montoya J. H, Tribukait H. 2018, Accelerating the Discovery of Materials for Clean Energy in the Era of Smart Automation, Nature Reviews Materials, 3, 5-20.
- Takano A, Pal S K, Kuittinen M, Alanne K, Hughes M, Winter S, 2015, The Effect of Material selection on Life Cycle Energy Balance: A Case Study on A Hypothetical Building Model in Finland, Building and Environment, 89, 192-202.
- Tekin Ö, Eşit M, Varınca K, 2014, İnşaat Sektöründe Çevresel Kaygılara Çözüm Önerileri: Sürdürülebilirlik ve Yeşil Binalar, 2. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu Bildirirler Kitabı, Adıyaman Üniversitesi, 12, 651-661, Adıyaman.
- TS 802 Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, 2008, Resmî Gazete, 9 Ekim 2008, 27019
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008, Resmi Gazete, 26 Ağustos 2008, 26979
- Tulukcu D. A, Murat O, 2021, Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23, 197-206.
- Uddin, M, Wei H, Chi H, Ni M, Elumalai P, 2021, Building Information Modeling (BIM) Incorporated Green Building Analysis: An Application of Local Construction Materials and Sustainable Practice in the Built Environment, Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 6, 1-25.
- Ümit F S, Fırat O Z, 2017, Sanayi 4.0 Devrimi Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme: Kavramlar, Küresel Gelişmeler ve Türkiye, Toprak İşveren Dergisi, 114, 10-23

- Ünalın H, Gökaltın E, Uğurlubilek R, 2006, Yapı Kabuğunda Isı Kayıplarının Azaltılması ve Bir İyileştirme Projesi Örneğı, Tesisat Mühendisliğı Dergisi, 94, 49-56.
- Wang, X, Zhang Y, Xiao W, Zeng R. Zhang, Q, Di H. 2009, Review on Thermal Performance of Phase Change Energy Storage Building Envelope. Chinese Science Bulletin, 54, 920-928
- WCED 1987, Our Common Future, Oxford: Oxford University Press.
- Wilson, A.; Uncapher, J.L.; McManigal, L.; Lovins, H.L.; Cureton, M.; Browning, W.D. Green Development: Integrating Ecology and Real Estate; John Wiley and Sons, Inc.: New York, NY, USA, 1998.
- Wu Z, Li N, Peng J, Li J, 2019, Effect of Long-term Indoor Thermal History on Human Physiological and Psychological Responses: A Pilot Study in University Dormitory Buildings, Building and Environment, 166, 106425.
- Xu X, Mumford T, Zou P. X, 2021, Life-cycle Building Information Modelling (BIM) Engaged Framework for Improving Building Energy Performance, Energy and Buildings, 231, 110496.
- Yılmaz R, 2006, Betonarme Karkas Yapılarda Kolon ve Kirişlerdeki Isı Kayıplarının Önlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, Sakarya.
- Zhang F, Ju Y, Gonzalez E. D. S, Wang A, Dong P, Giannakis M, 2021, A New Framework to Select Energy-efficient Retrofit Schemes of External Walls: A Case Study, Journal of Cleaner Production, 289, 125718.
- Zitti M, Ferrara C, Perini L, Carlucci M, Salvati L, 2015, Long-term Urban Growth and Land Use Efficiency in Southern Europe: Implications for Sustainable Land Management, Sustainability, 7, 3359-3385.

İnternet Kaynakları

1. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-surge-new-record>, 7.3.2021
2. <http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm>, 30.01.2020
3. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>, 25.10.2021
4. <https://www.skb.gov.tr/birlik-hakkinda/tuzuk/>, 30.01.2020
5. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10444, 11.03.2021
6. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page5.php>, 12.03.2021
7. <https://www.iea.org/topics/buildings>, 12.03.2021
8. <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/gunes-enerjisi>, 12.03.2021
9. http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html, 05.1.2019
10. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/Turkiye-Ortalama-Sicaklik.pdf>, 05.1.2019
11. <https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/tasyunu>, 24.7.2021
12. [https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekstrude-polistiren-\(xps\)](https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekstrude-polistiren-(xps)), 25.7.2021
13. [https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekspande-polistiren-\(eps\)](https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekspande-polistiren-(eps)), 25.07.2021
14. <https://www.satirogluyapi.com.tr/?h1292/gaz-beton-nedir->, 25.07.2021
15. <https://sozluk.gov.tr/?q=bina&aranan=>, 25.7.2021
16. <https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>, 14.10.2021
17. <https://www.iso.org/publication/PUB100440.html>, 25.10.2021
18. <https://www.breeam.com/>, 25.10.2021
19. <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>, 25.10.2021
20. <https://www.dgnb.de/en/council/>, 25.10.2021
21. <http://www.greenglobes.com/about.asp#characteristics>, 25.10.2021
22. <https://new.gbca.org.au/green-star/rating-system/>, 25.10.2021
23. <https://www.behqe.com/presentation-hqe/what-is-hqe>, 25.10.2021
24. <https://building-material-scout.com/en/green-building/leed/>, 25.10.2021
25. <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> , 29.11.2021
26. <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>, 29.11.2021
27. <http://www.catider.org.tr/index.php?action=page&id=271> , 11.01.2022