

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE YAPI KABUĞU
PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR
YAKLAŞIM: YÜZEYDEN ISITMA SİSTEMLİ MODÜLER HİBRİT
DUVAR ÖRNEĞİ

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Temmuz, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE YAPI KABUĞU PERFORMANSININ
BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM: YÜZEYDEN ISITMA
SİSTEMLİ MODÜLER HİBRİT DUVAR ÖRNEĞİ**

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması 27.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ş. Özgür ATAYILMAZ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi,

Doç. Dr. Hatice SÖZER, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL, Üye

Altınbaş Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Farklı İklim Bölgelerinde Yapı Kabuğu Performansının Belirlenmesine Yönelik Bir Yaklaşım: Yüzeyden Isıtma Sistemli Modüler Hibrit Duvar Örneği” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK

İmza



Bu alışma, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü' nün 0462.STZ.2013-2 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



*Anneme
ve
eşim Muhammed
ile
oğlum Akif Kerem'e,*

TEŞEKKÜR

Radyant hibrit duvar tasarımı, giderek artan bina enerji tüketim miktarlarını en aza indirmek ve bütüncül bir yaklaşım ile yapı elemanı ve mekanik sistem birlikteliğini entegre etmeyi amaçlayarak tasarlanmıştır. Çalışmada, yapı kabuğu seçeneklerinin performansının belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirmek ve geliştirilen yaklaşımla radyant hibrit duvar sisteminin farklı iklim bölgeleri için yapı kabuğu performansını belirlemek ve alternatif kesitlerle karşılaştırmak amaçlanmıştır.

Tez çalışmam sırasında değerli katkılarıyla beni yönlendiren, cesaretlendiren ve olanaklarını sunan danışman hocam Sn. Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e, tez izleme jürileri öncesi ve sonrasında her soruma titizlik ve özveri ile cevap verip, bana daima yol gösteren Sn. Prof. Dr. Ş. Özgür ATAYILMAZ' a, yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarımda farklı bir bakış açısı sunan Sn. Doç. Dr. Hatice SÖZER'e, ses kaybı hesaplama yöntemi konusunda bana yardımcı olan Sn. Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ'a, ÇKKV yöntemini öğrenmem ve uygulamam konusunda yardım eden ve yön gösteren Sn. Prof. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL ve Sn. Dr. Öğ. Üyesi Tufan DEMİREL ile 0462.STZ.2013-2 SAN-TEZ çalışması dolayısıyla tanıdığım ve sonrasında her türlü soruma yanıt vererek yardımcı olan Sn. Doç. Dr. Alihsan Koca'ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım boyunca; her zaman olduğu gibi sevgi ve anlayışıyla beni kucaklayan annem Ayşe ERİKCİ'ye, desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Muhammed ÇELİK'e, varlığıyla beni daha anlamlı kılan biricik oğlum Akif Kerem'e, bugünlere gelene kadar her anımda yanımda olan babam Bahattin ERİKCİ ile kardeşlerim Burak ve Emir Taha ERİKCİ' ye şükranlarımı sunarım.

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	VIII
KISALTMA LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ	X
TABLO LİSTESİ	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XV
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	15
1.3 Hipotez.....	17
2 MODÜLER HİBRİT DUVAR ELEMANI	18
2.1 Tasarım Parametreleri	18
2.1.1 İç Duvarlar	21
2.1.2 Dış Duvarlar	22
2.1.3 Tamamlayıcı Duvarlar.....	24
2.1.4 Panel Bağlantı Detayları	24
2.2 Yapısal Parametreler	28
2.3 Performans Parametreleri.....	29
2.3.1 Panelin Çalışma Prensibi.....	30
3 YÜZEYDEN ISITMALI HİBRİT DUVARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM	31
3.1 Yaklaşımın Amacı.....	31
3.2 Yaklaşımın Kapsamı.....	31
3.3 Yaklaşımın Adımları.....	35

4 YAKLAŞIMIN UYGULAMASI	38
4.1 Yaklaşımın Uygulama Bina Örneğinin Belirlenmesi.....	38
4.2 Yapı Kabuğu Alternatiflerinin Belirlenmesi.....	40
4.3 Yapı Kabuğu Performans Kriterlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması.....	46
4.3.1 Isı Kaybı Analizleri.....	47
4.3.2 Ses Kaybı Analizleri.....	53
4.3.3 Maliyet Hesaplamaları	56
4.4 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (TOPSİS) ile Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi	89
4.5 Bulguların Değerlendirilmesi	110
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKÇA	117
A DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT KESİT ÖRNEKLERİ	124
B DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT “DB” PROGRAMI ARACILIĞIYLA HESAPLANAN ISI KAYBI SONUÇLARI	131
C DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT “INSUL” YAZILIMI ARACILIĞIYLA HESAPLANAN SES KAYBI SONUÇLARI	149
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	156

SİMGE LİSTESİ

V	Ağırlıklı Standart Karar Matrisi
S_i^*	Ayrım Ölçümleri
S_i^-	Ayrım Ölçümleri
A^*	İdeal Çözüm
C_i^*	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık
A	Karar Matrisi
A^-	Negatif İdeal Çözüm
R	Standart Karar Matrisi
H_u	Yakıt Üst Isıl Değeri
n_k	Yakıt Verimi
$Q_{yıl}$	Yıllık Isıtma Enerjisi
B_y	Yıllık Yakıt Sarfıyatı

KISALTMA LİSTESİ

BOMA	Bina Sahipleri ve Yöneticileri Kuruluğu
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ÇDY	Çift Duvar Arası Yalıtım
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DG	Derece-Gün
DY	Dışardan Yalıtım
EPBP	Binalar Direktifi Enerji Performansı
EPS	Ekspande polistren köpük
ETICS	Dış ısı yalıtım sistemleri
HOMER	Yenilenebilir Elektrik için Hibrit Optimizasyon Modeli
İY	İçerden Yalıtım
LCCA	Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi
NBD	Net bugünkü değer
PMW	Tahmini ortalama oy
PPD	Tahmini konforsuzluk yüzdesi
PV	Güneş pili
RCF	Yenilenebilir kapsam faktörü
XPS	Ekstrüde Polistren Köpük
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıralama Tercihi Tekniği
TS 825	Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
TRNSYS	Geçici Sistemleri Simülasyon Programları
VAV	Değişken hava hacmi
2D	İki Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Literatür Organizasyon Şeması	2
Şekil 1.2	Akış Diyagramı.....	16
Şekil 2.1	İç Duvar Paneli Kesiti [71].....	21
Şekil 2.2	120x280(300)x9 cm'lik İç Duvar Paneli [71]	22
Şekil 2.3	120x280(300)x12 cm'lik Dış Duvar Paneli [71]	23
Şekil 2.4	140x90x12 cm'lik Dış Duvar Pencere Altı Paneli [71]	23
Şekil 2.5	Tamamlayıcı İç Duvar Paneli [71]	24
Şekil 2.6	İç Duvar Panel Detayı [71]	24
Şekil 2.7	Tavan ve Döşeme Bağlantı Detayı [71]	25
Şekil 2.8	Dış Duvar Panelleri Birleşim Detayı [71]	25
Şekil 2.9	Döşeme Bağlantı Detayı [71].....	26
Şekil 2.10	Panellerin Döşemeye, Tavana ve Birbirine Bağlantısı [71].....	26
Şekil 2.11	Duvar Paneli-Pencere Birleşimine İlişkin Detaylar [71]	27
Şekil 2.12	Duvar Paneli-Kapı Birleşimine İlişkin Detaylar [71]	27
Şekil 2.13	Panel Rijitlik Arttırmaya Yönelik Vidalama Sistemi [71]	28
Şekil 3.1	Yapı Kabuğu Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi için Önerilen Yaklaşımın Adımları ve Akış Şeması	37
Şekil 4.1	Ofis Binası Ön Görünüş	39
Şekil 4.2	Ofis Binası Normal Kat Planı.....	40
Şekil 4.3	Test Odası Kesiti [71]	41
Şekil 4.4	Test Odasına Ait Model [71]	41
Şekil 4.5	Kullanılan Panelin Teknik Resmi [71]	42
Şekil 4.6	İstanbul Isı Kayıp Miktarları.....	51
Şekil 4.7	Diyarbakır Isı Kayıp Miktarları.....	51
Şekil 4.8	Ankara Isı Kayıp Miktarları.....	52
Şekil 4.9	Erzurum Isı Kayıp Miktarları	52
Şekil 4.10	Antalya Isı Kayıp Miktarları.....	53
Şekil 4.11	Isı Kayıplarının İllere Göre Dağılımı	53
Şekil 4.12	Tüm İllerde İçeri Geçen Ses Düzeyi	55

Şekil 4.13	NBD Maliyet Yöntemi Girdi Şeması.....	56
Şekil 4.14	İstanbul NBD Maliyet Toplamı - TL.....	84
Şekil 4.15	İstanbul NBD Maliyet Kalemleri.....	84
Şekil 4.16	Diyarbakır NBD Maliyet Toplamı - TL	85
Şekil 4.17	Diyarbakır NBD Maliyet Kalemleri.....	85
Şekil 4.18	Ankara NBD Maliyet Toplamı - TL	86
Şekil 4.19	Ankara NBD Maliyet Kalemleri.....	86
Şekil 4.20	Erzurum NBD Maliyet Toplamı - TL	87
Şekil 4.21	Erzurum NBD Maliyet Kalemleri	87
Şekil 4.22	Antalya NBD Maliyet Toplamı - TL.....	88
Şekil 4.23	Antalya NBD Maliyet Kalemleri.....	88

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Geleneksel Yapı Kabuğu ve Isıtılmalı Hazır Duvar Karşılaştırması [70].20
Tablo 4.1	Test Odası Duvarlarının Isıl Geçirgenlik Katsayıları [71] 42
Tablo 4.2	Alternatif Duvar Kesitleri Teknik Özellikleri [71, 84] 44
Tablo 4.3	Design Builder' da Seçilen HVAC Sistem Türleri [87]..... 48
Tablo 4.4	Design Builder' da Yapılan Isı Kaybı Analiz Sonuçları (kW) 49
Tablo 4.5	İçeri Geçen Gürültü Düzeyi 54
Tablo 4.6	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Kabuk Maliyeti..... 57
Tablo 4.7	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Isıl Maliyet - İSTANBUL..... 60
Tablo 4.8	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Isıl Maliyet - DİYARBAKIR 62
Tablo 4.9	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Isıl Maliyet - ANKARA..... 64
Tablo 4.10	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Isıl Maliyet - ERZURUM..... 66
Tablo 4.11	Duvar Alternatifleri İlk Yatırım Isıl Maliyet - ANTALYA..... 68
Tablo 4.12	Yıllık Yakıt Gideri Hesabı 70
Tablo 4.13	Yıllık Elektrik Tüketim Maliyeti Hesabı 74
Tablo 4.14	Yıllık Bakım-Onarım Maliyeti Hesabı..... 75
Tablo 4.15	Genel Bakım-Onarım Maliyeti Hesabı..... 76
Tablo 4.16	Duvar Kalınlıkları Maliyet Etkisi..... 77
Tablo 4.17	Net Bugünkü Değer Yöntemi ile Maliyet Hesabı Sonuçları 79
Tablo 4.18	Değerlendirme Kriterlerinin Topsis Açısından Etkilerinin Sınıflandırılması 90
Tablo 4.19	Karar Matrisi..... 91
Tablo 4.20	Standart Karar Matrisi 94
Tablo 4.21	Ağırlıklı Standart Karar Matrisi..... 97
Tablo 4.22	İdeal ve Negatif İdeal Çözüm 100
Tablo 4.23	İdeal Ayrım Ölçümleri..... 102
Tablo 4.24	Negatif İdeal Ayrım Ölçümleri 104
Tablo 4.25	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (Ci*)..... 107

Farklı İklim Bölgelerinde Yapı Kabuğu Performansının Belirlenmesine Yönelik Bir Yaklaşım: Yüzeyden Isıtma Sistemli Modüler Hibrit Duvar Örneği

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK

Mimarlık Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Bu çalışma, yapı kabuğu performansını belirlemeye yönelik yeni bir yaklaşım geliştirmek ve yeni bir kabuk önerisi ortaya koymak amacıyla hazırlanmıştır. Enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan binalar gözönüne alındığında, mekanik sistem yükleri enerji tüketim basamakları arasında üst sıralarda yer almaktadır. Bu yüzden öncelikle düşey bina elemanlarına yönelik yenilikçi bir tasarım ve sistem entegrasyonu yapılmıştır. Bu alternatif duvar kesiti mimari tasarım aşamalarında modülerlik, kolay uygulanabilirlik, ve ekonomiklik gibi katkılar sağlamaktadır. Şematik tasarım aşamalarının tamamlanması ve yapı elemanına ait bir örnek modüle karar verilmesinin sonucunda alternatif bir düşey yapı elemanı elde edilmiştir.

Çalışmada, mevcutta bulunan 8 katlı bir ofis binası uygulama örneği olarak seçilmiştir. Ardından çalışmanın yapılacağı DG bölgelerinden İstanbul, Diyarbakır, Erzurum, Ankara ve Antalya örnek pilot il olarak belirlenmiştir. Geliştirilen

yaklaşımında performans kriterleri olarak ısı, ses ve maliyet parametreleri ele alınmıştır. Isı kayıp hesaplamaları Design Builder hesaplama programı ile, ses kayıp hesaplamaları Insul yazılımı ile ve maliyet hesabı ise Net Bugünkü Değer hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yaklaşımın uygulamasında duvar alternatifleri;

- Radyant hibrit duvar,
- Geleneksel tuğla duvar,
- Hava boşluklu tuğla duvar,
- Hava boşluklu çift katmanlı tuğla duvar,
- Gaz beton duvar,
- Hava boşluklu çift katmanlı gaz beton duvar ve
- Cam giydirme cephe

olarak belirlenmiştir.

Tüm bu alternatif kesitlerin karşılaştırmaları için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSIS belirlenmiştir. Bu yöntem ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda DG bölgelerinde belirlenen pilot iller için en uygun kesit kararı elde edilmiştir.

Tez çalışmasında, farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğu performansının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım ve tasarımcılara gelecekteki çalışma ve uygulamalarında bir sistem önerisi geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmanın, ileride geliştirilecek olan yeni bina eleman ve/veya sistem birlikteliğindeki bütüncül yaklaşımlar için adımların sıralandığı bir kaynak olması planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji korunumu, modüler hibrit duvar elemanı, performans kriterleri, radyant hibrit duvar, TOPSIS.

An Approach for Determining the Performance of Building Envelope in Different Climate Regions: An Example of Modular Hybrid Wall with Surface Heating System

Selcen Nur ERİKCİ ÇELİK

Department of Architecture
PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

This study was designed to develop a new approach to increase building shell performance. Considering the buildings that have a large share in energy consumption, mechanical system loads take place among the energy consumption steps. For this reason, an innovative design and system integration has been made primarily for vertical building elements. This alternative wall section contributes to the architectural design stages such as modularity, easy applicability and economics. As a result of completion of the schematic design steps and the decision of a sample module of the structural element, an alternative vertical component was obtained.

In the study, an existing 8-storey office building was chosen as a sample project. Afterwards, a sample pilot province was identified from the 5 DD region where the study will be carried out, namely İstanbul, Diyarbakır, Erzurum, Ankara and Antalya. Performance of heat, sound and cost parameters are discussed. Heat loss calculations were performed using Design Builder calculation program, sound loss calculations were calculated using Insul program and cost calculation was calculated using Net Present Value calculation method.

As wall alternatives,

- Radiant hybrid wall,
- Traditional brick wall,
- Brick wall with air gap,
- Double layered brick wall with air gap,
- Aerated concrete wall
- Double layered aerated concrete wall with air gap and
- Glass curtain wall is determined.

TOPSIS was determined from Multi Criteria Decision Making methods for comparison of all these alternative sections. As a result of the comparisons made with this method, the most appropriate section decision was obtained for the pilot provinces determined in the 5 DD regions.

In this study, which is planned to develop an approach to determine the building shell performance of different building shell options, the thesis proposes a system proposal for designers in their future work and applications. It is also planned that the study will be the source of the steps for the holistic approach in the combination of new building elements and / or systems to be developed in the future.

Keywords: Energy saving, modular ready wall element, performance criteria, radiant hybrid wall, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

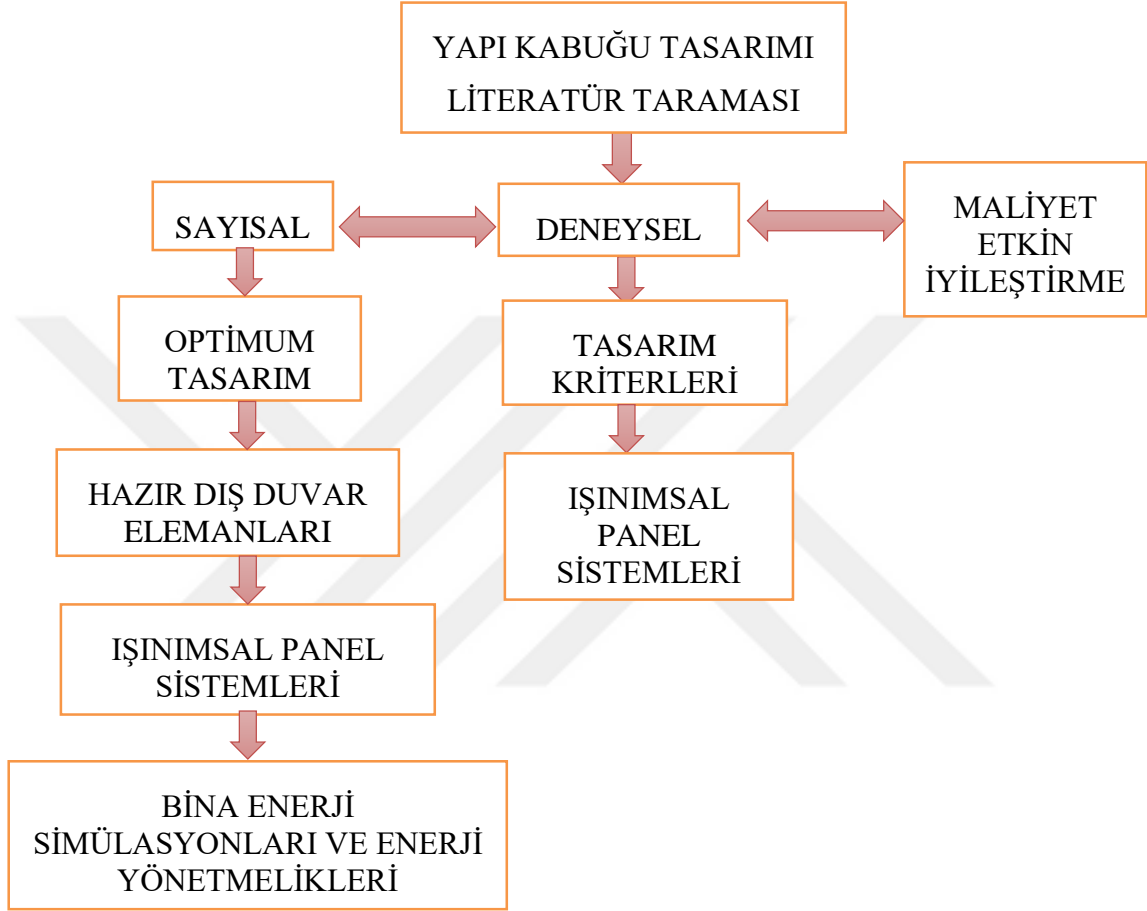
Değişen dünya düzeni içerisinde mimari gereksinim ve prensipler de büyük ölçüde bu değişime ayak uydurmaktadır. Artan yapılaşmaya bağlı olarak enerji planlaması gereksinimi birincil derecede önem kazanmaktadır. Enerji korunumunu sağlamak üzere, yapı kabuğu seçim ve optimizasyonunu elverişli koşullarda gerçekleştirmek ve uygun mekanik sistemlerin seçimi ile entegre etmek zorunlu hale gelmektedir.

Bina konfor koşullarını sağlamada iç ve dış sıcaklık farklarının en iyi şekilde dengelenmesi gerekmektedir. Bu dengeyi sağlamak için, yapı üzerine ek mekanik yükler getirmeyecek şekilde uygun yapı kabuğu tasarlanmalıdır. Bu sayede iklimsel koşullara bağlı olarak tasarrufu sağlamada yapı kabuğunun etkisi ortaya konulacaktır.

Yapı kabuğu optimizasyonuna yönelik çalışmalarda, verimli kesitler elde etmek için katmanlı kabuk tasarımına gidilmektedir. Bu tür tasarımın farklı iklim bölgeleri için çeşitli parametreler doğrultusunda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Böylece en uygun kesit seçimine karar verilerek, tüm parametreler açısından mümkün olan uygulama gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında, geleneksel kabuk sistemlerine alternatif olarak San-Tez projesi kapsamında yüzeyden ısıtmalı hazır hibrit duvar elemanı tasarlanarak, yapı kabuğu performansı belirlenmiştir. Yeni bir sistem olan bu duvar tasarımının avantaj ve olanaklarının ortaya konulduğu bu çalışmada, oluşturulan duvarın enerji etkinliği ve ısısal, işitsel konfor ve maliyet açısından performansı belirlenerek değerlendirilmektedir.

Literatür çalışması üç altbölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, yapı kabuğunun sayısal çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalar, yapı kabuğunun optimum tasarımı [1-9], hazır dış duvar elemanları ve duvardan ısıtma-soğutma sistemleri ile hibrit duvarlar [10-12], ışımsal panel sistemlerini ısıl konfor açısından değerlendiren [13-17] ve bina enerji simülasyonları ile enerji performans yönetmeliklerine yönelik

[18-27] olanlardır. İkinci bölümde deneysel çalışmalar mevcuttur. Bunlar yapı kabuğu tasarım kriterlerinin optimizasyonuna yönelik [28] ve ışımsal panel sistemlerini değerlendiren [29-47] deneysel çalışmalardır. Son bölümde ise maliyet etkin iyileştirme [48-68] çalışmaları sınıflandırılarak incelenmiştir. Literatür taraması organizasyon şeması aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Literatür Organizasyon şeması

- Yapı kabuğu tasarım kriterlerinin optimizasyonuna yönelik çalışmalar [1-9] aşağıda özetlenmiştir.

Berköz vd. tarafından yapılan (1989) çalışma, opak ve saydam bileşenlerden oluşmuş bina kabuğunun ortalama iç yüzey sıcaklığının, ısısal konfor açısından izin verilebilir sınır değeri aşmaması ölçütüne dayandırılmaktadır. Bir başka araştırma projesinde (1995), enerji korunumu için gerekli olan dış çevreye ilişkin tasarım parametreleri ve binaya ilişkin tasarım parametreleri tanımlanmıştır. Türkiye' nin beş farklı iklim bölgesi için; binaya ilişkin tasarım parametreleri olan, bina

kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, binanın yönlendiriliş durumu, binanın formu, bina aralıkları, doğal havalandırma düzeni olarak belirlenmiştir [1, 2].

Yılmaz vd. tarafından yapılan (2000) araştırma projesinde, kabuğun bina formu dışındaki parametrelere bağlı olarak belirlenen ısı geçirme katsayısı değerlerinin, bina formuna bağlı olarak düzeltilmesi Türkiye'nin ısıtma enerjisi önceliği olan yöreler için çalışılmıştır [3].

Lollini vd. (2006) yapı kabuğundaki opak elemanların yalıtım derecelerini maliyet/fayda oranlarında optimize etmeyi amaçlamıştır. Kesitte yer alan malzemelerin ele alındığı çalışmada, ısıtma enerjisi ihtiyacını iyi yalıtımın kesinlikle azalttığı öngörülmektedir. [4].

Stazi vd. (2012), çalışmada yaşam döngülerini de dikkate alarak bina kabuk sistemlerinin çevresel ve enerji performanslarını optimize etmeyi amaçlamıştır. Klasik bir Trombe duvarı olarak düzenlenen solar duvar, ışınım yoluyla dolu duvardan iç çevreye ısı transferini gerçekleştirmektedir. Öneri olarak ise, her yere uygulanabilecek evrensel tasarım çözümleri bulunmadığından farklı kurgular üretilmesi sunulmaktadır. Başka bir çalışmada (2003), yapı kabuğundaki yalıtımın yeri ve kalınlığının hem ısı kazancı hem de ısı kaybı açısından hem orta hem de dış yüzeye uygulanması durumu incelenmiştir. Çalışmada, iç ortamın dış sıcaklık dalgalanmalarından etkilenmediği ve konforlu iç ortam sıcaklığının elde edildiği gözlenmiştir. [5, 6].

Erkmen (2012) doktora tezinde, bir iklim bölgesinde toplam enerji harcaması düşük yapı kabuğu seçeneğinin saptanmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmiştir. Tez çalışmasında üretim ve kullanım aşamasında, toplam enerji harcamalarını ve enerji gereksinimlerini belirlemek, kesitleri sıralayabilmek ve belli bir etkinlik yüzdesine bağlı olarak değerlendirebilmek için hesap adımları oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, yapı kabuğu seçeneklerinin enerji - enerji performanslarının karşılaştırılması ile toplam harcamalarına dayanan etkinlik yüzdesinin uygunluğuna karar verilebilmesini olanaklı kılmaktadır [7].

Oral ve Manioğlu (2010) çalışmalarında, ısı yalıtımıyla ilgili bir uygulama örneğinde, farklı yalıtım malzemelerinin, cephe yönüne ve saydamlık oranına bağlı olarak

binanın ısı yüklerine olan etkisini araştırmıştır. Isı yalıtımı yapılan bina alternatiflerinin bazılarında, yalıtımın ısıtma yükünde düşüşe sebep olmasına karşın, yalıtımın yerine ve pencerenin bulunduğu cephe yönüne göre soğutma yükünde az da olsa, artışa sebep olduğu görülmüştür [8].

Gür ve Aygün (2008) ise çalışmalarında, değişen yapı kabukları için konfor koşullarını belirlemeye yönelik bir tasarım destek sistemi geliştirmeye çalışmıştır. Yapı kabuğu ve yapılarda esneklik özelinde ele alınan çalışmada, kabuğun hava geçirgenliği, ışık geçirgenliği, enerji kazanımı, değişkenlik, kontrol vb. kriterler belirlenmiştir. Bu değişkenler, bir tablo üzerinde 0, 1, 2, 3, 4 şeklinde (olumsuzdan olumluya) göreceli olarak sıralanmıştır. Bu sayede tasarımcıya öngörülen bu yöntem ile yapı kabuğundaki değişikliklerin kullanıcı konforunu belirlemesi irdelenmektedir [9].

- Hazır dış duvar elemanı üretimine yönelik çalışmalar [10-12] aşağıda özetlenmiştir.

Gedik (2001), çalışmasında ele aldığı hazır beton duvar elemanları sınıflandırmış ve ısısal konfor açısından incelemiştir. İncelemede, ülkemizde üretilen ve uygulanan hazır dış duvar elemanlarının iç yüzey sıcaklıkları ve yoğuşma kontrolleri yapılmış ve değerlendirilmiştir [10].

Cihan (2004) tezinde, geleneksel yapı sistemleri ile EPS-Bloklu, çelik donatılı beton taşıyıcı duvarların yaz ve kış dönemlerindeki ısı performansını karşılaştırmıştır. TS 825' teki 1. 2. 3. 4. DG bölgelerine göre EPS-Bloklu çelik donatılı taşıyıcı duvardan oluşan sistem ile aynı kalınlıktaki yalıtım ve beton elemanlarından oluşan duvar, dışarıdan yalıtım (DY), içeriden yalıtım (İY), çift duvar arası yalıtım (ÇDY) sistemleriyle hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen verilere göre; kış döneminde 4 bölge için de en iyi sonucu Dışarıdan Yalıtım uygulaması vermektedir. Ayrıca inşa hızı, fayda/maliyet ve uygulama kolaylığı açısından avantaj sağladığı da öngörülmektedir [11].

Göçer ve Işık (2007) makalelerinde, yapı kabuğunun büyük bir kısmını oluşturan dış duvarların, betonarme prefabrike sistemlerle oluşturulması durumunda problem noktaların enerji tüketim verilerine bağlı olarak, kirletici emisyonların

değerlendirmesini yapmışlardır. Duvar panellerini mimari parametre (yatay, düşey, yatay+düşey, düz etki), boyut (geniş, orta,dar) ve taşıyıcılık (kendini taşıyan, taşınan, taşıyıcı) açısından gruplandırarak, yıllık kirletici emisyonlarını hesaplamışlardır. En düşük kirletici emisyonu sahip duvar tipi, bina taşıyıcı sistem elemanlarının tamamen örtüldüğü, ön konumlu, panellerde ve derzlerde ısı yalıtımının kesintisiz olduğu cephe sistemi olarak ortaya çıkmıştır [12].

- Isıl konfor ve ışınımsal panel sistemlerini ısıl konfor açısından değerlendiren çalışmalar [13-17] aşağıda özetlenmiştir.

Dudkiewicz ve Jezowiecki (2009) deneysel çalışmalarında, geleneksel yöntemlerde olduğundan 5°C daha düşük tutularak kullanılan radyant sistemlerin hava sıcaklığının aynı ısıl konfor düzeyini yakalayabileceğini göstermişlerdir. Tye-Gingras ve Gosselin (2012), hibrit sistemle ısıtılan tavan ve duvar radyant panellerinin konfor ve enerji tüketim optimizasyonu için CFD analizlerini yapmıştır. Analizlerde, pencere kenarındaki kısa tavan paneli önünde oluşan soğuk hava etkisini azaltarak konfor sağlanmaktadır [13, 14].

Klasik yöntemlerle ısıtma modellerine göre, radyant panellerle ısıtmada panelden yayılan ışımla ısı enerjisi doğrudan ortamdaki cisimlere aktarılır. Böylece panel yüzey sıcaklığının yüksek olması sebebiyle ortalama radyant sıcaklık artar. Optimum konfor şartları radyant panellerle konvektif ısıtma sistemlerine göre daha düşük hava sıcaklığında ısıtma yaparak sağlanabilmektedir [15].

Zhang vd. (2013), yerden radyant sistemleri ele aldıkları deneylerde ısı transferi kapasitesi, sıcaklık dağılımı ve termal konforu değerlendirmişlerdir. Taban yüzey sıcaklığı ve oda hava sıcaklığının, borular arası mesafenin artması veya besleme suyu sıcaklığının artmasına bağlı olarak arttığını ispatlamışlardır [16].

İbrahim vd. (2014), bir solar kolektör, bir ısı pompası, bir rüzgar türbini, bir batarya ve bir sıcak su depo tankından oluşan evsel bir hibrit su ısıtma sistemi dinamik modelini incelemiştir. Hem hava kaynağı hem de jeotermal ısı pompaları incelenmiştir. Sonuçlar, önerilen hibrit sistemin tüm sıcak su ihtiyacını güvenceye alacak kapasitede olduğunu ortaya koymuştur ve yenilenebilir kapsam faktörü (RCF) her zaman %63' ün üzerindedir [17].

- Bina enerji simülasyonları ile enerji performans yönetmeliklerine yönelik çalışmalar [18-27] aşağıda özetlenmiştir.

Lazos vd. (2015) makalede, modern bina sistem optimizasyonunu kullanarak, finansal ve enerji tasarrufunu elde etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmaya göre hibrit modellerde, sıcaklık için % 38, bağıl nem için % 28 ve hava akım hızı için % 9'a kadar düşürme ile tekil bileşenler üzerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bir diğer çalışmada (2014), hibrit enerji sistemlerinin kentsel ve kırsal alanlarda elektrik enerjisini sağlamak üzere kullanıldığını ve rüzgâr - güneş kaynaklarını aralıklı olarak kullanmaya yönelik olarak düzenlendiğinden bahsedilmektedir. Bu sistemlerin teknik-ekonomik analizleri yenilenebilir enerji kaynaklarının efektif kullanımı açısından gereklidir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda HOMER adlı programın, yenilenebilir enerji sistemlerinin maksimum kombinasyon ve optimizasyonunu içeren konfigürasyonları içerdiği saptanmıştır [18, 19].

Alongia ve Mazzarella (2015), iki termik kontrollü hava geçirgen duvar örneğini, sıcaklık kontrollü bir hava akımı ile beslenen metal bir çerçeve ile ayrılmış bölümler ve numune boyunca akan boşalan havadan oluşan sistem dahilinde incelemiştir. Sabit rejimde sistemin sıcaklık kontrolü ölçüm ve kalibrasyon prosedürü ile gerçekleştirilmiştir [20].

Sözer ve Elnimeiri (2007) çalışmasında, PV sistemlerin, neden tercih edilmesi gerektiğine ve günümüzde kullanımının neden yaygın olmadığına dair bilgilere yer vermiştir. Yaygın olmamasının nedeni olarak, çok yeni bir teknoloji olmasını, ilk yatırım ve kullanım maliyetlerinin çok yüksek olmasını, geleneksel yapım sistemlerine entegrasyonu, potansiyeli ve performansı ile ilgili yeterli bilgiye sahip olunmamasını öne sürmektedirler. PV sistemlerinin maliyet analizlerinde; inşaat öncesi, inşaat sürecinde ve kullanım sürecinde ortaya çıkan harcamalar değerlendirilmiştir. Uygun gördükleri tasarımı LCCA ile modellemişlerdir. Böylece PV sistemin maliyet analizi daha tasarım aşamasında ortaya konmuştur. Bir diğer çalışmada (2014), Londra'daki tipik teras evlerin kullanılan elektrik ve sıcak su sistemlerine karşılık, hibrit PVT sistemlerin uygunluğu değerlendirilmektedir. Tamamen kolektörler ile kaplanmış bir binanın % 51 toplam elektrik ihtiyacı ve % 36 toplam sıcak su ihtiyacı bu hibrit sistem ile karşılanabilmektedir [21, 22].

Yi vd. (2015) makalede, şematik aşamalarında yapı formu optimizasyonunu incelemek için enerji-emerji yaklaşımıyla entegre yeni bir metodoloji olan çevresel bina tasarımını sunmaktadır. Bir orta boy ofis binası pilot çalışma seçilerek temel geometri, en boy oranı, pencere-duvar oranı, inşaat tipleri vb. gibi erken tasarım kararlarının sonuçlarının değerlendirildiği çalışmada entegre enerji emerji yaklaşımı bina form optimizasyonunu içermektedir [23].

Hoof vd. (2015), makalede altı pasif iklim değişikliğine uyum önlemleri etkinliğini yapı elemanları düzeyinde bina enerji simülasyonları kullanarak üç genel tip konut arasında uygulamaktadır. Bu çalışma, yeni konut binaları ve mevcut bina stokunun yenilenmesi için bu iklim değişikliğine uyum önlemlerinin etkinliğini ölçmektedir. Diğer çalışmada (2014), beş Avustralya şehrinin bir tip ticari ofis binasının enerji tüketimi üzerindeki iklim değişikliğinin olası etkileri, detaylı enerji simülasyon sonuçları ile gösterilmektedir. Gelecekteki iklim değişikliği etkilerinin, ticari ofis binaları için güçlendirme stratejilerinin tasarlanması ve değerlendirilmesinde diğer etkiler kadar önemli olmadığı, çünkü bina inşaatı ve kullanımındaki değişikliklerin enerji tüketimini çok daha fazla etkileyeceği sonucuna varılmıştır [24, 25].

Alaidroos ve Krarti (2015), konut binalarının enerji performansını artırmak amacıyla, kapsamlı bina kabuğu elemanlarının optimizasyonunu analizlerle sunmaktadır. Optimizasyon süreci yaşam döngüsü maliyeti ve enerji tasarrufuna dayandırılmıştır. Bir maliyet duyarlılık analizi, enerji maliyeti, optimum enerji tasarrufu ve enerji verimliliği önlemlerinin, başlangıç maliyetinin, yaşam döngüsü maliyetlerinden önce daha etkili olduğunu göstermiştir. Bojic vd. (2012) ise çalışmada karşılaştırmalı olarak düşük sıcaklıklarda çalışan farklı sistemleri incelemiştir. Dış duvarında ısı yalıtımı olmayan radyant panel, dış duvarı ısı yalıtımlı radyant panel, dış duvarında ısı yalıtımı olmayan radyatör sistemi ve dış duvarı yalıtımlı radyatör sistemlerinin performanslarını Energy Plus yazılımında simüle etmişlerdir. Dış duvarı yalıtımlı radyant panel sisteminin en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda çalışma prensibine sahip olan radyant panel sistemlerinin, ısı yalıtım tabakası ile katmanlaştırılması sayesinde enerji tüketim miktarları açısından ciddi pozitif değerler ortaya koyulduğu görülmektedir. Özellikle gelecek dönemlerde enerji tüketim azlığı ve düşük sıcaklıklarda mekan

ısının homojen değerlerde olması sayesinde radyant sistemlerin kullanımının artacağı öngörülmektedir [26, 27].

- Deneysel çalışmalar ise, yapı kabuğu tasarım kriterlerinin optimizasyonuna yönelik çalışmalar [28] ve ışınımsal panel sistemlerini değerlendiren çalışmalar [29-47] olmak üzere iki alt grupta incelenmiştir.

Umaroğulları (2011) doktora tezinde, betonarme düşey kabuk elemanının farklı kesit biçimlenişlerinin, ısı ve nem geçişi hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Betonarme düşey kabuk seçeneklerinin en uygun sıralanışını belirleyen, yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemesi değişimi ve kabuk içerisindeki farklı konumunu değerlendiren bir yaklaşım ortaya konulmuştur [28].

Atılgan ve Ekici (2012), bir ofisin Fanger yöntemi kullanılarak döşemeden ve radyatörden ısıtılma durumları ile güneş enerjisi destekli döşemeden ve radyatörden ısıtılabilen sistem ile karşılaştırılmasını incelemiştir. Ölçümler sonucunda PMV ve PPD değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, döşemeden ısıtmanın daha homojen bir ısı konfor ortamı sağladığı, radyatörden ısıtma da ise radyatöre yakın kısımlarda PMV değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Isınan havanın yükselmesi sonucunda ofis binasında, radyatörle ısıtmada radyatöre yakınlık oranında değişen ve homojen olmayan bir ısı konfor oluşumu gözlenmiştir. Döşemeden ısıtma da ise PPD değerlerinde mekana yayılan ısıtma sistemi sayesinde daha düşük değerler gözlenmiştir. Ekici (2011) ise çalışmasında, sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisini kullanarak, radyatör ve döşemeden ısıtma sistemlerinin ısı konfor açısından karşılaştırmasını yapmıştır. Fanger yöntemi ile konfor analizi yapılan deneysel çalışmada, güneş enerjisi desteği ile radyatör ve döşemeden ısıtılan bir ortam kullanılmıştır. Tüm bu hesaplamalar sonucunda radyatöre yakın yerlerde PMW değeri yüksek çıkarken, yalnızca döşemeden ısıtma durumunda daha homojen bir ısı çevre oluşmaktadır [29, 30].

Abdülkarem (2008), Fanger yöntemi ile konfor analizleri gerçekleştirmiştir. Belirlenen odayı 55x55 cm' lik alanlara bölerek, bu alanların her birinin ortasından, 0.2m, 0.6m, 1.0m için hava hızı, nem, sıcaklık ve ışıma sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. Döşemeden ısıtılma durumu için dış hava sıcaklığı -12°C, ısıtma sistem su sıcaklığı ise 50°C olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak döşemeden ısıtmanın

homojen bir ısı dağılımını sağladığı, PMV değerlerinin sifıra yaklaştığı ve sifıra en yakın değerlerin ince giysi olduğu durumda sağlandığı görülmüştür. Başka bir çalışmada (2012), tavandan ve yerden radyant sistemlerdeki termal konforu inceledikleri çalışmalarında bir test odasında havalandırma ile birlikte ve bağımsız çalıştığı şartlar için deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Birleşik radyant sistemlerin sadece hava sistemlerine göre daha düşük PPD değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca birleşik tavandan radyant sistemde, birleşik yerden sisteme göre daha düşük PPD değerleri görülmüştür [31, 32].

Myhren ve Holmberg (2008), 4,8 m x 2,4 m x 2,7 m boyutlarında bir oda modeli üzerinde yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmalarında, ısıl konfor ve enerji tüketimini incelemişlerdir. Dış hava sıcaklığının -5°C alındığı modelde, ısıtma sistemi olarak yüksek sıcaklık (YS, 90-70°C) ve orta sıcaklıkta (OS, 55-35°C) radyatör, çok düşük sıcaklıkta (35-25°C) ise duvardan ve yerden radyant paneller kullanılmıştır. Deneylerde ele alınan mekân fonksiyonu (oda), bir ofis ortamı olarak düşünülmüş ve pencere etrafına doğrudan dış hava beslemesi yapan havalandırma menfezleri yerleştirilerek taze hava ihtiyacının karşılanması sağlanmıştır. Miriel vd. (2002), tavandan ısıtma - soğutma uygulamasında kullanılan radyant panellerin enerji performanslarını incelemiştir. Fransa'da iki kış ve bir yaz mevsimi boyunca yapılan deneyler sonucunda, iyi yalıtılmış binalarda tavana yerleştirilmiş sulu radyant panellerin ısıtma ve soğutmada kullanılabileceği görülmüştür. İklimsel şartların nemli olması dolayısıyla, yoğuşmayı önlemek için panel yüzey sıcaklığının minimum 17°C'de tutulması gerekmektedir. Bu yüzden karasal bölgelere göre radyant soğutma uygulanması açısından nemli bölgeler daha az uygunluk teşkil etmektedir [33, 34].

Jin vd. (2010), çalışmalarında yeni bir formülasyon geliştirdikleri yerden ısıtma ve soğutma sistemleri için zemin yüzey sıcaklığını belirlemek üzere deneyler gerçekleştirmişlerdir. Zemin iki katmana ayrılmıştır. Alt katmanın termal iletkenliği için korelasyon, makalede planlanan radyant zemin sisteminin sayısal modeline dayanılarak geliştirilmiştir. Isıl iletim için nümerik çözüm yolu ile geliştirilen korelasyonda, yüzey sıcaklığı için yapılan nümerik sonuçların da deneylerle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Böylece zemin yüzey sıcaklık değerlerinden elde edilen

sonuçların, mekan ısı konfor değerlerini oluşturduğu ispatlanmıştır. Bir diğer çalışmalarında (2010) nümerik olarak radyant soğutma borusunun termal iletkenliğinin etkisini ve suyun hızının etkisini incelemiştir. Boru iletkenliği düşük olduğunda termal iletkenliğe etkisi olmuştur, ancak su hızının etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar ile nümerik sonuçlar doğrulanmıştır [35, 36].

Zhang vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, ısı kapasite, yüzey sıcaklık dağılımının tekdüzeliği ve max/min yüzey sıcaklığı olarak tasarımcılar tarafından kabul edilen üç parametre incelenmiştir. Isı transfer katsayıları bulunarak literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır ve bütün termal dirençler analitik olarak hesaplanmıştır. Literatürdeki deneysel sonuçlar ile ortalama yüzey sıcaklığı ve ısı kapasitedeki hata payı karşılaştırılmıştır [37].

Kilkış vd. (1994), yerden ısıtma ve soğutma için analitik bir model geliştirmişlerdir. Kompozit kanat yaklaşımıyla toplam U değerini ve panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımını elde ederek, örnek bir olay üzerinde uygulamasını yapmışlardır [38].

Antonyová vd. (2013), çalışmada binalarda enerji verimliliğini artırmanın en yaygın önlemlerinden biri olarak hem mevcut hem de yenilenmekte olan binaların enerji etkinliği için ısı yalıtımının kalın tabakalar halinde oluşturulmasını amaçlamaktadırlar. Bu çalışmada, yalıtımlı duvarlarda ölçüm için tahribatsız bir yöntem geliştirilmiştir. Ölçülen değerler, binanın içindeki ve dışındaki ve yalıtım panelleri ile dış duvar arasındaki boşluktaki hava sıcaklıkları ve nemdir. Yapı kabuğunun hidrotermal özelliklerini incelemek ve geliştirmek için yeni bir model geliştirilmiştir ve sonuçlar matematiksel olarak analiz edilmiştir. Diğer makalede (2012), şap üzerinden ısıtılan zeminler için iki ısı transferi modeli olan düzenlenmiş kompozit kanat modeli ile eşdeğer ısı direnç modeli geliştirilmiştir. İki modelin doğruluğu laboratuvar testi ve farklı ısı iletimi denklemlerine dayalı sayısal simülasyon ile değerlendirilmiştir. Deneysel ve nümerik olarak simüle edilen modellerde, eşdeğer ısı direnci zeminin şekil faktörüne bağlıdır ve ısı kazançları buna göre basitleştirilmiştir [39, 40].

Koschenz vd. (1999) tarafından basit bir modelin oluşturulduğu bu çalışmada, şapa döşenen boru sistemlerinin su sıcaklığı ile oda hava sıcaklığı arasındaki ısı transfer

katsayısının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Ortaya çıkan bu model ile değişken bina modelleri için program kodunu değiştirmeye gerek kalmamıştır. TRNSYS enerji simülasyon programıyla analitik formülasyonun doğrulanması sağlanmıştır. Bir başka çalışmada (2014) sıcak iklimde bulunan Chongqing şehri, deneysel odaları iki tür enerji tüketimi ve kapalı termal çevre üzerindeki dış duvar yalıtımı etkilerini araştırmak için inşa edilmiştir. Güç tüketimi ve iki odadan termal çevre için deneysel verilerin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, enerji verimliliğini bir bina dış duvar yalıtım sistemi kullanımının artırabileceğini göstermektedir [41, 42].

Başkal (2011), toprak kaynaklı ısı pompasının duvardan ısıtma ve soğutmali durumunun etkinliğini değerlendirmektedir. Tezin hipotezi olarak, hidrolik radyant ısıtma ve soğutma sistemleri, düşük enerji ile yeterli konfor koşullarını sağlayacağından ısı pompası ile birlikte kullanılmasının uygun olacağı savunulmaktadır. Duvardan ısıtma ve soğutmali dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemini oluşturan alt sistemlerin toprak altı devresi, ısı pompası ve cihazı, duvar panellerininin ayrı ayrı kütle ve enerji analizleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, duvardan ısıtma enerji dağıtım sistemi olan duvar serpantinlerine giden ve ısıtılan mahalleri dolaştıktan sonra dönen suyun etkisi ile duvar panellerine transfer olan ısı enerjisi oldukça azdır. Geleneksel sistemlerin harcadığı enerji tüketim miktarlarının yanında toprak kaynaklı ısı pompalarının tüketimleri gözönüne alınarak, kullanımının giderek yaygınlaşması öngörülmektedir [43].

Alan (2010), deneysel bir düzenek kurarak farklı yalıtım malzemelerinin buhar geçirgenliklerini incelemiş ve bu değerlere göre, yalıtım malzemelerinin nefes alabilirliklerini karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre, lifli ısı yalıtım malzemelerinin, nefes alabilirlik açısından daha verimli olduğu görölmüştür [44].

Stetiu (1999) ABD'deki ticari binalarda radyant soğutma sistemlerinin enerji ve pik güç kazancını belirlemek için farklı bölgelerde radyant ve zorlanmış taşınımlı soğutma sistemlerini sayısal olarak modellemiştir. ASHRAE 62R standardının gerekliliklerini esas alan bu çalışma sonucunda geleneksel sistemlere göre radyant soğutma sisteminin %30 daha az enerji tükettiği ve ortam şartlandırma için ihtiyaç duyulan pik güç talebinde %27 azalma olduğu, ayrıca tüm bölgelerde yoğuşma riski olmaksızın radyant soğutma sistemlerinin kullanılabiliceği görölmüştür. Radyant

soğutma sisteminde dolaşan suyun soğutulması için kullanılan soğutma ünitesinin performans katsayısı (COP) arttırıldığında öngörülen enerji ve pik güç tasarrufu artmıştır. Daha düşük sıcaklıklarda ısı konfor sağlamada geleneksel ısıtma-soğutma sistemlerine göre radyant sistemlerin avantajlarını ortaya koymaktadır. Ayrıca tasarruf miktarı iklime bağlı olarak da değişiklik göstermektedir [45].

Parlakıyıldız (2017), yüzeyden ısıtmalı hazır duvar elemanlarının boyutlandırma çalışmalarının ardından, bir test odasında performans ve konfor analizleri gerçekleştirmiştir. Üç farklı dış ortam sıcaklığı ve her sıcaklık için üç farklı vana giriş suyu sıcaklığı oda içerisinde belirlenen beş noktadan verilmiştir. Her 15 dakikada ortalama ışımsal sıcaklık, hava akış hızı, sıcaklık ve nem değerleri ölçülmüştür. Belirlenen noktalardan duvarlara yakın yerlerde 9 farklı durum için de konfor ortamını sağladığı görülmüştür. Ancak dış hava sıcaklığının 5 °C ve vana giriş suyu sıcaklığının ise 40 °C olduğu durumda ısısal konforun sıcak yönde olduğu saptanmıştır. Bu açıdan enerji tasarrufu açısından da mekan kullanım sıklığına dikkat edilerek ısısal konfor planlaması oldukça önemlidir [46].

Çetin (2016), radyant ısıtma soğutma panellerinin ısı kapasite, yüzey sıcaklık dağılımı ve maliyetini değerlendirmiştir. Farklı boru mesafesi için folyo genişliği ile kullanılan alüminyum folyonun kalınlığı değerlendirilmiştir. Folyonun etkileri arasında genişliğinin yanında, folyo kalınlığı da arttırılarak sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, düşük dış hava sıcaklığı (-3 °C) ve yüksek vana giriş suyu sıcaklığı (40 °C) durumunda, panel verimliliğinde ve ortalama yüzey sıcaklığında artış sağlanmıştır. Ayrıca klasik sistemlere göre ilk yatırım maliyeti yüksek olan hibrit sistemde, 9.2 yıl gibi kısa bir sürede sistem maliyetinin çıktığı ortaya konulmuştur [47].

- Maliyet etkin iyileştirme çalışmaları ise, yalıtım malzemesi ve kalınlığının ekonomik analiz ve optimizasyonuna yönelik çalışmalar [48-64] ile ışımsal panel sistemlerini enerji ve maliyet açısından karşılaştıran çalışmalar [65-68] olarak ikiye ayrılmaktadır.

Bu çalışmalar yakıt türüne bağlı olarak farklı illerde yalıtım kalınlığını ve enerji tasarrufunu, maliyet ve yalıtımın geri ödeme sürelerini gösteren çalışmalardır [48-64].

Çomaklı ve Yüksel (2003), çalışmalarında kömürü yakıt olarak ele almış ve 4. Bölge illerinde kömür için optimum yalıtım kalınlığını bulmuştur. Başka bir çalışmada (2004), optimum yalıtım kalınlığının aynı zamanda CO₂ gaz salınımını % 27 oranında azalttığı gözlenmiştir [48, 49].

Sisman vd. (2007), çalışmalarında her bölgeden bir il seçerek, bu illere göre optimum kalınlık, yalıtım maliyeti, yıllık tasarruf ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır [50].

Arslan vd. (2006) ve Uçar (2010) çalışmalarında, optimum yalıtım kalınlığı hesabında yoğunmayı da hesaba katmıştır [51, 52].

Özel ise (2011) çalışmasında, sonlu farklar yöntemini kullanarak, Elazığ için (kömürün yakıt olarak kullanıldığı durumda) optimum yalıtım kalınlığı hesabı analizi yapmıştır ve bunun için sayısal bir yöntem kullanmıştır [53].

Bolattürk (2008) çalışmasında, Derece-Gün değerlerinin yerine ısıtma ve soğutma için ayrı ayrı Derece-Saat değerleri kullanıldığında, daha gerçekçi neticelere ulaşılacağını belirtmiştir [54].

Kaynaklı (2008) çalışmasında, Bursa için Derece-Saat değerleri kullanılarak farklı yakıtlar için optimum kalınlıkları belirlemiştir [55].

Uçar ve Balo (2010) çalışmada; Bitlis, Elazığ, Şanlıurfa ve Mersin illeri için, 5 farklı yakıt (Elektrik, Doğalgaz, Kömür, Fueloil, LPG) ve 4 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır [56].

Ekici vd. (2012) çalışmalarında, 3 farklı duvar yapısı için, her bölgeden bir il (İstanbul, Antalya, Kayseri, Elazığ) seçerek 5 farklı yakıt (doğal gaz, fuel oil, kömür, lpg, elektrik) için 4 farklı yalıtım malzemesi (fiberglas, XPS, EPS, poliüretan) kullanarak optimum yalıtım hesabı yapmıştır [57].

Kaynaklı (2012) çalışmasında, optimum yalıtım hesabı ile ilgili yapılan önceki çalışmaları karşılaştırmış ve ardından ısıtma ve soğutma için ayrı ayrı analizler yapmıştır [58].

İşbilir (2009), Tolun (2010) ile Arslan ve Yüksel (2010), optimum yalıtım kalınlıklarını, farklı yakıt türleri için incelemiştir [59, 60, 61].

Yılmaz (2009), Aytaç ve Aksoy (2006) ile Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2004) farklı yalıtım malzemelerinden oluşan farklı yalıtım kalınlıklarını grafikler ile belirtmiştir [62, 63, 64].

Kilkis (2006), geliştirilen kompozit ısı duvar panelinin ısıtma, havalandırma ve soğutma işlemlerini orta dereceli sıcaklıklarda yapabilen türlerini incelemiştir. (Düşük ısı - low enthalpy - enerji kaynaklarının doğrudan kullanabildiği) Bu teknoloji yüksek maliyetlerdeki donanım gerekliliğini elemekte ve sıcaklık iyileştirmesi sağlamaktadır. Analitik yaşam döngüsü, maliyet minimizasyon algoritması, ısı borularının, ısı pompalarının, rüzgâr turbünlerinin, solar kolektörlerin ve soğutma üniteleri ile alternatif enerji kaynaklarının toplandığı bu yeni teknoloji, en uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Sonuçlar optimum bir tasarım ile düşük ısı enerji kaynaklarının kolayca bulunabileceğini, bu sistemin etken olarak fosil yakıt bağımlılığını ve binaların zararlı misyonlarını azaltacağını belirtmektedir. Enerji tüketimi, atık miktarı ve CO₂ emisyon miktarları gözönüne alındığında radyant tipli, temiz kaynaklı ve bütüncül mekanik sistemlerin performansları optimum seviyededir. Ayrıca mekanlarda, fonksiyona bağlı olarak istenilen ısı konfor değerlerinin sağlanması oldukça hızlı ve geleneksel sistemlere göre daha homojen bir şekilde gerçekleştirilmektedir [65].

Martinopoulos ve Tsalikis (2014), müstakil bir evin solar mekân ve ısıtma su sistemine göre teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmaktadır. Dört iklimsel zona göre tasarlanan her bir zon için yapılan enerji analizidir. Net bugünkü değer ve geri ödeme maliyetlerini içeren finansal analizde, güneş kolektör sistemlerini ve depolama tanklarını ilişkilendirmektedir. Bu sayede yıllık sistem analizleri fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyon miktarlarında azalma ve maliyetlerde azalma görülmektedir. Güneş sistemleri tüm ısıtma yüklerinin en az %45 ini kapsamaktadır [66].

Hong vd. (2012), makalede inşaat endüstrisinin önemli malzemelere ve enerjiye ihtiyaç duymasını ve sürdürülebilir gelişimi desteklemesini ele almıştır. Kompozit strüktürel sistemlerin kullanıldığı çoklu apartman binaları için, bu strüktürel sistemlerin inşası sırasındaki enerji etkinliği incelenmiştir. Düz döşeme plağı ve hibrit kompozit çerçevelerden meydana getirilmiş duvar sistemlerinden oluşan 9

adet doğrusal apartman binalarının inşa sürecindeki enerji tüketimleri incelenmiştir. Buna göre; enerji etkin hibrit kompozit çerçeve ile inşa edilen çoklu apartman binalarının, harcanan enerjinin yaklaşık %20 sini koruduğu bulunmuştur [67].

Brandão vd. (2016), EPBD tüm Üye Devletler için binaların ve bina elemanları için minimum enerji performans gereklerinin maliyeti optimum düzeylerini hesaplamak için karşılaştırmalı bir metodoloji çerçevesinde kurulmasını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada EPBD aşamalı metodolojisi için gerekli parametreleri tanımlamaktadır. Maliyet-etkin termal iyileştirme sonuçları şunlardır: çatı ısı rehabilitasyonu birincil enerji bina tüketiminde en çok varyasyon üretir, termal kabuk rehabilitasyon önlemleri kombinasyonu daha iyi sonuçlar verir ve önlemlerin bir termal rehabilitasyon paketi ile devam etmesi daha avantajlıdır [68].

Ortaya konulan çalışmalar, yapı kabuğu tasarım kriterlerinin ve optimum tasarımının çoklu parametrelere bağlı olduğunu göstermektedir. Kesit özellikleri belirlenen U değeri, kesitte katman tercihi, hazır dış duvar elemanlarına yönelik panellerin uygun montajı, çalışma türüne uyumlu deney koşullarının sağlanması ve doğru bina simülasyon programlarının belirlenmesi gibi birçok parametre önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışmasında ortaya konulacak sonuçlara araştırma ve destek olabilecek literatür çalışmaları göstermektedir ki; ışımsal panel sistemleri hem mimari tasarım, hem üretim, hem de ısıl konfor açısından dış ve iç çevre koşullarına uyumlu planlanmalıdır. Sayısal modellemeler ile elde edilecek sonuçlar da özellikle ışımsal sistemlerin gereklilikleri olan sistem seçiminde önem kazanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde çoğunlukla, ısıtma-soğutma uygulamalarında yüksek sıcaklıkla ısıtma ve split klima ile soğutma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlere göre yenilenebilir enerji kaynaklarına daha etkin kullanabilme imkânı veren düşük sıcaklıkta ısıtma yapabilen yüzeyden ısıtma-soğutma sistemleri ön plana çıkmaya başlamıştır.

Çalışmada incelenen hibrit yapı sisteminin geliştirilmesinde; enerji verimliliği, ekonomiklik, yapının statik yükünün hafifletilmesi, işçilik giderlerinin azaltılması, uygulama süresinin kısaltılması gibi konuların optimum bir tasarımla bir araya getirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ele alınan yüzeyden ısıtma sistemli modüler hibrit duvar elemanları hem enerji, hem malzeme, hem de uygulama yönleri ile enerji etkinlik kavramını destekleyecek özelliklerdedir. Geliştirilen sistem ile konfor sıcaklığına yakın sıcaklığa sahip yüzeyler oluşturularak, insan vücudu ile çevresi arasında ısı girdi ve çıktılarının eşitlenmesi ve optimum konfor şartlarının sağlanması amaçlanmaktadır.

Tez kapsamında, yapı kabuğu seçeneklerinin performansının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım geliştirmek ve yeni bir kabuk önerisi ortaya koymak amaçlanmaktadır. Geliştirilen yaklaşımla radyant hibrit duvar sisteminin farklı iklim bölgeleri için yapı kabuğu performansı belirlenmekte ve alternatif kesitlerle karşılaştırılarak değerlendirmeler sunulmaktadır. Tez çalışması akış diyagramı Şekil 1.2'deki gibidir.



Şekil 1.2 Akış Diyagramı

1.3 Hipotez

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımla beraber inceleme konusu olan yüzeyden ısıtma sistemli radyant hibrit duvar sisteminin, farklı iklim bölgelerinde duvardan minimum ısı geçişini sağlayacağı ve ısıl performans açısından en olumlu sonucu veren kesit olacağı öngörülmektedir. Ancak yapı kabuğu performansını belirleyen ses, maliyet gibi parametreler açısından diğer kesitlere göre farklılık göstereceği de düşünülmektedir.



MODÜLER HİBRİT DUVAR ELEMANI

Modüler hibrit duvar sistemi hazır bir eleman olarak düzenlenmiştir. Panel sistemlerini oluşturan elemanların yapıda farklı işlevleri karşılamaya yönelik olarak farklı büyüklük ve ağırlıkta, farklı malzeme ve farklı konstrüktif özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu yüzden sistemi oluşturan yapı malzemeleri seçilirken, kullanım amacına uygun olması ve ihtiyaçları karşılaması birincil etken olarak dikkate alınmıştır.

Hazır duvar sistemleri olarak ele alınan hibrit duvar sisteminde hızlı inşaat ve yapım kolaylığından yararlanmak amaçlanmıştır. Bu sayede hem günümüz hızlanan yapı sektörüne hem de enerji tüketim miktar ve maliyetleri konusunda olumlu yönde avantaj sağlaması planlanmıştır. Bina taşıyıcı sistemine ek bir yük getirmeden tasarlanması ile de sistem yüklerinde azaltım elde edilmiştir.

Hazır duvar elemanlarının tasarlanmasında;

- Mimari tasarım açısından belli standart ve boyutların belirlenmesi,
- Duvar elemanının bulunduğu alana göre detaylandırılması (iç bölme duvar, dış duvar vb.),
- Birleşim noktalarının çözümü,

Hem tasarımsal hem de yapısal açıdan binaya uyumlu yüzeylerin elde edilmesi aşamaları üzerinde durularak, bu elemanlar oluşturulmuştur [69].

2.1 Tasarım Parametreleri

Modüler elemanlar, 0462.STZ.2013-2 numaralı San-Tez projesi kapsamında geliştirilen yüzeyden ısıtma soğutma sistemli iç ve dış paneller ile tamamlayıcı paneller olmak üzere 3 ana grupta toplanmaktadır. Hazır duvar panellerinin üretim

ve montaj aşamalarına hız, kolay işlenebilirlik, hafiflik ve yapıya fazla yük bindirmemeleri sayesinde katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Yüzeyden ısıtma soğutma sistemleri tasarım süreci, şematik tasarım ile başlamaktadır. Şematik tasarım sürecinde yapı ile uyumlu ve alternatifler oluşturacak tasarım modelleri üzerinde çalışılması sağlanmaktadır. Tasarım stratejisini ürüne dair yapı malzemesi, birleşim detayları vb. parametreler ile ürün-yapı uyumu oluşturmaktadır. Tasarım süreçleri arasında döngü ve etkileşimin olması ve aşamalarının sürekli birbirini etkilemesi planlamanın sağlıklı olmasında etkili olacaktır. Tasarım kararları sonucunda modüler hibrit duvar modülleri, bina kullanıcılarına, yatırımcıya ve tasarımcı-uygulayıcıya ayrı ayrı faydalar sağlamaktadır. Bu faydalar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- Hava hareketlerinin çok düşük olması sayesinde bina kullanıcılarına konforlu ve sessiz ortamda çalışma olanağı,
- Isıtma soğutma sistemlerinin panel içerisinde çözümü sayesinde kullanıcılara temiz ve bütüncül tasarım sunması,
- Mekanik sistemlerin tek bir sistem içerisinde yer alması ve küçük kanalların etkisiyle, modüllerin daha az yer kaplaması,
- Modüler olma özelliği ile hızlı montaj olanağı sağlaması,
- Düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahip olması,
- Yerden sağladığı kazanç ile tasarımcıya kesintisiz tasarım olanağı sunması,
- Yeni veya yenilenmekte olan her tipte binaya uygulanma özelliği sayesinde tasarımcılara pazarlamada kolaylık ve tercih edilme olanağı sunması.

Modüler hibrit duvar elemanı boyutlandırmasında Türkiye’de yürürlükte bulunan yönetmelikten yararlanılmıştır. Yönetmeliğin ölçülere getirdiği kısıtlamalar ile yapı fonksiyonu, aks aralıkları, taşıyıcı sistem hakkında bilgiler ön tasarım aşamalarında derlenmiştir. Elde edilen bu veriler sonucunda günümüzde sıklıkla uygulanan geleneksel yapı kabuğu ve çalışmaları gerçekleştirilen yüzeyden ısıtma soğutma sistemli modüler hibrit duvara dair parametreler, farklılıklarının gözönüne konulması için karşılaştırmalı bir tablo ile sunulmaktadır.

Tablo 2.1 Geleneksel Yapı Kabuğu ve ısıtmalı hazır duvar karşılaştırması [70]

Kriterler	Geleneksel yapı kabuğu kesiti	Isıtmalı hazır duvar
Boyutlar h:yükseklik	Değişken	2.80m, 3.00m
Boyutlar d:genişlik	Değişken	0.60m, 1.20m
Tasarım ve uygulama	Yaygın	Az yaygın
Yapım hızı	Yavaş	Hızlı
Standardizasyon	Var	Henüz yok
Kalite kontrolü	Var	Belirlenmemiş
Maliyet analizi	Var	Değişken
Değişebilirlik	Evet	Belirlenmemiş

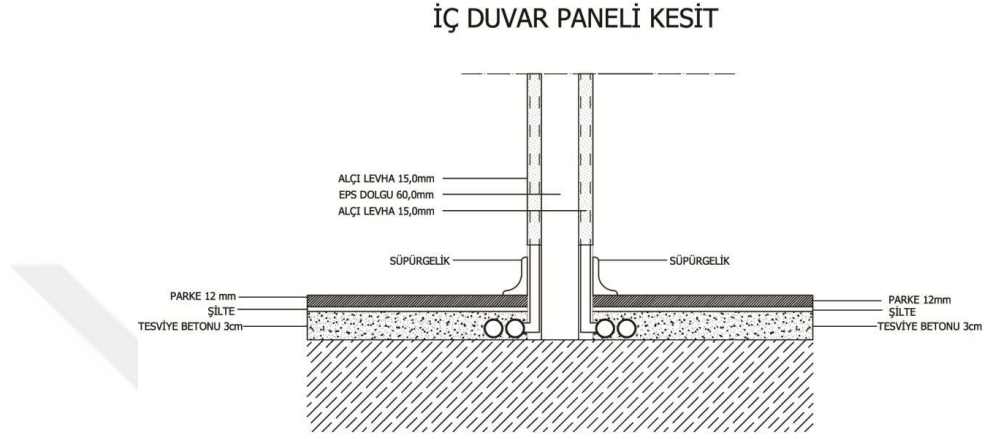
Modüler hibrit duvar elemanlarının boyutlandırma çalışmaları piyasada bulunan mevcut hazır duvar elemanları incelenerek araştırılmaya başlanmıştır. Araştırmalarda İstanbul İmar Yönetmeliği' ne göre kat yükseklik ve ölçüleri kabul edilmiştir. Diğer illerde de benzer veriler olduğu göz önünde bulundurularak ölçü ve boyutlandırmalar aynen kullanılmıştır. İstanbul İmar Yönetmeliği' nin önerdiği kat yükseklik ve oda ölçü verileri de boyutlandırma ve malzeme seçimi esnasında ayırt edici özellikleri meydana getirmiştir.

Panellerin başlıca özellikleri arasında modüler olmasından dolayı hafiflik ve kesiti oluşturan yapı malzemelerinin esnekliği, yangına dayanım ve ses yalıtım değerlerinin iyi düzeyde olması sayılabilir.

Boyutlandırmada panel genişliği için modülerlik özelliğinin yapılarda kolay uygulanabilirliği açısından 60 cm ve 120 cm, yükseklik değeri için ise İmar Yönetmeliği' nde önerilen 280 cm ve 300 cm belirlenmiştir. Ayrıca yapıda panellerin uygulanmasında sıkıntı oluşturmaması için pencere altı, kapı üstü gibi yerlerde tamamlayıcı paneller düzenlenmiştir. Bunlar 140x90 cm' lik ve 60 ile 120 cm genişliklerinde pencere alt ısıtıcı paneller ile kapı ve Fransız balkon penceresi üzeri tamamlayıcı ısıtıcı panellerdir.

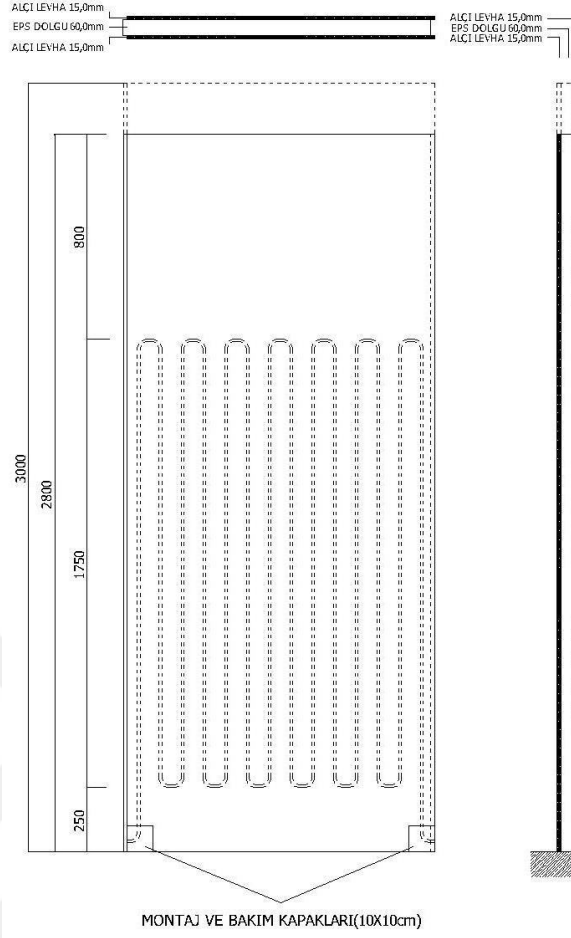
2.1.1 İç Duvarlar

İç duvar panelleri 9 cm kalınlığa sahiptir. Kesitte 1,5 cm' lik alçı levhalar arasında 6 cm EPS dolgu katmanı bulunmaktadır (Şekil 2.1). Radyant hibrit borular EPS yalıtım katmanını içerisinde yer almakta ve yüzeyden ısıtma soğutma tercihe göre her iki yüzey üzerinden sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1 İç duvar paneli kesiti [71]

120x280(300)x9 cm'lik İÇ DUVAR PANELİ

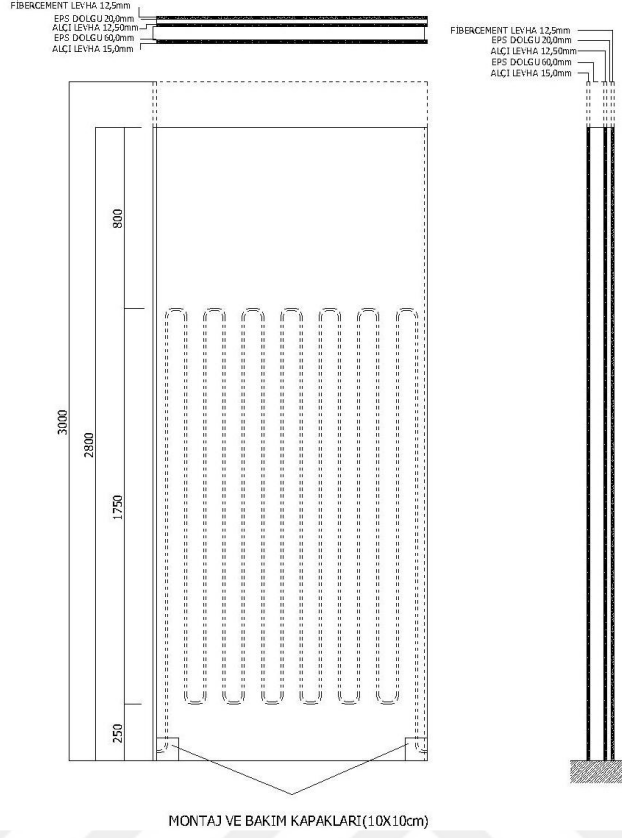


Şekil 2.2 120x280(300)x 9 cm'lik İç Duvar Paneli [71]

2.1.2 Dış Duvarlar

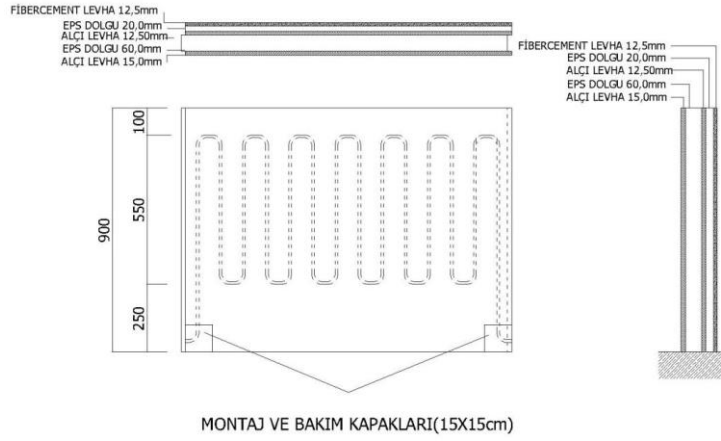
Dış duvar panelleri 12 cm kalınlıktadır. Isıtma soğutmalı dış duvar panelleri iç yüzeyde 1.25 cm ve 1.5 cm kalınlığında alçı levhalar arasında 6 cm EPS yalıtım katmanı ile dış yüzeyde 1.25 cm fibercement dış cephe kaplaması ve öncesinde 2 cm EPS katmanı şeklinde oluşmaktadır. Dış cephe kaplamasında alternatif malzeme olarak betopan malzeme ile de tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Standart dış duvar panelinde toplam 8 cm olan yalıtım kalınlığı, iklim bölgesine göre değişim gösterecektir.

120x280(300)x12 cm'lik DIŞ DUVAR PANELİ



Şekil 2.3 120x280(300)x12 cm'lik Dış Duvar Paneli [71]

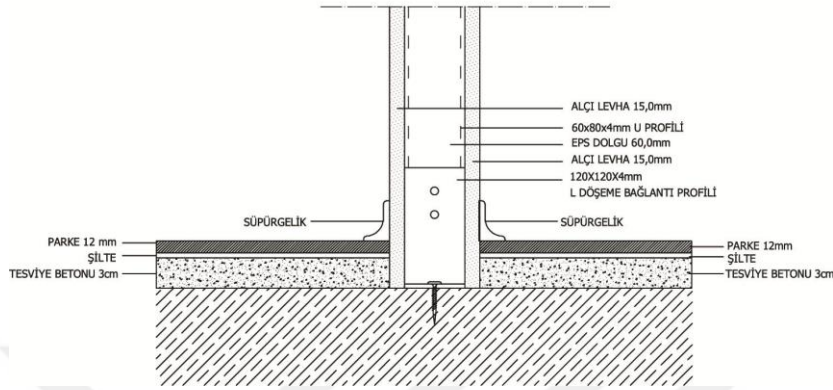
140x90x12 cm'lik DIŞ DUVAR PENCERE ALTI PANELİ



Şekil 2.4 140x90x12 cm'lik Dış Duvar Pencere Altı Paneli [71]

2.1.3 Tamamlayıcı Duvarlar

Tamamlayıcı iç ve dış duvar panelleri kesit içerisinde ısıtma soğutma işlevini yüklenen radyant boruları bulundurmamaktadır. Sadece mekan ölçülerine göre tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır.

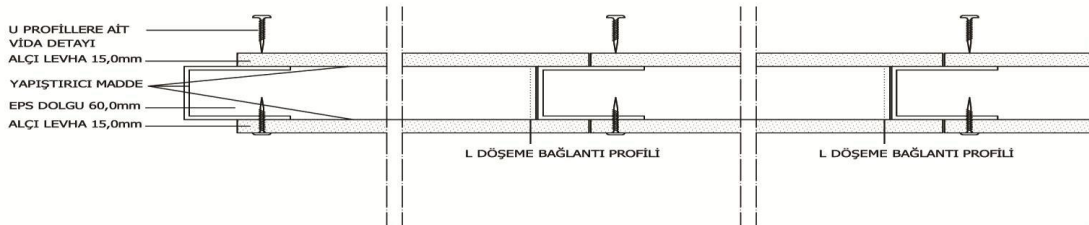


Şekil 2.5 Tamamlayıcı iç duvar paneli [71]

2.1.4 Panel Bağlantı Detayları

- İç duvar panel detayı

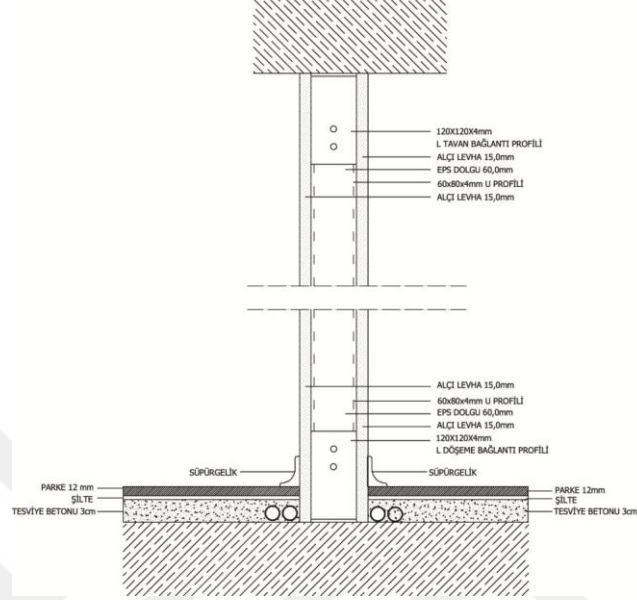
Yalıtım katmanı panel içerisinde kaydırılarak dişli bir panel sistemi meydana getirilmiştir. Bu dişli sistem birbirine geçmeli olarak duvar panellerini birbirine bağlamada kullanılmaktadır. Modüler olan panellerin üretim, montaj ve taşıma esnasında kolaylık sağlamak ve olası zarar görme ihtimallerine karşılık çıkıntılı tarafına U profil uygulanmıştır. Panelin kolon bağlantısı için U profil duvara vidalanır, başlangıç paneli ise bu profile geçirilme yolu ile birleştirilir. Panelin dış olan tarafına L döşeme bağlantı profilleri yerleştirilerek vidalar ile panel tavan ve döşemeye tutturulur.



Şekil 2.6 İç Duvar Panel Detayı [71]

- İç duvar tavan ve döşeme bağlantı detayı

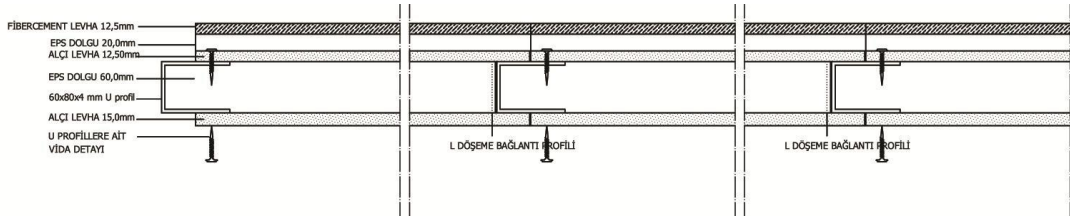
İç duvar paneli tavan ve/veya döşeme benzeri yapı iskeletine 2,5x2,5x0,3 cm L bağlantı profil ile vidalanır. Üstteki son profil paneller yerleştikten sonar sabitlenir.



Şekil 2.7 Tavan ve Döşeme Bağlantı Detayı [71]

- Dış duvar panel detayı

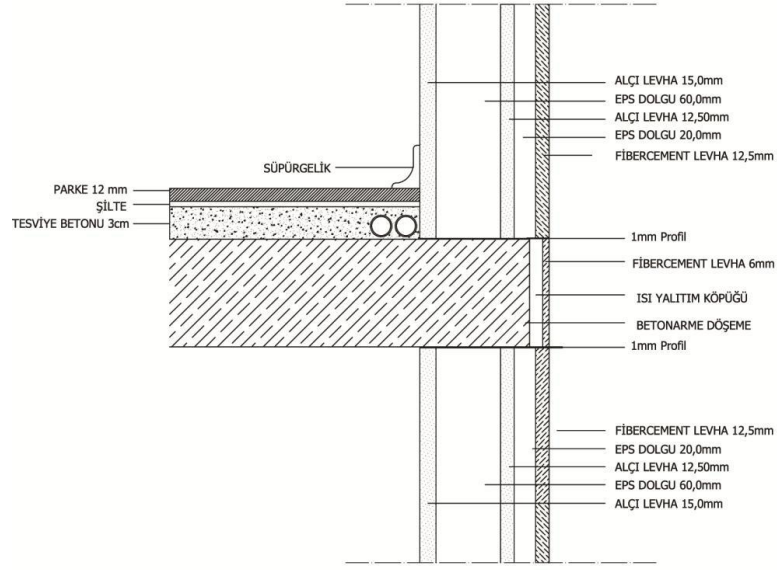
Dış duvar cephe panellerinde bağlantı, kesitte yer alan EPS dolgu katmanının kaydırılması ile oluşturulan dişli sistem ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.8 Dış Duvar Panelleri Birleşim Detayı [71]

- Döşeme bağlantı detayı

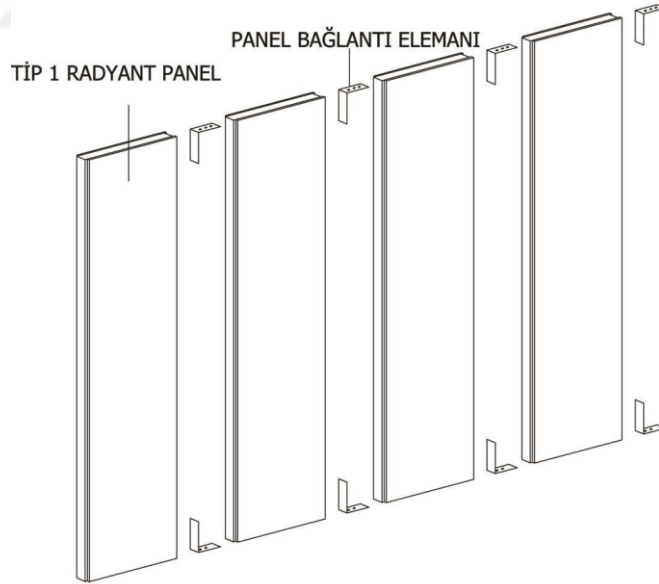
Dış cephe paneli döşeme bağlantısı, fibercement dış cephe kaplama elemanı 1 mm profil üzerine gelecek şekilde döşemeden konsol yaparak yerleştirilir. Konsol yüzünden arada kalan boşluk ısı yalıtım katmanını üzerine 6 mm fibercement kaplama uygulaması ile kapatılır.



Şekil 2.9 Döşeme Bağlantı Detayı [71]

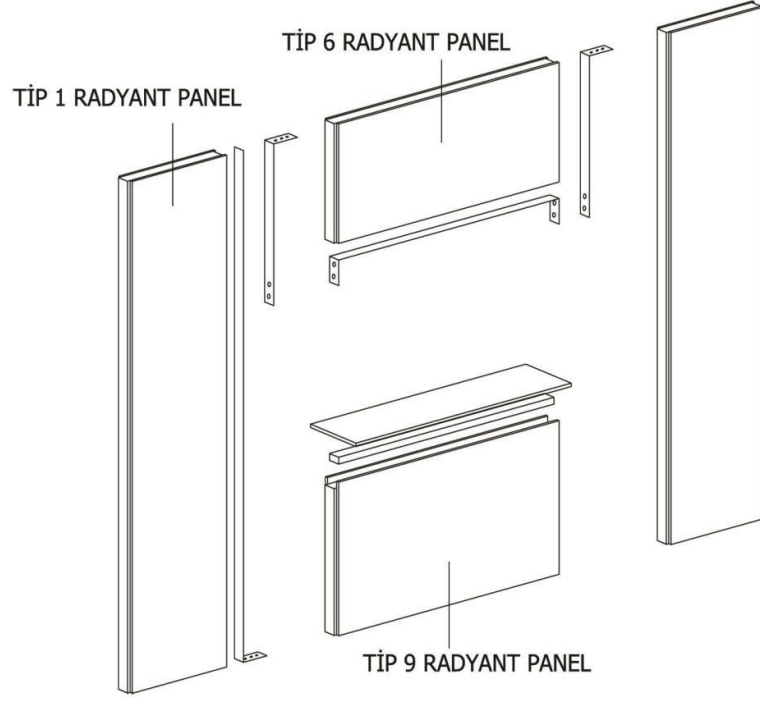
- Panellerin yardımcı panellerle döşeme ve tavana montajı

Paneller tüm yapı elemanlarına (tavan, döşeme) ve birbirlerine L profillerle vidalanarak bağlantılır.



Şekil 2.10 Panellerin döşemeye, tavana ve birbirine bağlantısı [71]

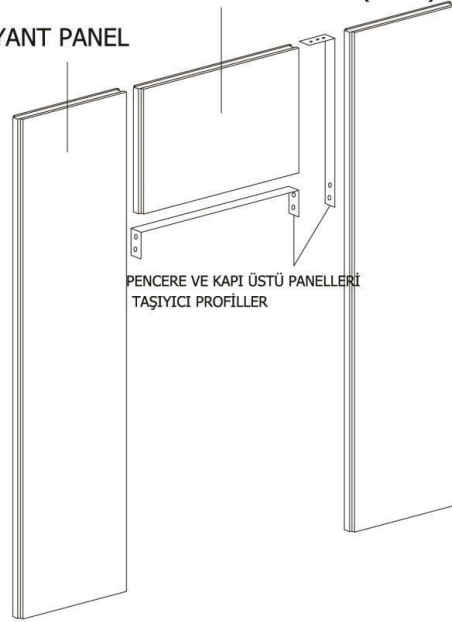
- Kapı ve pencere üstü panel bağlantı detayları



Şekil 2.11 Duvar paneli-pencere birleşimine ilişkin detaylar [71]

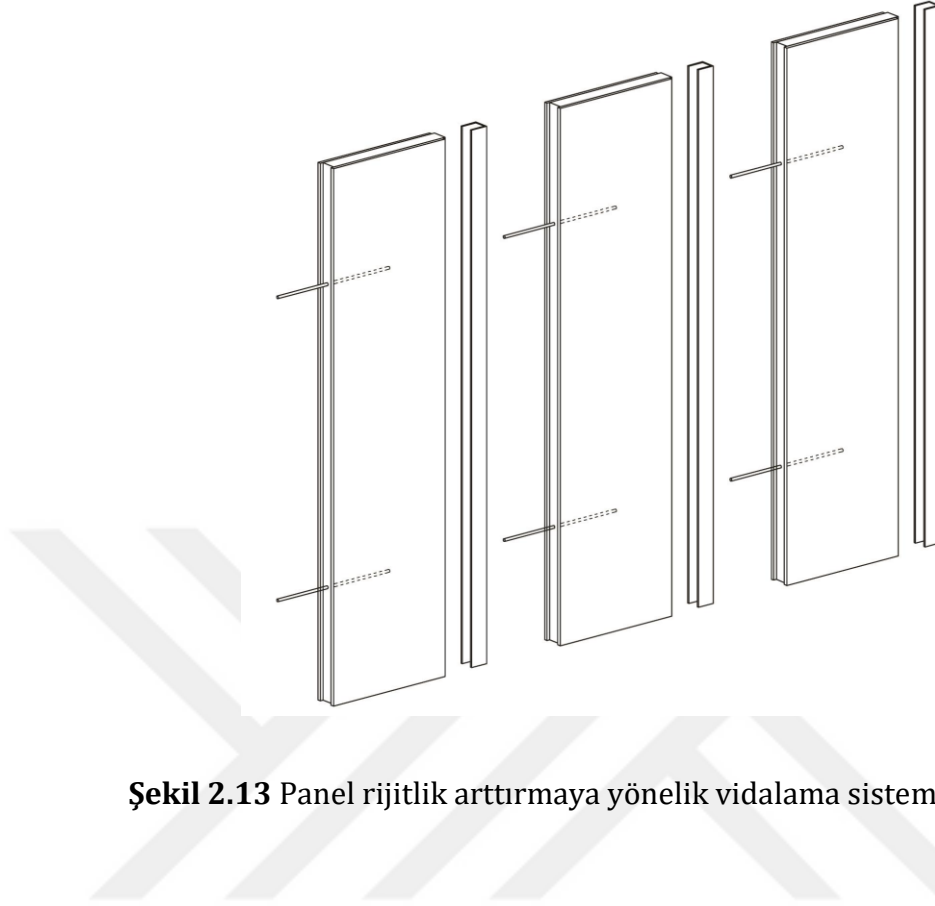
2.80m YÜKSEKLİK İÇİN 90X70cm'lik YARDIMCI PANEL (TİP 7)

TİP 1 RADYANT PANEL



Şekil 2.12 Duvar paneli-kapı birleşimine ilişkin detaylar [71]

- Duvar paneli rijitliğini arttırma



Şekil 2.13 Panel rijitlik arttırmaya yönelik vidalama sistemi [71]

2.2 Yapısal Parametreler

Hazır duvar elemanı olarak planlanan yüzeyden ısıtma soğutma sistemli duvar panellerinin kesitleri oluşturulurken ürünün çeşitli kuvvetlere dayanıklılığı, şekil değiştirmesizliği ve direnci önemlidir. Bu yüzden tüm hazır duvar türlerinde olduğu gibi kolay işlenebilme, ürünün ulaşılabilir boyutlarda olması ve performans maliyet parametresine optimum uygunluk sağlanmalıdır. Yapısal ölçütleri oluşturan parametreler dikkate alınırken özellikle malzeme seçimi çok araştırılmıştır. Kesite giren malzemelerin yeterli dayanıklılık ve geçirimsizlik sağlaması, ısıl hareketlere imkan vererek yeterli ısı geçirgenlik direncine sahip olması planlanmıştır. Hazır duvar elemanlarının kullanım yerlerine ve üründen beklenen performanlara göre belirlenen malzemeler sırası ile; dış duvarda fibercement levha veya çimentolu yonga (betopan) levha, alçı levha ve dolgu elemanı olarak da EPS ve taş yünüdür.

Tez çalışması kapsamında ele alınan hibrit duvar sistemi kesit elemanları özellikleri şu şekilde açıklanabilmektedir. Alçı levha genel özellikleri arasında hafiflik, inceliği sayesinde az yer kaplama ve modüler sisteme entegrede kolaylık, yangına ve suya dayanım sayılabilmektedir. Dolgu katmanı olarak kullanılan EPS malzemesinin ise ısı ve ses yalıtımı sağlama ve B1 yangın sınıfında olması ile yangına dayanıklılık özellikleri bulunmaktadır. Fibercement levha ise nem ve yangın dayanımı yüksek (A1 yangın sınıfı), cephe mimarisinde çeşitli tasarımlara olanak sağlayacak görsellikte ve iklimsel koşullara dayanımı yüksek bir malzeme olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Modüler hibrit duvar tasarımında dikkate alınması gereken diğer değişkenler ise;

- Isıtma ve soğutma boru düzeni, borular arası mesafe, istenilen debi, boru çapı,
- Bina ısıtma soğutma yüküne göre sistem ısı akılarının belirlenmesi,
- Radyant tesisat dağıtım sisteminin uygun tasarımı

olarak sıralanabilir [72].

Yüzeyden ısıtma soğutma sistemli hazır duvar elemanları, geleneksel yöntemlerin aksine modüler bir şekilde birbirlerine ve yapıya bağlanmaktadır. Panel birleşim noktaları dişli sistemler sayesinde birbirine geçme yöntemi ile sağlanmaktadır. Ayrıca montaj çelik karkas sistem üzerine vidalama yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.

2.3 Performans Parametreleri

Mekanik sistemlere alternatif bir ısıtma soğutma fonksiyonu ile radyant boruların dolgu katmanı içerisine yerleştirilerek mekân içi termal konfor koşullarını sağlama, sistemin genel amacını ortaya koymaktadır. Bu sayede elde edilen yapı ürünü ile diğer duvar uygulamalarına göre daha hafif bir ürün oluşturularak performans arttırımı hedeflenmektedir. Böylece yapı kabuğu kesitinde kullanılacak alternatif malzemelere karar verilmesi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ile enerji-maliyet optimizasyonu sağlanabilecektir.

2.3.1 Panelin Çalışma Prensibi

Radyant sistemlerin çalışma prensibi, mekânda bulunan hava ile değil, doğrudan kullanıcılar ve ekipmanlarla ışıınım yoluyla etkileşim haline geçmesidir. Alternatif enerji kaynağı olan ısı pompası sayesinde kesit içerisinde yer alan radyant borulara sıcak ve soğuk su sağlanarak panel içerisinde dolaşımı sağlanır. Isı aktarımını, plastik borular ışıınım yolu ile mekâna sağlarlar. ışıınım yolu ile radyant borularla alçı plaka arasında olan ısıl direncin az olması sayesinde, günümüz mekanik sistemlerine göre daha homojen ve etkili bir verimde termal konfor oluşturulmuş olur. Böylece homojen ısı dağılımı nedeni ile sağlanan ısıl konfor ile havayı kurutmayan ve kullanıcıları rahatsız edecek hava akımlarını oluşturmayan bir sistem çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca düşük enerjili bir sistem olması nedeni ile de çevre dostu bir sistemdir.

YÜZEYDEN ISITMALI HİBRİT DUVARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

3.1 Yaklaşımın Amacı

Yüksek performanslı sürdürülebilir yapıların gelişimi ve uygulanması açısından, yapı kabuğu seçim ve performans kriterlerinin belirlenmesi önemlidir. Yapılar, enerji tüketim miktarları ve çevreye verdikleri emisyon miktarları açısından bütünlük bir sistem içerisinde değerlendirilmelidir. Yapım sistemlerinden, yapı elemanı malzeme seçimleri ve birleşim detaylarına, iklim bölgesine uyumlu yerleşim ve inşaat koşullarından, topoğrafyaya uygun yönelime değin birçok karar noktasında olumlu perspektifler oluşturacak şekilde tasarımlar gerçekleştirilmelidir. Çevresel problemlerde büyük pay sahibi olan yapıların, yenilenemeyen enerji kullanımı, fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimi ile çevreye duyarlı olmayan yapı malzemeleri kullanımına karşı alternatifler ve değerlendirme yöntemi oluşturmak yaklaşımın ana çıkış noktasını oluşturmaktadır. Yapı kabuğuna dair en temel kriterler açısından değerlendirme ve analizler ile yenilikçi kabuk uygulamalarına dair bir çalışma modeli oluşturulması amaçlanmaktadır.

Tez çalışmasında yapıların çevresel performans analizlerine ve enerji tüketimlerine etki edecek şekilde geliştirilen bir yapı kabuğu değerlendirme modeli geliştirilmektedir. Geliştirilen yaklaşım ile alternatif yapı kabuğu tasarımlarının, teknolojik gelişmelere uyumlu, çeşitli bina fonksiyonlarında kullanılacak yeterlilikte ve her tür modele entegre olabilecek nitelikte olması amaçlanmaktadır.

3.2 Yaklaşımın Kapsamı

Yapılarda kullanılan enerji tüketiminin dünyadaki toplam enerji harcamalarında %45-50' lik bir paya sahip olduğu göz önüne alınırsa, temiz enerji kaynakları

kullanımının ve enerji tasarrufunun önemi daha net anlaşılmaktadır [73]. Yapının enerji performansını etkileyen parametrelerden yapı kabuğu ile ilgili ölçütler tez çalışması kapsamında incelenmektedir. İnşaat sektöründe tüketilen enerjinin % 5'i yapım aşamasında, yaklaşık %45 'i ise işletim, yapım, bakım ve onarım aşamalarında harcanmaktadır [74]. Tez çalışması kapsamında geliştirilen yapı kabuğu ve yüzeyden ısıtma sistemi sayesinde enerji tüketim ve bina işletme, bakım-onarım maliyetlerinde ciddi oranda bir tasarruf öngörülmektedir.

Türkiye' de yer alan DG bölgelerinden örnek bir il seçilerek kapsamı sınırlandırılan bu çalışmada, karşılaştırma yapılacak duvar tiplerine karar verilmesinde öncelikle örnek uygulama için seçilen mevcut binanın cam giydirmeye cephe olması özelliği dikkate alınarak mevcut durum seçenek olarak aynen kullanılmıştır. 0462.STZ.2013-2 no' lu SAN-TEZ projesi kapsamında, ön tasarım ve deneysel çalışmalarla belirlenen yüzeyden ısıtma sistemli optimum modüler duvar elemanı kesiti de aynen alınarak bu tez kapsamında geliştirilen yaklaşımın hesaplamalarında duvarın yalnızca ısıtmalı durumu kullanılmıştır. Diğer alternatif kesitlerin belirlenmesinde uygulamada en çok kullanılan yalıtımlı tuğla ve gaz beton duvar ile tuğla duvarın hava boşluklu ve çift katmanlı seçenekleri oluşturulmuştur. Bu seçeneklerin oluşturulmasında TS 825 standartının iklim bölgelerine göre dış duvarlar için belirlediği U değerinin sınır değerlerine uygunluk esas alınmıştır. Gerçekte sık uygulanan kesitler seçilerek, yalıtım kalınlığı ve türü eşit tutulmuştur. Kesitin ana gövde elemanlarının kalınlıkları üretimdeki boyutları esas alınarak ve birbirine yakın tutularak, toplam kesit detayı oluşturulmuştur.

Bu çerçevede, yapı kabuğu performansını belirlemeye yönelik olarak üç ana kriter ve bu kriterleri ölçmede kullanılacak programlar ve hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen kriterler ve hesaplama teknikleri şöyledir;

a- Yapı kabuğu alternatifine bağlı olarak ısı kaybı hesabı analizi:

Tez çalışması kapsamında ele alınan 5 örnek il için 7 alternatif yapı kabuğu ısı kaybı analizleri, Energy Plus' ın ara yüzü olarak geliştirilen enerji simülasyon programı Design Builder programı ile gerçekleştirilmiştir. Binayı üç boyutlu modelleme yoluyla mekanik ve genel verilerin girişi sayesinde analizlerini yapan bu program, basit saatlik hesaplama metodolojisini kullanmaktadır. Detaylı bina

enerji performansı belirlemede kullanılan enerji simülasyonu, eşzamanlı- çok zonlu hesaplama yapabilmektedir. Cam giydirme cephe dışındaki bina tasarımlarında, cephe saydamlık oranları güney %50, doğu-batı %30 ve kuzey %20 olarak kabul edilmiştir. Saydamlık oranı, cam alanının içinde bulunduğu cephenin toplam alanına oranını ifade etmektedir. Çalışma kapsamında ise, değerlendirilen yapı kabuğu alternatifine bağlı olarak program içerisinden seçilen HVAC sistem ile herbir örnek il için ısı kayıp analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kW cinsindedir.

b- Yapı kabuğu alternatifine bağlı olarak içeri geçen gürültü düzeyi hesabı:

Karayolu trafik gürültüsünün 75 dBA olduğu durum için içeri geçen gürültü düzeyi hesaplamaları "Insul" yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda 30082 sayılı Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (Binalarda Ses Yalıtımı) çerçevesinde;

- Gürültüye Karşı Hassasiyetin ve Gürültülülük Derecesinin Belirlenmesi (yönetmelik Ek 2)
- Binalarda İzin Verilen İç Gürültü Düzeyleri (yönetmelik Ek 4)
- Binalarda İzin Verilen Reverberasyon Süreleri (yönetmelik Ek 6)

uygulama örneği için gerekli kontroller sağlanmıştır [75].

c- Yapı kabuğu alteranatifine bağlı olarak maliyet hesabı:

Net Bugünkü Değer yöntemi ile yapının maliyet hesabı gerçekleştirilmiştir. Yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin bugünkü değerinden, yatırım giderlerinin bugünkü değerinin düşülmesi ile elde edilen farkı ifade eden yöntem ile yapının maliyet hesabı aşağıdaki hesaplama toplamları ile elde edilmiştir [76]. Maliyet hesaplamalarını oluşturan değerler altı adımdan meydana gelmektedir. Adımlar aşağıda sıralanmaktadır.

1. İlk yatırım maliyeti (kabuk ve ısıl maliyet): Bu yöntemde bina ekonomik ömrünün 30 yıl olarak belirlendiği çalışmada, düşey yapı kabuğu (duvar) kesitlerine dair kabuk ve ısıl maliyetten oluşan bina ilk yatırım maliyet hesabı Çevre ve Şehircilik

Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü 2019 yılı birim fiyat listesinden derlenmiştir [77].

2. Yakıt maliyeti: Yıllık yakıt sarfiyatı maliyeti hesabı belirlenen kazan tipine göre,

$$B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \times \eta_k} \quad (3.1)$$

formülü hesabı ile yapılmıştır.

B_y yıllık yakıt sarfiyatını ($m^3/yıl$), $Q_{yıl}$ yıllık ısı enerjisi ihtiyacını (kJ), H_u yakıt olarak kullanılacak doğalgazın üst ısıl değerini (kJ/m^3) ve η_k ise yakıt verimini (%) ifade etmektedir. Yakıt olarak doğalgaz tüketimi belirlenmiş ve İGDAŞ verileri esas alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır [78].

3. Elektrik tüketim maliyeti: Yıllık elektrik maliyeti hesabı ise resmi tatiller ve haftasonları haricinde günlük çalışma saatleri üzerinden ve EPDK' dan alınan elektrik birim fiyatları esas alınarak yapılmıştır [79].

4. Yıllık bakım maliyeti: Yıllık bakım-onarım maliyetleri yapı kabuğu alternatifine göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi'nden alınan değerler ile oluşturulmuştur [77].

5. Genel bakım maliyeti: Genel bakım-onarım maliyetleri de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi'nden alınan değerler ile oluşturulmuştur [77]. Sistemin her 10 yılda genel bakıma girmesi üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

6. Duvar kalınlık maliyet etkisi: Duvar birim maliyetlerinin, birbirlerine göre santimetre cinsinden kalınlıkları oranlanarak bulunmuş ve maliyet hesaplamalarına bir parametre olarak eklenmiştir.

Net Bugünkü Değer hesaplama yöntemine göre yukarıda açıklamaları yapılan tüm bu maliyet değerlerinin (TL cinsinden) toplamı ile yapı kabuğu alternatifine göre maliyet hesaplaması yapılmıştır. Bu yöntem proje kârlılığını analiz etmek açısından önemlidir.

Bu başlıklar çerçevesinde çalışma aşağıda özetlenmiştir.

Çalışmanın ana hedefi düşey yapı kabuğu elemanlarının yüzeyden ısıtma sistemli modüler üniteler halinde düzenlenerek, yapıda oluşan fazlaca mekanik yük ve enerji tüketimini azaltmak, ışınsal ısıtma sistemi ile iç mekânlarda daha homojen sıcaklık düzeylerinin oluşturulması, modülerlik özelliği ile yapım, montaj ve bakım aşamalarında kolaylık ve yerden kazanım sağlamaktır. Dolayısıyla yeni bir yapı kabuğu detayı önerilmiştir.

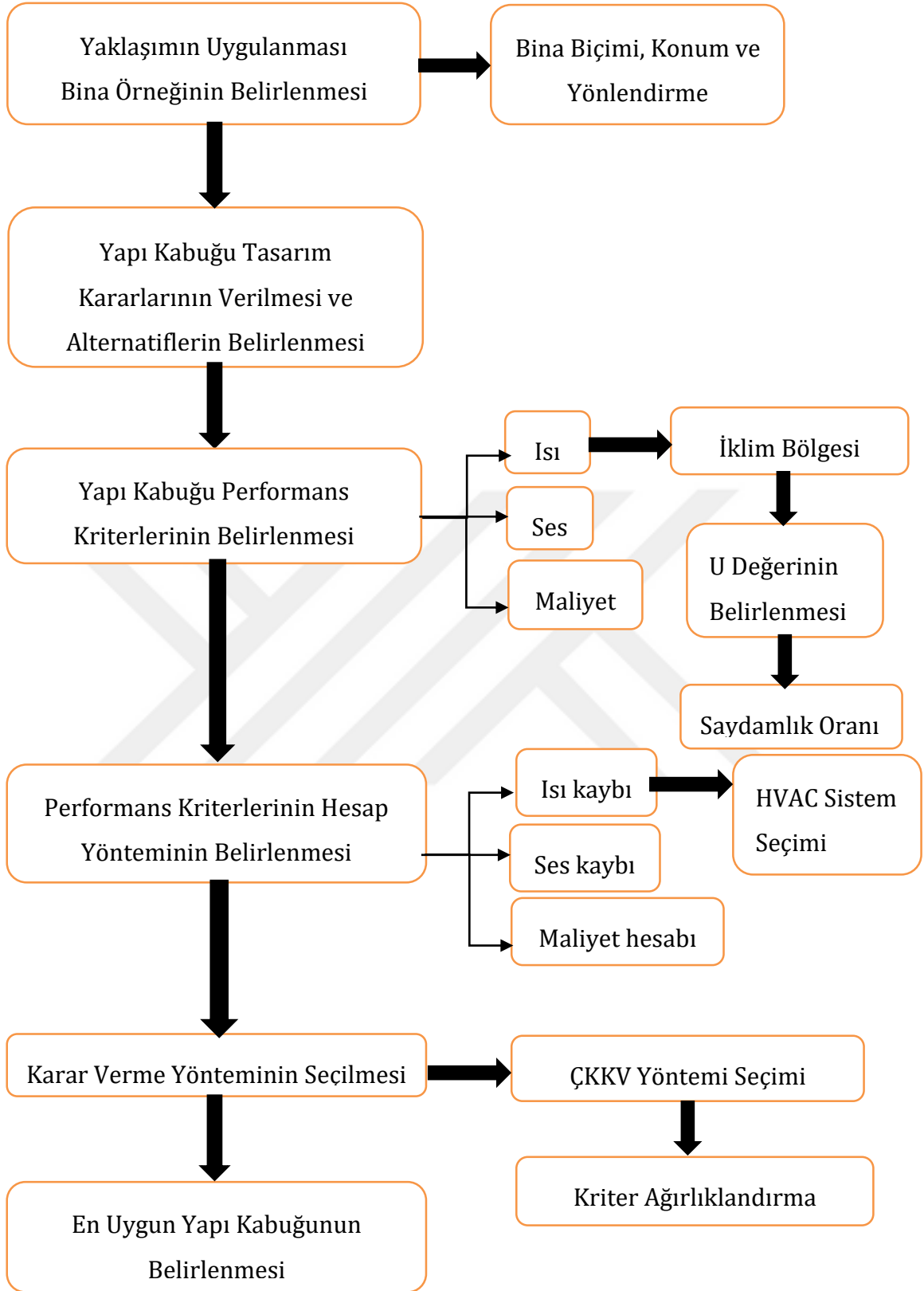
Alternatif yapı kabukları için, ısı kaybı, içeri geçen gürültü düzeyi hesabı ve maliyet hesaplamalarının yapılması ile ele alınan örnek illerde TOPSİS yöntemi (Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi) ile en uygun kesitin belirlenmesi sağlanmıştır. Bu yöntem Türkiye’de yer alan DG bölgelerinden İstanbul, Diyarbakır, Ankara, Erzurum ve Antalya için modelin uygulanmasıdır. Çalışmanın sonucunda, örnek iller açısından hesaplamaları ve analizleri değerlendirilen yapı kabuğu kesitleri arasından en uygun olanının saptanması ve çalışmanın öngörülen hipotezine yakınlığının değerlendirilmesi planlanmıştır.

3.3 Yaklaşımın Adımları

1. Yaklaşımın uygulanmasında bir bina örneği belirlenmiştir.
Bina örneğine ait mimari proje, bina biçimi, konumu ve yönlendirmesi ele alınmıştır.
2. Yapı kabuğu tasarım kararları verilerek, alternatif yapı kabuğu seçenekleri düzenlenmiştir.
3. Yapı kabuğu performans kriterleri ısı kaybı, ses kaybı ve maliyet parametreleri olarak belirlenmiştir.
Hesaplama ve analizler için iklim bölgesi seçimi, alternatif yapı kabuğu seçeneklerine dair U değerinin belirlenmesi ve yönlere göre saydamlık oranları belirlenmiştir.
4. Performans kriterlerinin hesap yöntemi belirlenmiştir.
Isı kaybı hesaplamalarında seçilen HVAC sistem türüne göre Design Builder’ da hesaplamalar yapılmıştır.
Ses kaybı hesabı “Insul” yazılımı aracılığıyla,
Maliyet hesabı ise “Net Bugünkü Değer” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

5. Karar verme yöntemi seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Kriter ağırlıklandırma adımında ise eş ağırlıklandırma uygulanmıştır.
6. Tüm adımlar sonucunda elde edilen sonuçlar baz alınarak en uygun yapı kabuğu belirlenmiştir.
Yaklaşımın adımları ve akış şeması Şekil 3.1' de verilmiştir.





Şekil 3.1 Yapı Kabuğu Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi için Önerilen Yaklaşımın Adımları ve Akış Şeması

4.1 Yaklaşımın Uygulama Bina Örneğinin Belirlenmesi

Bu yaklaşımda uygulama örneği olarak ofis binası seçilmiştir. Ofis binaları işlev, teknik ve finansal etkenlere bağlı olarak çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadırlar. Kat sayılarına göre;

- az katlı (7 kattan az),
- orta katlı (7-25 kat arası) ve
- yüksek katlı (25 kattan fazla) şeklinde sınıflandırılmaktadırlar [80].

Bina Sahipleri ve Yöneticileri Kuruluşu (BOMA) ise ofis binalarını mimari-teknik özellikler, konum ve kiralama bedeli kriterlerine göre;

- A sınıfı (prestijli ofis),
- B sınıfı (standart ofis),
- C sınıfı (klasik ofis) olarak sınıflandırmaktadır [81].

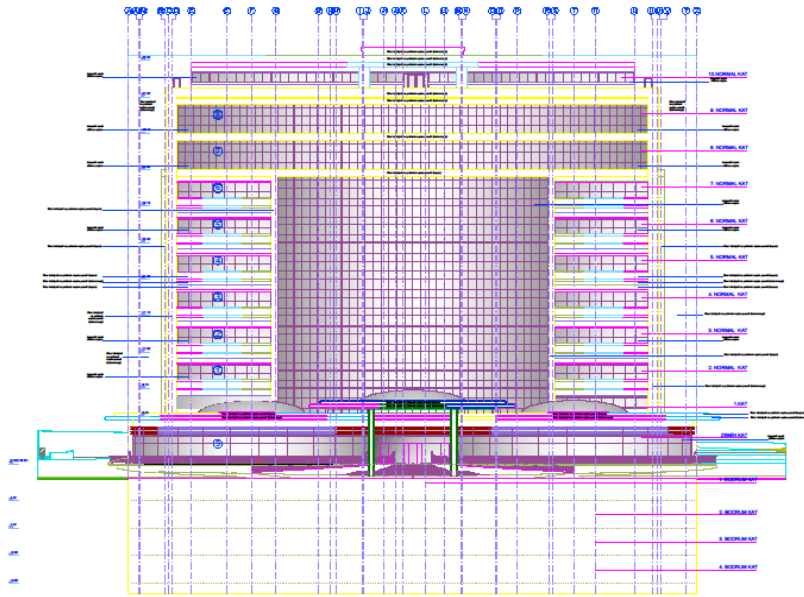
İşlev ve kullanıma bağlı olarak yapılan bir diğer sınıflandırma ise, idari ve ticari ofis binaları olmak üzere iki kategoriden oluşmaktadır. İdari ofis binaları; endüstri, siyasi ve kültürel alanlara hizmet eden kamu kurumları ve özel kuruluşlardır. Ticari ofis binaları ise; bölümleri ayrı departman ve/veya kurumlara kiralanabilen yapılardır [82].

Planlama biçim ve türlerine göre ise;

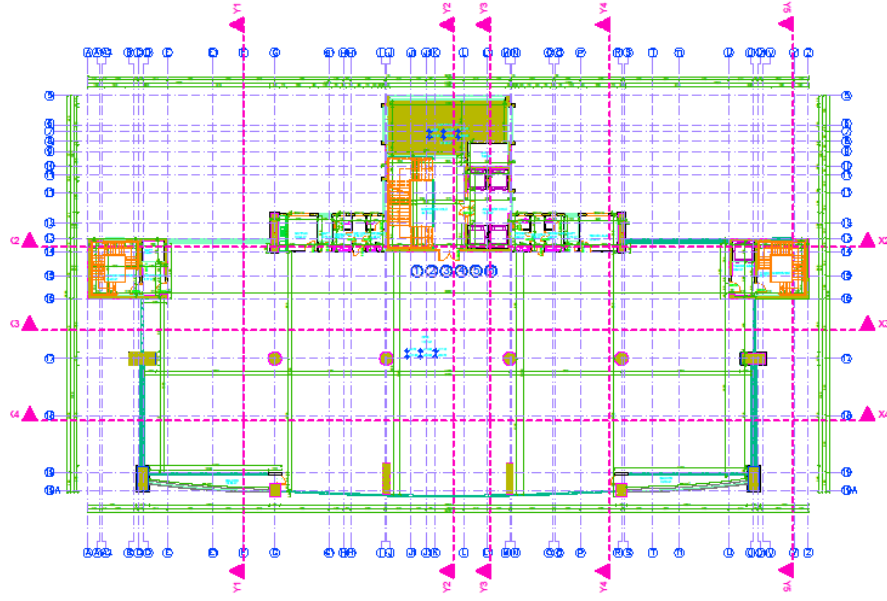
- hücre planlı,
- grup planlı,
- açık planlı,
- serbest planlı ve
- karma planlı

olarak kategorizasyon yapılmıştır. Çekirdek ve koridorun plan içerisindeki konumu, planlama tipleri açısından en önemli farklılığı oluşturmaktadır [83].

Çalışmada orta katlı, B sınıfı ve açık planlı bir ticari ofis binası kullanılmıştır. Seçilen mevcut bina Ümraniye, İstanbul' da yer almaktadır. 4 adet bodrum kat, zemin kat ve 8 normal kattan oluşan bu ofis binası 64,2 x 35,6 m ölçülerinde dikdörtgen bir plan şemasına sahiptir. Ofis yerleşimleri ve hesaplamalar açısından zemin ve 8 kat olmak üzere, 9 kat hesaplamalara dahil edilmiştir. 2285,52 m² taban alanına sahip olan bina komple cam giydirme cephe tasarımına sahiptir. Mevcut bina ön görünüş ve planı Şekil 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.1 Ofis binası ön görünüş

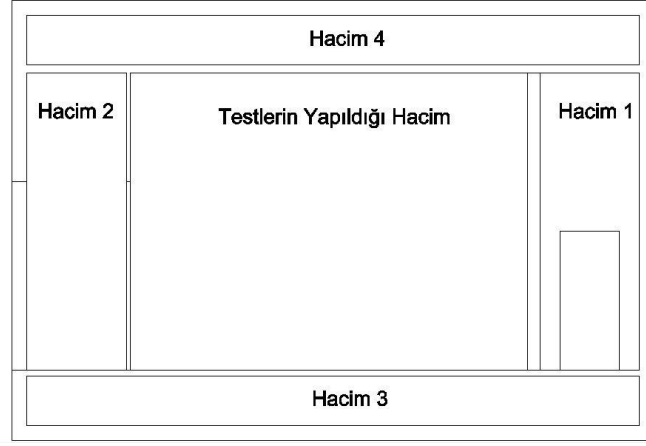


Şekil 4.2 Ofis binası normal kat planı

4.2 Yapı Kabuğu Alternatiflerinin Belirlenmesi

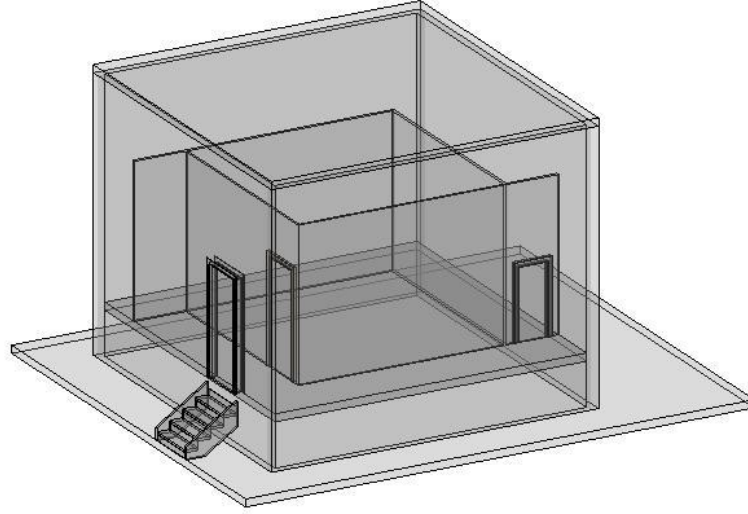
- Yüzeyden ısıtma sistemli modüler hibrit dış duvar elemanı: Alternatif 1 – A1

0462.STZ.2013-2 San-Tez projesi kapsamında numune üretimi gerçekleştirilen yüzeyden ısıtma sistemli modüler hibrit duvar elemanının deneysel çalışmaları Mir Ar-Ge firmasının (Kıraç, Beylikdüzü) test odasında yapılmıştır. Test odası toplamda 4 hacimden oluşan ve 4x4x3 m ölçülerine sahiptir. Test odası etrafındaki, dış iklim koşullarının sağlanabildiği hacim 1, komşu iç mekan koşullarının sağlandığı hacim 2, zemin hacmi hacim 3 ve tavan hacmi olan hacim 4 ile beraber toplam 8x6.4x5.5 m hacim ölçülerindedir.

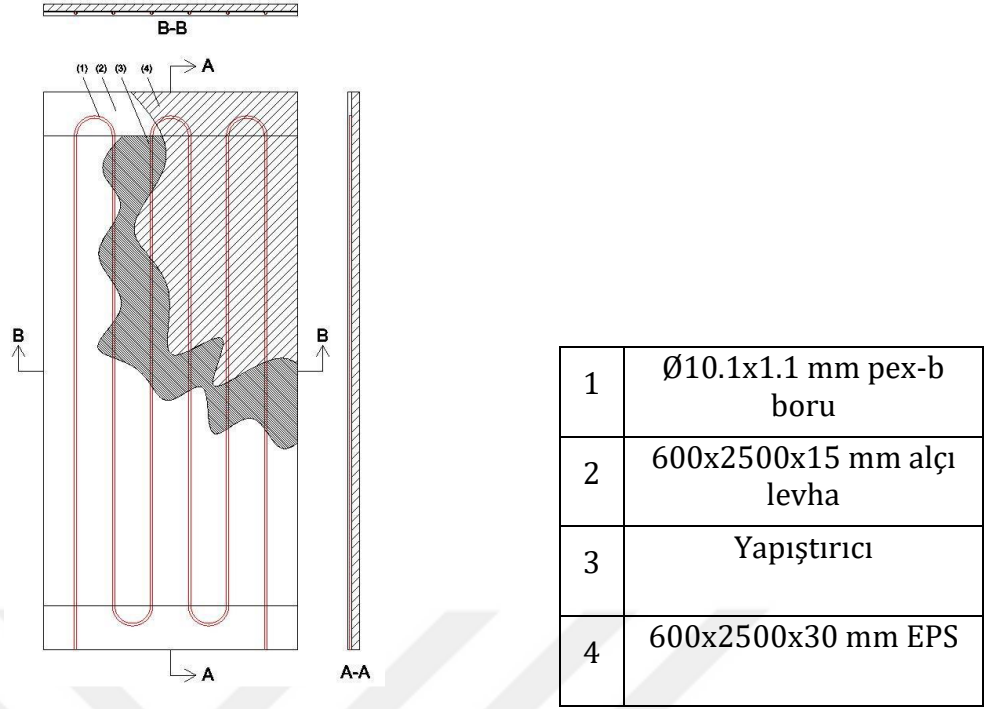


Şekil 4.3 Test Odası Kesiti [71]

Test odası yan yüzeyleri modüler panellerin birleşiminden oluşmaktadır. Tavan yüzeyi ise mevcut tavan üzerine panellerin monte edilmesiyle elde edilmiştir. Panellerin sızdırmazlık ve dayanıklılığı açısından taban panelleri, yan yüzey panelleri ve tavan panelleri kesişme noktalarına köpük sıkılmıştır.



Şekil 4.4 Test Odasına ait Model [71]



Şekil 4.5 Kullanılan panelin teknik resmi [71]

Test odası modüler panellerden elde edilen duvar elemanları ile döşenmiştir. TS 825 [84] standardına göre, duvarın sahip olması gereken ısı geçirgenlik katsayıları dikkate alınarak Türkiye ısıtma bölgeleri için veriler Tablo 4.1’ de yer almaktadır.

Tablo 4.1 Test odası duvarlarının ısı geçirgenlik katsayıları [71]

Duvar	U değeri (W/m ² K)
Dış duvar	0.4
İç duvar	0.8
Tavan	0.3
Taban	0.4

Hibrit duvar kesiti belirlenmesi TEYDEP ve SAN-TEZ projelerinde yapılan araştırma ve çalışmalara dayanmaktadır. Şöyle ki;

- Alçıpan kalınlığının borunun gizlenebileceği minimum kalınlık seçilmesinin nedenleri: kesit ağırlığını ve panel maliyetlerini azaltmak, panel yüzeyi ile boru yüzeyi arasındaki iletim ısı direncini azaltmaktır.
- 10 mm boru kullanılmasının nedeni ise, radyant sistemlerdeki alçıpan kesit kalınlıklarını düşürmektir.

- Standart binalara göre radyant sistemlerin ısı kaybı mahal içerisinde değil, panelden gerçekleştiğinden ideal yalıtım kalınlıkları farklılık göstermektedir. Boruların arka tarafındaki yalıtım kalınlıkları için de; termo-ekonomik optimizasyon sonrasında hesaplanan ideal yalıtım kalınlıkları kullanılmıştır [85].
- Geleneksel tuğla dış duvar elemanı: Alternatif 2 – A2

Geleneksel olarak ülkemizde sıklıkla uygulaması yapılan bina duvar elemanı tipi tuğla duvar elemanı olarak belirlenmiştir.

- Hava boşluklu tuğla dış duvar elemanı: Alternatif 3 – A3

Geleneksel tuğla dış duvara alternatif olarak kaplama malzemesinde farklı bir yapı elemanı ve katmanlar arasında hava boşluğu uygulaması ele alınmıştır.

- Hava boşluklu çift katmanlı tuğla dış duvar elemanı: Alternatif 4 – A4

Dış yüzeyinde taş kaplama, katmanlar arasında hava boşluğu ve iki adet 8,5 cm' lik delikli tuğladan oluşan dış duvar uygulamasıdır.

- Gaz beton dış duvar elemanı: Alternatif 5 – A5

Ülkemizde çok tercih edilen bir diğer dış duvar yapı malzemesi olarak gaz beton dış duvar analizlerde yer almaktadır.

- Hava boşluklu çift katmanlı gaz beton dış duvar elemanı: Alternatif 6 – A6

Gaz beton dış duvara alternatif olarak ana gövde elemanında iki adet 10 cm' lik gaz beton katmanı ve kesitte hava boşluğu ile dış yüzeyde taş kaplama yer almaktadır.

- Cam giydirme cephe duvar elemanı: Alternatif 7 – A7

Analizlerde kullanılmak üzere seçilen Ümraniye, İstanbul' da yer alan bina dış cephesi giydirme cam cephe'dir.

Tüm duvar alternatifleri kesit özellikleri Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Alternatif duvar kesitleri teknik özellikleri [71, 84]

Alternatif kesitler	Yapı elemanları	Yapı elemanları kalınlığı - L (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri - λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci - R (m^2K/W)	Kesit kalınlığı (m)	Toplam ısı geçiş katsayısı - U (m^2K)
Radyant Hibrit Duvar -A1	α dış			0,13	0,12	0,38
	Betopan	0,012	0,20			
	EPS	0,02	0,035			
	Alçı Levha	0,012	0,25			
	EPS	0,06	0,035			
	Alçı Levha	0,015	0,25			
	α iç			0,04		
Geleneksel Tuğla Dış Duvar - A2	α dış			0,13	0,27	0,60
	Kireç	0,03	1			
	EPS	0,03	0,035			
	Düşey delikli tuğlalar	0,19	0,42			
	Alçı sıva	0,02	0,14			
	α iç			0,04		
	Hava Boşluklu Tuğla Dış Duvar - A3	α dış				
Taş		0,10	1,3			
Hava		0,03	0,025			
EPS		0,03	0,035			
Düşey delikli tuğlalar		0,19	0,42			
Alçı sıva		0,02	0,14			
α iç				0,04		

Tablo 4.2 Alternatif duvar kesitleri teknik özellikleri [71, 84] (devamı)

Alternatif kesitler	Yapı elemanları	Yapı elemanları kalınlığı - L (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri - λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci - R (m^2K/W)	Kesit kalınlığı (m)	Toplam ısı geçiş katsayısı - U (m^2K)
Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Dış Duvar - A4	α dış			0,13	0,35	0,351
	Taş kaplama	0,10	1,3			
	Hava,durgun	0,03	0,025			
	Düşey delikli tuğlalar	0,085	0,42			
	EPS	0,03	0,035			
	Tuğlalar	0,085	0,42			
	Alçı sıva	0,02	0,14			
	α iç			0,04		
Gazbeton Dış Duvar - A5	α dış			0,13	0,28	0,395
	Kireç harcı	0,03	1			
	EPS	0,03	0,035			
	Buharla sert. Gazbetonlar	0,2	0,15			
	Alçı sıva	0,02	0,14			
	α iç			0,04		
Hava Boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Dış Duvar - A6	α dış			0,13	0,38	0,265
	Taş kaplama	0,10	1,3			
	Hava	0,03	0,025			
	Gazbeton	0,10	0,15			
	EPS	0,03	0,035			
	Gazbeton	0,10	0,15			
	Alçı sıva	0,02	0,14			
	α iç			0,04		

Tablo 4.2 Alternatif duvar kesitleri teknik özellikleri [71, 84] (devamı)

Alternatif kesitler	Yapı elemanları	Yapı elemanları kalınlığı - L (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri - λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci - R (m^2K/W)	Kesit kalınlığı (m)	Toplam ısı geçiş katsayısı - U (m^2K)
Giydirme Cam Cephe - A7	α dış			0,13	0,026	2,2
	6mm mavi Reflekte temperli + 16mm HB + 4mm	0,026	2,2			
	α iç			0,04		

Yukarıda kesit özellikleri verilen yedi alternatif duvar elemanı, belirlenen kriterlerin program veya formüllerle ele alındığı analizlerde kullanılmıştır.

4.3 Yapı Kabuğu Performans Kriterlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması

Hesaplarda yapılan kabuller aşağıda yer almaktadır.

- Cephe tasarımında saydamlık oranları güney %50, doğu-batı %30 ve kuzey %20 olarak alınmıştır.
- 30082 sayılı T.C. Resmi Gazetede yayınlanan «Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik» esas alınarak, dışarıdan içeriye geçen ses düzeyleri kontrol edilmiştir [75].
- Yapı kabuğunun en yoğun gürültü düzeyinin olduğu anayol cephesinden etkilendiği kabul edilerek, %50 saydamlık oranında olan güney cephesi hesaplamalarda kullanılmıştır. Diğer cephelerde etkili bir dış gürültü düzeyi olmadığı kabul edilmektedir.
- Anayollardaki ofis binaları için geçerli düzey olan 75 LAeq dış gürültü düzeyi sabit alınmıştır [75].

- Doğalgaz birim fiyatları 1,53 TL/m³ olarak İGDAŞ'ın 01.04.2020 tarihli güncel verilerinden alınmıştır [78].
- Elektrik birim fiyatları ise 0,5273 TL olarak EPDK'dan 01.04.2020 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere alınmıştır [79].
- Sistem ekonomik ömrü olarak 30 yıl belirlenmiştir.
- Yıllık faiz oranı (i), T.C. Merkez Bankası verileri ortalama baz alınarak %18 olarak alınmıştır [86].
- Eskalasyon oranlarında (g) son 10 yıldaki yakıt (doğalgaz), elektrik ve yıllık bakım – onarım maliyetlerindeki artış oranları değerlendirilmiştir.

4.3.1 Isı Kaybı Analizleri

Isı kaybı hesaplamalarında saatlik dinamik hesaplama metodolojisi kullanılmıştır. Energy Plus'ın ara yüzü olarak geliştirilen ASHRAE onaylı ısı denge yöntemini kullanarak, periyodik rejimde hesaplama yapan Design Builder enerji simülasyon programına veri girişi yapılarak, 3 boyutlu modelleme yolu ile enerji hesabı yapılmıştır. [87]. Programda yıllık bazda 1 Ocak – 31 Aralık tarihleri aralığında 20-25 yıllık iklim verileri ortalamasından oluşan iklim data dosyası kullanılmıştır [88].

Bu çalışma özelinde, Design Builder programı aracılığı ile ele alınan örnek illerdeki ofis binası yıllık ısı kayıp analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde belirlenen tüm duvar tiplerinin kesitte yer alan malzeme girişleri ve bina plan şeması boyutları 3 boyutlu model üzerinden hesaplanmıştır. Sadece ısıtma ayar dereceleri hibrit duvar alternatifi için 12 °C- 18 °C, diğer duvar elemanı türleri için ise 12 °C- 20 °C olarak, hesaplanmıştır [89]. Radyant sistemlerde ortalama ışımsal sıcaklık değeri yüksek olduğundan hava üst sıcaklık set değeri diğer konvansiyonel sistemlere göre düşük seçilmiştir. Prensip olarak, ısıtım ile ısıtma yapan sistemlerde ısı kaybı mahal içerisinden değil, panellerden gerçekleşmektedir [90].

Genel olarak ışımsal sistemlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

1. Isı yükü ve pik yükler azaldığı için ısıtma sistemlerinin kapasiteleri düşmektedir.
 2. Enerji tüketimleri düşmektedir.
- Işımsal sistemler düşük sıcaklıklarda çalışabilme yeteneği sayesinde düşük kalitedeki (ısı pompası, güneş enerjisi vb.) enerji kaynaklarını kullanabilme

olanağı sağlar. Taşınım esaslı sistemlere göre sağladığı radyasyon etkisiyle düşük hava sıcaklığında termal konfor şartlarını sağlar ve daha konforlu ortamlar oluşturur.

- Çalışmada, her duvar alternatifine göre belirlenen yapı kabuğu, mekânlarda kullanılacak HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) sistem türlerini de belirlemektedir. Böylece yapı kabuğu alternatiflerinin gereksinim farklarına bağlı olarak mekanik sistemler de farklılaşmaktadır. Bu seçimde ısıtma sisteminin ısı dağıtım özellikleri, mekânda uygulama biçimi ve yerinin yapı kabuğu ile uyumu gibi özellikler dikkate alınmıştır. Örneğin; geleneksel tuğla ve gaz beton dış duvar türlerinde “Radyatör” ile ısıtma tercih edilirken, giydirme cam cephe binada “Fancoil sistemler” ler kullanılmıştır. Radyant hibrit dış duvar türünde ise sisteme sıcak su boruları ile girdi sağlayan “Isı Pompası” ile ısıtma türü kullanılmıştır. Tablo 4.3’ de alternatif kesitler için seçilen HVAC sistem türleri ve Tablo 4.4’ de DB’ de gerçekleştirilen ısı kayıp analiz sonuçları (kW) yer almaktadır.

Tablo 4.3 Design Builder’ da seçilen HVAC sistem türleri [87]

Alternatif Kesit Türleri	HVAC Sistem Türü
Radyant hibrit dış duvar – Antalya –A1	Air to Water Heat Pump (ASHP) Hibrit with Gas Boiler, Nat Vent.
Radyant hibrit dış duvar – Diğer iller – A1	GSHP Ground Source Heat Pump, Heated Floor
Geleneksel tuğla dış duvar –A2	Radiator Heating, Boiler HW, Nat Vent.
Hava boşluklu tuğla dış duvar – A3	Radiator Heating, Boiler HW, Nat Vent.
Hava boşluklu çift katmanlı tuğla dış duvar – A4	Radiator Heating, Boiler HW, Nat Vent.
Gaz beton dış duvar – A5	Radiator Heating, Boiler HW, Nat Vent.
Hava boşluklu çift katmanlı gaz beton dış duvar – A6	Radiator Heating, Boiler HW, Nat Vent.
Giydirme cam cephe- A7	Fan Coil Unit (4-Pipe), Air Cooled Chiller

Tablo 4.4 Design Builder' da yapılan ısı kaybı analiz sonuçları (kW)

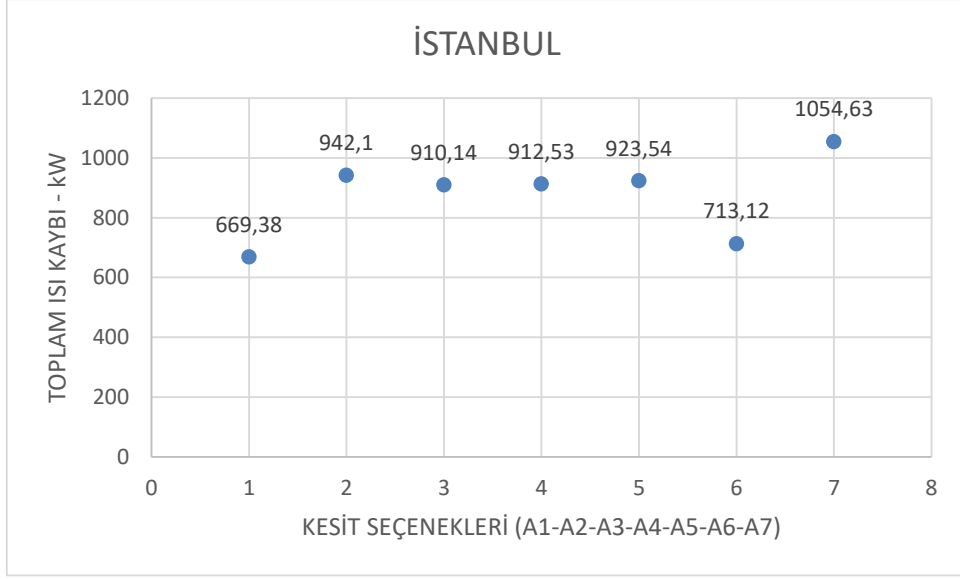
Seçilen İl	Alternatif Kesitler	Toplam Isı Kaybı (kW)
İstanbul	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	669,38
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	942,10
	HB Tuğla Dış Duvar –A3	910,14
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	912,53
	Gaz Beton Dış Duvar –A5	923,54
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	713,12
	Giydirme Cam Cephe –A7	1054,63
Diyarbakır	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	851,01
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	1172,3
	HB Tuğla Dış Duvar –A3	1130,76
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	1133,76
	Gaz Beton Dış Duvar –A5	1147,77
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	884,04
	Giydirme Cam Cephe –A7	1323,78
Ankara	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	901,36
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	1236,86
	HB Tuğla Dış Duvar –A3	1192,66
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	1195,83
	Gaz Beton Dış Duvar –A5	1210,68
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	931,77
	Giydirme Cam Cephe –A7	1399,6
Erzurum	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	1375,23
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	1852,42
	HB Tuğla Dış Duvar –A3	1782,29
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	1787,09
	Gaz Beton Dış Duvar –A5	1810,15
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	1383,22
	Giydirme Cam Cephe –A7	2137,29
Antalya	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	541,75
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	776,66
	HB Tuğla Dış Duvar –A3	750,39
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	752,35
	Gaz Beton Dış Duvar –A5	761,4
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	590,01
	Giydirme Cam Cephe –A7	867,658

Yapı kabuğunu oluşturan duvar alternatiflerine ısı kayıpları açısından bakıldığında, tüm illerde en az ısı kaybının Radyant Hibrit duvar (A₁) seçeneğinde olduğu

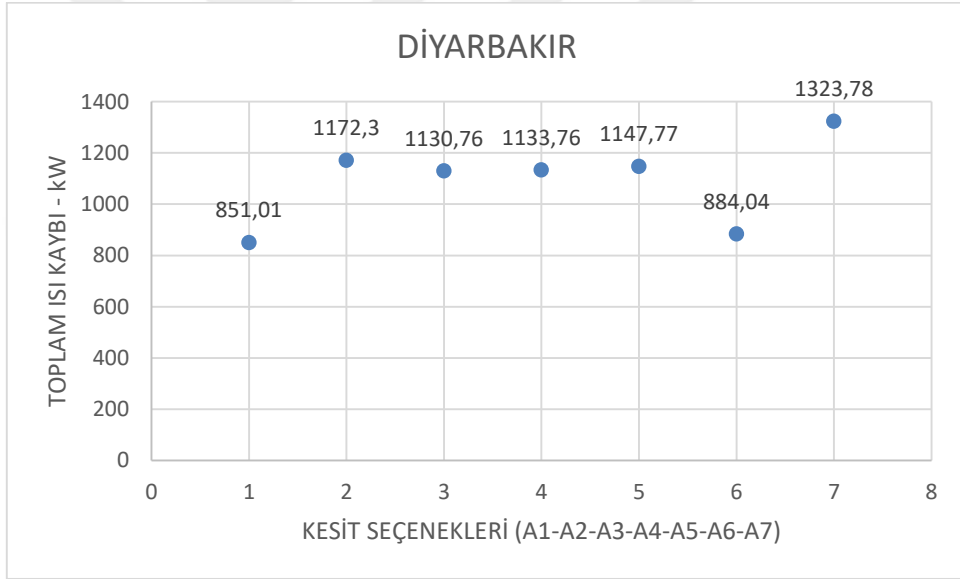
görülmektedir. Bunun nedeni kabuğun, hem ana gövde hem de diğer kesit elemanlarının düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olmasının yanında ısıtma sistemi için kullanılan HVAC türünün (toprak ve hava kaynaklı ısı pompası) bina ısı kayıp miktarını minimize edecek şekilde etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, radyant hibrit duvarın ışınlama ile ısı yayılımı nedeniyle ısıtma dönemi konfor sıcaklığı diğer sistemlere göre daha düşük (2°C daha düşük tutulmuştur) olmaktadır. Ardından yine tüm illerde ısı kayıpları yönünden, hava boşluklu çift katmanlı gaz beton duvar (A₆), hava boşluklu (A₃) ve çift katman (A₄) olarak uygulanan tuğla duvar seçenekleri, içerisinde bulunan hava boşluğu ve ana gövde malzemesinin (gaz beton, delikli tuğla duvar vb.) boşluklu yapıya sahip olması ile sıralamada yerlerini almaktadır. Sonrasında hava boşluklu tuğla duvarlara oldukça yakın değerlerde gaz beton duvar (A₅) sıralamada yerini almaktadır. Bir diğer geleneksel tuğla duvar alternatifi (A₂) olarak ele alınan uygulama ise, hava boşluksuz ve yüksek ısı iletkenlik hesap değerlerine sahip olmasından dolayı, daha fazla ısı kaybı oluşturmaktadır. En yüksek ısı kaybının ise en ince yapı elemanı kalınlığına ve en yüksek ısı iletkenlik değerine sahip olan giydirme cam cephe alternatifinde (A₇) olduğu görülmektedir. İllere göre karşılaştırma yapılırsa, Erzurum’da farklı ısıtma sistemlerine sahip olan radyant hibrit duvar (A₁) ve hava boşluklu çift katmanlı gaz beton duvar (A₆) arasındaki fark diğer dört ile oranla daha da azalarak, birbirine yaklaşmaktadır. İstanbul, Diyarbakır, Ankara ve Antalya’da ise her bir duvar seçeneği arasındaki fark yaklaşık olarak birbirine yakın miktarlarda değişim göstermektedir.

Yapılan ısı kaybı analizleri sonucunda tüm illerde, en olumsuzdan en olumsuza (düşükten yükseğe) doğru ısı kaybı sıralaması $A_1 < A_6 < A_3 < A_4 < A_5 < A_2 < A_7$ olarak belirlenmiştir.

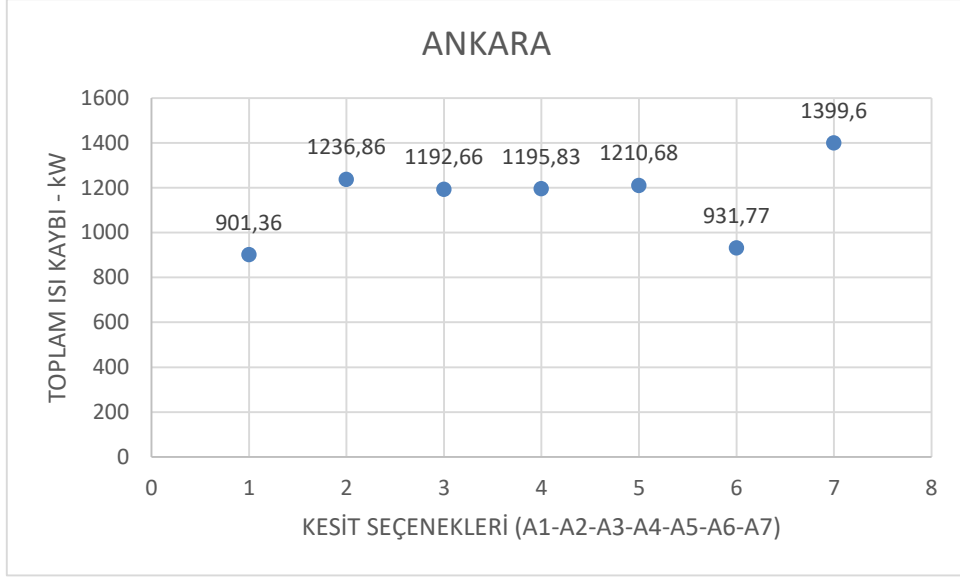
Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da illere göre ısı kayıpları, Şekil 4.11’de ise genel ısı kayıp dağılımları görülmektedir.



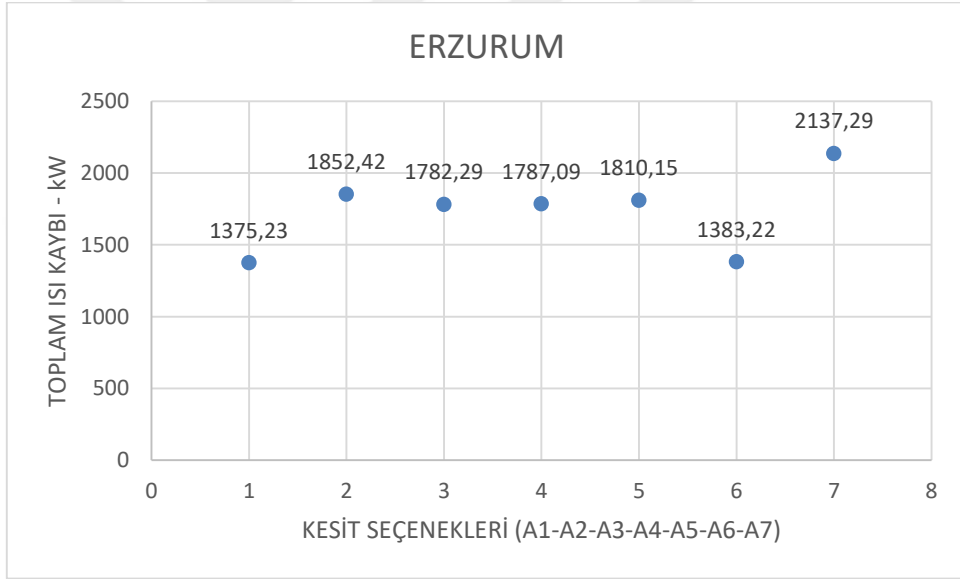
Şekil 4.6 İstanbul ısı kayıp miktarları



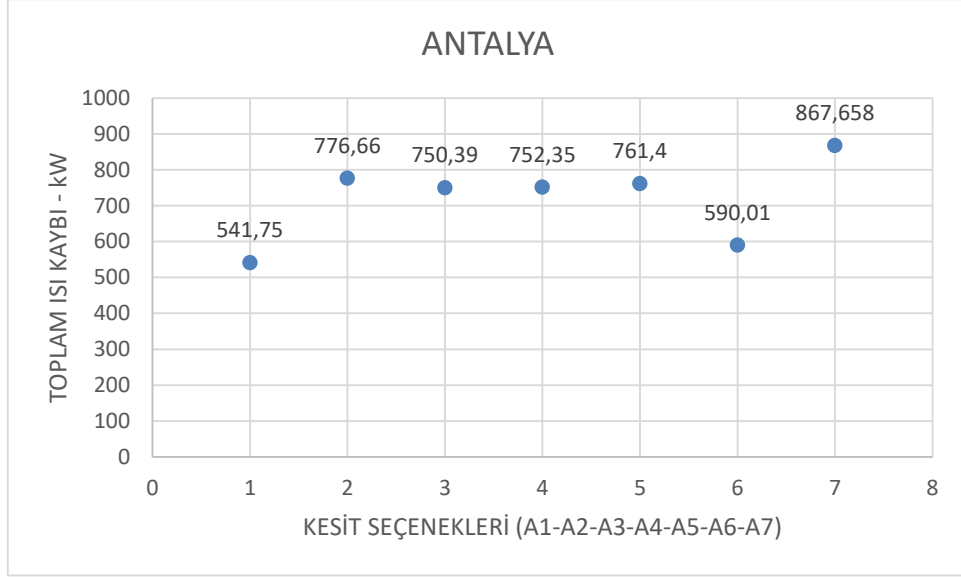
Şekil 4.7 Diyarbakır ısı kayıp miktarları



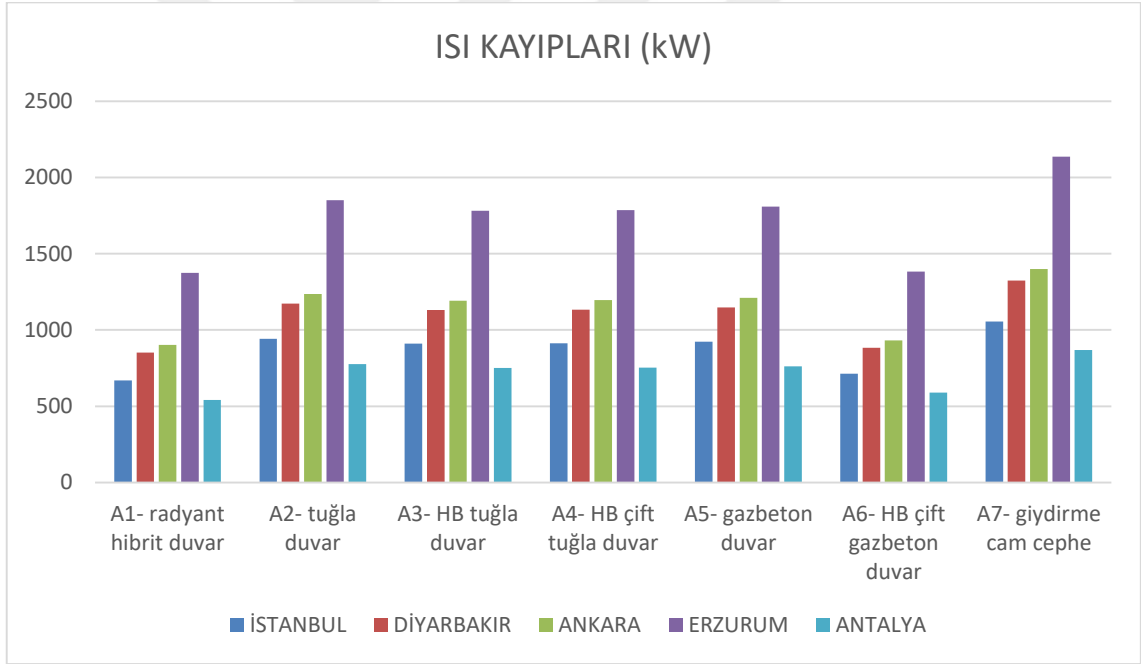
Şekil 4.8 Ankara ısı kayıp miktarları



Şekil 4.9 Erzurum ısı kayıp miktarları



Şekil 4.10 Antalya ısı kayıp miktarları



Şekil 4.11 Isı Kayıplarının İllere Göre Dağılımı

4.3.2 Ses Kaybı Analizleri

- Ofis binasının anayol kenarında, dış gürültü düzeyinin 75 LAeq olduğu bir lokasyonda yer aldığı kabul edilmektedir. İçeri geçen gürültü düzeyi

hesaplamaları ise Insul yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yazılım içeri geçen ses düzeyinin yansıma süresi, yüzey alanı gibi hacim ile ilgili özelliklerini de hesaplamalar içerisine dahil etmektedir.

- ISO 140 ve ISO 717 (Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi ve değerlendirilmesi) standartlarına göre yazılımda üçlü panel modelleme ve hesaplama yapılmaktadır. EN 12354-3'e göre Dış Mekandan İç Mekana Gürültü Geçişi Hesaplaması ile de doğrudan bir dış gürültü kaynağı seçilmektedir [91].
- Yazılım, görselleştirmenin ses eşdeğeri olan "Auralisation" ile yaşam ve çalışma alanlarının sesini modelleme ve iyileştirme sağlamaktadır.
- Ses kayıp analizlerinde, saydamlık oranı en yüksek olan güney cephesi karayolu trafik gürültüsüne maruz kalan yön olarak kabul edilmiştir.
- Hesaplamalar sonucunda 30082 sayılı Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (Binalarda Ses Yalıtımı) çerçevesinde uygulama örneği için gerekli kontroller sağlanmıştır [75].
- Hesaplamalarda kullanılan dış gürültü düzeyleri «TS EN 1793-3: Road traffic noise reducing devices» standardına dayandırılan trafik gürültü düzeyleridir.

Tablo 4.5' de duvar kesit türüne göre içeri geçen ses düzeyleri (LAeq) yer almaktadır.

Tablo 4.5 İçeri geçen gürültü düzeyi

Alternatif kesitler	Dış gürültü düzeyi	İçeri geçen ses düzeyi
Radyant Hibrit Dış Duvar + cam - A1	75	30
Geleneksel Tuğla Dış Duvar + cam - A2	75	30
HB Tuğla Dış Duvar - A3	75	29
HB Çift Tuğla Dış Duvar + cam - A4	75	29

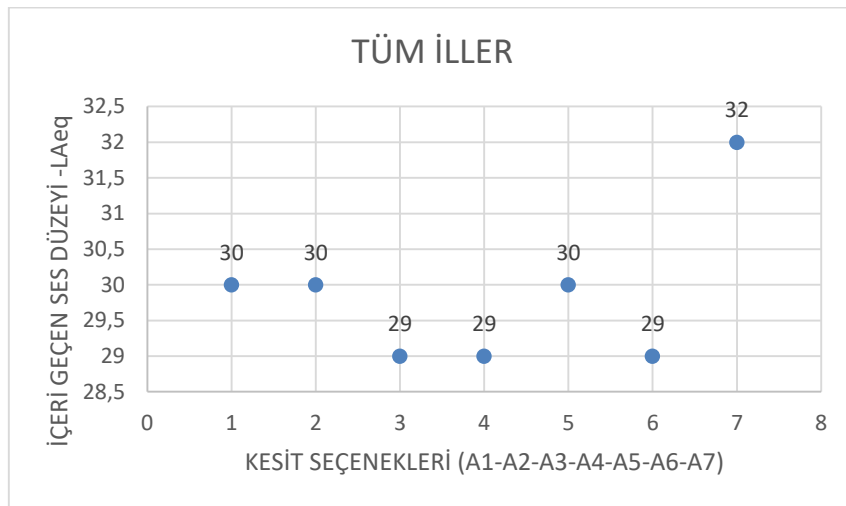
Tablo 4.5 İçeri geçen gürültü düzeyi (devamı)

Alternatif kesitler	Dış gürültü düzeyi	İçeri geçen ses düzeyi
Gaz Beton Dış Duvar + cam - A5	75	30
HB Çift Gaz Beton Dış Duvar + cam - A6	75	29
Giydirme Cam Cephe - A7	75	32

Tüm duvar alternatiflerine içeri geçen ses düzeyi açısından bakıldığında, gaz beton ile tuğla duvarın hava boşluklu ve çift katman olarak kullanımının en iyi performansı gösterdiği görülmektedir. Ardından radyant hibrit duvarın performansının dışarıdan yalıtımlı geleneksel tuğla duvar ve gaz beton duvarla eş olduğu ortaya konulmaktadır. En yüksek içeri geçen ses düzeyi ise giydirme cam cephe kabukta meydana gelmektedir.

İçeri geçen ses düzeyi analizleri sonucunda tüm illerde, sıralamanın en olumludan olumsuz (düşükten yükseğe) doğru $A_3 = A_4 = A_6 < A_1 = A_2 = A_5 < A_7$ olduğu belirlenmiştir.

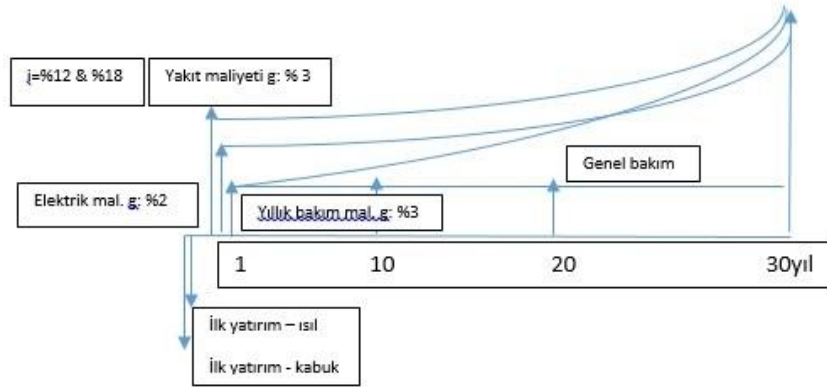
Şekil 4.12' de tüm iller için içeri geçen ses düzeyi gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Tüm illerde içeri geçen ses düzeyi

4.3.3 Maliyet Hesaplamaları

Maliyet hesaplamaları Net Bugünkü Değer hesap yöntemi ile yapılmıştır. Yöntem yatırım nakit girişlerinin bugünkü değeri ile nakit çıkışlarının bugünkü değeri arasındaki farkı ifade etmektedir.



Şekil 4.13 NBD maliyet yöntemi girdi şeması

Yöntemde öncelikle yapı kabuğuna bağlı olarak ilk yatırım maliyeti hesaplaması yapılmıştır. İlk yatırım maliyeti kabuk ve ısı maliyet olmak üzere 2 alt basamağın toplamından oluşmaktadır. Tüm bina kabuğu ve ısıtma sistem ekipman maliyet verileri ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü 2019 yılı Birim Fiyat Listesinden alınmıştır [77].

I.İlk yatırım – kabuk maliyeti hesaplaması

Tüm alternatif duvar kesitlerine ait malzeme bilgi ve fiyatlandırmalarını içeren veriler İlk yatırım kabuk maliyetlerini oluşturmaktadır.

Aşağıda genel toplam ilk yatırım kabuk maliyetleri Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6 Duvar alternatifleri ilk yatırım kabuk maliyeti

Hibrit duvar maliyeti - A1						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Alçıpan	m ²	4	1,5	6	1,08	7,08
Betopan	m ²	11	1,5	16,5	2,97	19,47
Drywall	m ²	7	1,5	10,5	1,89	12,39
EPS 20 mm	m ³	240	0,03	7,2	1,3	8,5
EPS 60 mm	m ³	240	0,09	21,6	2,89	25,49
NPU Profil	m	5,85	2,5	14,64	2,63	17,27
Pex boru	m ²	0,36	24	8,64	1,56	10,02
Yapıştırıcı	kg	11,56	0,25	2,89	0,52	3,41
İşçilik	adam/ay	1600	3/60dk	80	14,4	94,4
Enerji	kWh	0,28	2,25	0,63	0,11	0,74
Toplam				168,6	30,35	198,95
Hibrit duvar m ² maliyet						
				112,4	20,23	132,63
				m ² fiyat	alan (m ²)	Tutar (TL)
				132,63	6500,2	862.121,5
				135	3129,7	422.509
G. toplam						1.284.631,026
Tuğla dış duvar maliyeti - A2						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Wsınıfı tuğla	adet	0,8	162500	130.000	0,2	32.500
EPS 30 mm	m ³	240	198,2	47.568	1500	297.300
Alçı sıva	Kg	0,2	396.340	79.268	0,1	39.634
Boya	Kg	12,5	3963,4	49.542,5	10	39.634
Toplam				306.378,5		409.068
						715.446,5
				m ² fiyat	Penc. Alan(m ²)	Tutar (TL)
				135	3129,7	422.509,5
G. toplam						1.137.956

Tablo 4.6 Duvar alternatifleri ilk yatırım kabuk maliyeti (devamı)

Hava boşluklu tek ve çift katmanlı tuğla dış duvar maliyeti - A3 & A4						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Taş kaplama	adet	1,3	81.250	105.625	0,2	16.250
EPS 30 mm	m ³	240	198,2	47.568	1500	297.300
W sınıfı tuğla	adet	0,8	162.500	130.000	0,2	32.500
Alçı sıva	Kg	0,2	396.340	79.268	0,1	39.634
Boya	Kg	12,5	3963,4	49.542,5	10	39.634
Toplam				412.003,5		425.318
						837.321,5
				m ² fiyat	Penc. Alan(m ²)	Tutar (TL)
				135	3129,7	422.509,5
G. toplam						1.259.831
Gazbeton dış duvar maliyeti - A5						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Kireç harcı	m ³	0,2	396.340	79.268	0,1	39.634
EPS 30 mm	m ³	240	198,2	47.568	1500	297.300
Gazbeton bloklar	Adet	5,65	162.500	130.000	0,2	32.500
Alçı sıva	Kg	0,2	396.340	79.268	0,1	39.634
Boya	Kg	12,5	3963,4	49.542,5	10	39.634
Toplam				383.646,5		448.702
						834.348,5
				m ² fiyat	Penc. Alan(m ²)	Tutar (TL)
				135	3129,7	422.509,5
G. toplam						1.256.858
Hava boşluklu çift gazbeton dış duvar maliyeti - A6						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Taş kaplama	adet	1,3	81.250	105.625	0,2	16.250
EPS 30 mm	m ³	240	198,2	47.568	1500	297.300
Gazbeton bloklar	Adet	5,65	162.500	130.000	0,2	32.500
Alçı sıva	Kg	0,2	396.340	79.268	0,1	39.634
Boya	Kg	12,5	3963,4	49.542,5	10	39.634

Tablo 4.6 Duvar alternatifleri ilk yatırım kabuk maliyeti (devamı)

Toplam				412.003,5		425.318
						837.321,5
				m ² fiyat	Penc. Alan(m ²)	Tutar (TL)
				135	3129,7	422.509,5
G. toplam						1.259.831
Cam giydirmeye cephe maliyeti - A7						
Malzeme	Birim	Bir. fiy.	Miktar	Tutar	KDV	Toplam
Cam kombinasyonu						
Tentesol renkli cam; Şişecam marka 6mm mavi reflekte temperli +16 mm HB +4 mm Low-E cam	m ²	55 \$	9630	238425	20 \$	866.700
		247,5			90	
G. toplam						3.250.125

II. İlk yatırım - ısı maliyet hesaplaması

Aşağıda duvar alternatiflerine göre farklılaşan ilk yatırım - ısı maliyetleri Tablo 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11' de verilmiştir.

Tablo 4.7 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – İSTANBUL

Toprak kaynaklı ısı pompası (GSHP) ısıtma ekipmanı ve maliyeti (Hibrit duvar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Su/Toprak kaynaklı ısı pompaları (ısıtma kapasitesi 700 kW)	adet	1	471.830	471.830	13.170	13.170
Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması	m ³	33600			5,44	182.784
Bina içi Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Borulama (bağlantı)	m	15	7,5	112,5	25	375
Isı değiştirici-Toprak tarafı			16.450	16.450		
Bina tarafı ekipmanları (pompa, akümülyasyon tank,vb.)			1.998,13	1.998,13	223,31	223,31
Toplam				505.390,63		246.552
G. toplam						751.942
Radyatörle ısıtma sistemi cihaz ve ekipmanları (Tuğla ve Gaz Beton duvarlar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (475000kcal/h) 552 kW	adet	2	31.873,14	63.746,28	1.380,41	2.760,82
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Depo vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45

Tablo 4.7 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – İSTANBUL (devamı)

Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Radyatör (1500W/m)	m	380	212,51	8.0753,8	41,44	1.574,2
Radyatör Vanası	adet	200	15	3.000	5	1.000
Termostatik Radyatör Vanası	adet	200	20	4.000	5	1.000
Toplam				169.716		70.871
G. toplam						240.587
Fancoil ekipman ve maliyeti (Cam Giydirme Cephe)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Kaset tipi 4 yöne üflemlili Fancoil cihazı 20000kcal/h	adet	40	10.296	411.870,8	127,06	5.082,4
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (475000kcal/h) 552 kW	adet	2	31.873,14	63.746,28	1.380,41	2.760,82
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45
Toplam				493.833,07		58.206
G. toplam						552.039

Tablo 4.8 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – DİYARBAKIR

Toprak kaynaklı ısı pompası (GSHP) ısıtma ekipmanı ve maliyeti (Hibrit duvar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Su/Toprak kaynaklı ısı pompaları (ısıtma kapasitesi 920 kW)	adet	1	572.880	572.880	16.120	16.120
Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması	m ³	44160			5,44	240.230,4
Bina içi Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Borulama (bağlantı)	m	15	7,5	112,5	25	375
Isı değiştirici-Toprak tarafı			20.915	20.915		
Bina tarafı ekipmanları (pompa vb.)			2.540,3	2.2540,3	283,9	283,9
Toplam				611.447,8		307.009,3
G. toplam						918.457,1
Radyatörle ısıtma sistemi cihaz ve ekipmanları (Tuğla ve Gaz Beton duvarlar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (575000kcal/h) 669 kW	adet	2	37.536,72	75.073,44	1.589,98	3.179,96
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45

Tablo 4.8 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – DİYARBAKIR (devamı)

Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Radyatör (1500W/m)	m	472	212,51	100.304	41,44	19.559,68
Radyatör Vanası	adet	250	15	3.750	5	1.250
Termostatik Radyatör Vanası	adet	250	20	5.000	5	1.250
Toplam				202.344		75.603
G. toplam						277.947,2
Fancoil ekipman ve maliyeti (Cam Giydirme Cephe)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Kaset tipi 4 yöne üflemlili Fancoil cihazı 20000kcal/h	adet	57	10.296,77	586.915,89	127,06	7.242,42
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (575000kcal/h) 669 kW	adet	2	37.536,72	75.073,44	1.589,9	3.179,96
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Deposuvb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45
Toplam				680.205,32		60.785,83
G. toplam						740.991,1

Tablo 4.9 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – ANKARA

Toprak kaynaklı ısı pompası (GSHP) ısıtma ekipmanı ve maliyeti (Hibrit duvar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Su/Toprak kaynaklı ısı pompaları (ısıtma kapasitesi 920 kW)	adet	1	572.880	572.880	16.120	16.120
Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması	m ³	44160			5,44	240.230,4
Bina içi Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Borulama (bağlantı)	m	15	7,5	112,5	25	375
Isı değiştirici-Toprak tarafı			20.915	20.915		
Bina tarafı ekipmanları (pompa vb.)			2.540,3	2.2540,3	283,9	283,9
Toplam				611.447,8		307.009,3
G. toplam						918.457,1
Radyatörle ısıtma sistemi cihaz ve ekipmanları (Tuğla ve Gaz Beton duvarlar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (625000kcal/h) 727 kW	adet	2	45.074,38	90.148,76	1.687,56	3.375,12
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45

Tablo 4.9 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – ANKARA (devamı)

Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Radyatör (1500W/m)	m	500	212,51	106.255	41,44	20.720
Radyatör Vanası	adet	270	15	4.050	5	1.350
Termostatik Radyatör Vanası	adet	270	20	5.400	5	1.350
Toplam				224.069,7		77.158,57
G. toplam						301.228
Fancoil ekipman ve maliyeti (Cam Giydirme Cephe)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Kaset tipi 4 yöne üflemlili Fancoil cihazı 20000kcal/h	adet	60	10.296,77	617.806,2	127,06	9.423,6
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (575000kcal/h) 669 kW	adet	2	45.074,38	90.148,76	1687,56	3.375,12
Borulama ve Fittings	m		7,5	15.000	25	50.000
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana,vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45
Toplam				726.170		57.162,17
G. toplam						783.333,1

Tablo 4.10 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – ERZURUM

Toprak kaynaklı ısı pompası (GSHP) ısıtma ekipmanı ve maliyeti (Hibrit duvar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Su/Toprak kaynaklı ısı pompaları (ısıtma kapasitesi 700 kW)	adet	2	471.830	943.660	13.170	26.340
Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması	m ³	66240			5,44	360.345
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Borulama (bağlantı)	m	15	7,5	112,5	25	375
Isı değiştirici-Toprak tarafı			33.800	33.800		
Bina tarafı ekipmanları (pompa, akümülyasyon tank,vb.)			4.105,12	4.105,12	458,78	458,78
Toplam				996.677		437.519
G. toplam						1.434.197
Radyatörle ısıtma sistemi cihaz ve ekipmanları (Tuğla ve Gaz Beton duvarlar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (825000kcal/h) 959 kW	adet	2	61.387,5	122.775	2.014,25	4.028,5
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45

Tablo 4.10 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – ERZURUM (devamı)

Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Radyatör (1500W/m)	m	750	212,51	159.382,5	41,44	31.080
Radyatör Vanası	adet	400	15	6.000	5	2.000
Termostatik Radyatör Vanası	adet	400	20	8.000	5	2.000
Toplam				314.373,5		89.471,95
G. toplam						403.845
Fancoil ekipman ve maliyeti (Cam Giydirme Cephe)						
Kullanılan malzeme	Birim	Miktar	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Kaset tipi 4 yöne üflemlerli Fancoil cihazı 20000kcal/h	adet	92	10.296	947.302,8	127,06	11.689,52
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (825000kcal/h) 959 kW	adet	2	61.387,5	122.775	2.014,25	4.028,5
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45
Toplam				1.088.293		66.081,47
G. toplam						1.154.375

Tablo 4.11 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısı maliyet – ANTALYA

Hava kaynaklı ısı pompası (AWHP) ısıtma ekipmanı ve maliyeti (Hibrit duvar)						
Kullanılan malzeme	Birim	Mikt	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Hava kaynaklı ısı pompaları ısıtma kapasitesi 340 kW	adet	2	289.420	578.840	8.580	17.160
Bina tarafı ekipmanları (pompa,akümülasyon tank,vb.)			1.617,14	1.617,14	180,73	180,73
Toplam				580.457		17.340,7
G. toplam						597.797
Radyatörle ısıtma sistemi cihaz ve ekipmanları (Tuğla ve Gaz Beton duvarlar)						
Kullanılan malzeme	Bir.	Mikt	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (775000kcal/h) 901 kW	adet	1	60.756,03	60.756,03	1.980	1.980
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,45	363,45
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Radyatör (1500W/m)	m	320	212,51	68.003,2	41,44	13.260,8
Radyatör Vanası	adet	170	15	2.550	5	850
Termostatik Radyatör Vanası	adet	170	20	3.400	5	850
Toplam				152.925		67.304,25
G. toplam						220.229

Tablo 4.11 Duvar Alternatifleri İlk yatırım ısıl maliyet – ANTALYA (devamı)

Fancoil ekipman ve maliyeti (Cam Giydirme Cephe)						
Kullanılan malzeme	Biri m	Mikt	Malzeme bir.fiy.	Malzeme tutarı	İşçilik	İşçilik tutarı
Kaset tipi 4 yöne üflemleri Fancoil cihazı 20000kcal/h	adet	37	10.296,7	380.980	127	4.701,22
Sıvı ve gaz yakıtlı sıcak su üretici dökme dilimli kalorifer kazanları (775000kcal/h) 901 kW	adet	1	60.756	60.756	1.980	1.980
Borulama ve Fittings	m	2000	7,5	15.000	25	50.000
Kazan dairesi ekipmanları (Sirkülasyon pompası, vana, gen. Deposu, doğal gaz tesisat vb.)			3.215,99	3.215,99	363,4	363,45
Toplam				459.952		57.044,67
G. toplam						516.997

III. Yakıt gideri hesaplaması

Yıllık yakıt maliyeti önemli bir işletme gideridir. Denklem (4.1) ile yıllık yakıt sarfiyatı belirlenir.

$$B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \times \eta_k} \quad (4.1)$$

Design Builder programı ile hesaplanan yıllık ısı enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) kWh/yıl' dır. kJ/yıl birimine çevrilerek hesaplamalara dahil edilir. Seçilen yakıt türü olarak doğalgaz belirlenmiş, H_u - yakıt üst ısıl değeri - 9155 kcal/m³ (38.330,15 kJ/m³) olarak alınmıştır [92]. Binanın hesaplanan ısı kaybı doğrultusunda seçilen kazan Buderus GB 162-120 W Duvar tipi yoğuşmalı kazan tipi olarak belirlenmiştir. Kazanın ısıl kapasitesi 120 kW ve verimi (η_k) %98' dir.

Doğalgaz satış fiyatı verileri ise İGDAŞ' tan 01.05.2019 tarihiyle alınan güncel verileri gözönüne alınarak (abone doğalgaz satış fiyatı- 1,53 TL/m³) hesaplamalara dahil edilmiştir [78].

Eskalasyon (g) değeri olarak ise %3 kabul edilmiştir.

Tablo 4.12 Yıllık yakıt gideri hesabı

Seçilen il	Alternatif kesitler	Yıllık ısı enerjisi ihtiyacı - kJ	Doğalgaz tüketim maliyeti - m ³ /yıl	Tarife - TL/m ³	Yıllık enerji gideri - TL/yıl
İSTANBUL	Hibrit duvar-A1	425.194.964	0	1,53	0
	Tuğla duvar-A2	598.428.659	15.931,1	1,53	159.653,55
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	578.127.438	15.390,65	1,53	154.237,43
	HB çift tuğla duvar-A4	579.645.583	15.431,06	1,53	154.642,45
	Gazbeton duvar-A5	419.541.620	11.168,85	1,53	111.928,65
	HB çift gazbeton duvar- A6	452.978.924,86	12.059	1,53	120.849,32
	Giydirme cam cephe-A7	669.908.520	17.834	1,53	178.723,52

Tablo 4.12 Yıllık yakıt gideri hesabı (devamı)

Seçilen il	Alternatif kesitler	Yıllık ısı enerjisi ihtiyacı - kJ	Doğalgaz tüketim maliyeti - m ³ /yıl	Tarife - TL/m ³	Yıllık enerji gideri - TL/yıl
DİYARBAKIR	Hibrit duvar-A1	540.567.639	0	1,53	0
	Tuğla duvar-A2	744.653.345	19.823,83	1,53	198.664,54
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	718.266.840	19.121,38	1,53	191.624,94
	HB çift tuğla duvar-A4	720.172.462	19.172,11	1,53	192.133,33
	Gazbeton duvar-A5	533.504.136	14.202,71	1,53	142.332,47
	HB çift gazbeton duvar- A6	561.548.531	14.949,29	1,53	149.814,38
	Giydirme cam cephe-A7	840.874.525	22.385,39	1,53	224.335,19
ANKARA	Hibrit duvar-A1	572.551.590	0	1,53	0
	Tuğla duvar-A2	785.662.319	20.915,55	1,53	209.605,24
	Hava boş. tuğla duvar-A3	750.586.163	20.168,12	1,53	202.114,86

Tablo 4.12 Yıllık yakıt gideri hesabı (devamı)

Seçilen il	Alternatif kesitler	Yıllık ısı enerjisi ihtiyacı - kJ	Doğalgaz tüketim maliyeti - m ³ /yıl	Tarife - TL/m ³	Yıllık enerji gideri - TL/yıl
ANKARA	HB çift tuğla duvar-A4	759.599.770	20.221,73	1,53	202.652,06
	Gazbeton duvar-A5	565.086.635	15.043,48	1,53	150.758,3
	HB çift gazbeton duvar- A6	591.866.968,84	15.756,42	1,53	157.902,97
	Giydirme cam cephe-A7	889.035.931	23.667,52	1,53	237.184,07
ERZURUM	Hibrit duvar-A1	873.555.933	0	1,53	0
	Tuğla duvar-A2	1.176.670.434	31.324,8	1,53	313.921,5
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	1.132.123.356	30.138,87	1,53	302.036,87
	HB çift tuğla duvar-A4	1.135.172.350	30.220,05	1,53	302.850,3
	Gazbeton duvar-A5	862.439.807	22.959,5	1,53	230.088,55

Tablo 4.12 Yıllık yakıt gideri hesabı (devamı)

ERZURUM	HB çift gazbeton duvar- A6	878.631.238	23.390,53	1,53	234.408,23
	Giydirme cam cephe-A7	1.357.621.895	36.142,01	1,53	362.197,16
ANTALYA	Hibrit duvar-A1	344.123.475	0	1,53	0
	Tuğla duvar-A2	493.339.987	13.133,47	1,53	131.617,16
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	476.653.095	12.689,24	1,53	127.165,3
	HB çift tuğla duvar- A4	477.898.101	12.722,39	1,53	127.497,45
	Gazbeton duvar-A5	339.556.335	9.039,5	1,53	90.589,54
	HB çift gazbeton duvar- A6	374.778.572	9.977,18	1,53	99.986,4
	Giydirme cam cephe-A7	551.137.486	14.672,13	1,53	147.036,84

IV. Elektrik tüketim maliyeti hesaplaması

Yıllık elektrik tüketim maliyetleri hesaplanırken, elektrik birim fiyatı EPDK'dan alınan güncel verilerdir [79].

Aktif enerji bedeli	x	Elektrik fonları (%8)	+	Dağıtım bedeli	x	KDV (%8)	=	1kW için elektrik birim fiyatı
---------------------	---	-----------------------	---	----------------	---	----------	---	--------------------------------

Günde 10 saat, 200kW kapasite ile haftasonları ve resmi günlerde tatil olmak üzere ayda 20 gün çalışma gün-saat hesaplanarak toplam elektrik maliyeti TL/kWh olarak bulunmuştur.

Ayrıca radyant hibrit duvar için ısı pompasından kaynaklı elektrik tüketim miktarları da hesaplamalara eklenmiştir.

Eskalasyon (g) değeri olarak ise %2 kabul edilmiştir.

Tablo 4.13 Yıllık elektrik tüketim maliyeti hesabı

Alternatif kesitler	Elektrik tük.- kWh	Tarife - TL	Yıllık elektrik gideri - TL/kWh
Hibrit duvar-A1	762.863,09	0,5273	2.482.935,69
Tuğla duvar-A2	465.176,91	0,5273	1.514.038,85
Hava boşluklu tuğla duvar-A3	466.901,88	0,5273	1.519.653,21
HB çift tuğla duvar-A4	468.243,79	0,5273	1.524.020,81
Gazbeton duvar-A5	463.258,68	0,5273	1.507.795,47
HB çift gazbeton duvar- A6	457.547,1	0,5273	1.489.205,65
Giydirme cam cephe- A7	480.090,64	0,5273	1.562.579,45

V. Yıllık Bakım-Onarım maliyeti hesaplaması

Yıllık bakım-onarım maliyet hesabı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi verilerinden elde edilen veriler baz alınarak hesaplamalara eklenmiştir [77].

Eskalasyon (g) değeri olarak ise %3 kabul edilmiştir.

Tablo 4.14 Yıllık bakım-onarım maliyeti hesabı

Alternatif kesitler	Yıllık sistem bakım maliyeti - TL	Yıllık bakım-onarım maliyeti - TL
Hibrit duvar-A1	1500+KDV	11.593,50
Tuğla duvar-A2	2000+KDV	15.458
Hava boşluklu tuğla duvar-A3	2000+KDV	15.458
HB çift tuğla duvar-A4	2000+KDV	15.458
Gazbeton duvar-A5	2000+KDV	15.458
HB çift gazbeton duvar-A6	2000+KDV	15.458
Giydirme cam cephe-A7	3000+KDV	23.187

VI. Genel Bakım-Onarım maliyeti hesaplaması

Genel bakım-onarım maliyet hesabı da Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi verilerinden elde edilen veriler baz alınarak hesaplamalara eklenmiştir [77].

30 yıl işletme ömrüne sahip kabul edilen bina ağır bakımları ise her 10 yılda bir olmak üzere toplamda 2 kere gerçekleştirilmektedir.

Tablo 4.15 Genel bakım-onarım maliyeti hesabı

Alternatif kesitler	Ağır bakım maliyeti - TL	Genel bakım-onarım maliyeti - TL
Hibrit duvar-A1	20.000	111.000
Tuğla duvar-A2	15.000	83.250
Hava boşluklu tuğla duvar-A3	15.000	83.250
HB çift tuğla duvar-A4	15.000	83.250
Gazbeton duvar-A5	15.000	83.250
HB çift gazbeton duvar-A6	15.000	83.250
Giydirme cam cephe-A7	30.000	166.500

VI. Duvar kesit kalınlıklarının maliyete etkisi

Farklı yapı elemanı türlerinin mimari ve maliyete katkısının toplam maliyet parametresine etkisini de hesaplamalara dahil etmek amacıyla kesit kalınlıklarının maliyete etkisi de hesaplamalarda kullanılmıştır.

Herbir il için emlak endeksi fiyatlandırması farklılık göstermektedir [93]. İllere göre değişen arsa m² fiyatları üzerinden oluşturulan veriler Tablo 4.16' da görölmektedir.

Tablo 4.16 Duvar Kalınlıkları Maliyet Etkisi

Seçilen İl	Alternatif Kesitler	Kesit kalınlıkları(cm)	Maliyete etkisi(TL)
İstanbul	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	12	10.518,15
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	27	24.253,83
	HB Tuğla Dış Duvar – A3	37	37.856,8
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	35	35.655,91
	Gaz Beton Dış Duvar – A5	28	27.886,51
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	38	38.957,35
	Giydirme Cam Cephe – A7	2,6	0
Diyarbakır	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	12	4.938,45
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	27	10.142,39
	HB Tuğla Dış Duvar – A3	37	15.830,84
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	35	14.910,48
	Gaz Beton Dış Duvar – A5	28	11.661,5
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	38	16.291,07
	Giydirme Cam Cephe – A7	2,6	0
Ankara	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	12	5.601,44
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	27	12.916,38
	HB Tuğla Dış Duvar – A3	37	20.160,65
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	35	18.988,56

Tablo 4.16 Duvar Kalınlıkları Maliyet Etkisi (devamı)

Ankara	Gaz Beton Dış Duvar – A5	28	14.850,97
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	38	20.746,75
	Giydirme Cam Cephe – A7	2,6	0
Erzurum	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	12	3.850,65
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	27	8.879,24
	HB Tuğla Dış Duvar – A3	37	13.859,24
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	35	13.053,5
	Gaz Beton Dış Duvar – A5	28	10.209,15
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	38	14.262,14
	Giydirme Cam Cephe – A7	2,6	0
Antalya	Radyant Hibrit Dış Duvar – A1	12	7.086,39
	Geleneksel Tuğla Dış Duvar –A2	27	16.340,53
	HB Tuğla Dış Duvar – A3	37	25.505,25
	HB Çift Tuğla Dış Duvar –A4	35	24.022,45
	Gaz Beton Dış Duvar – A5	28	18.787,97
	HB Çift Gaz Beton Dış Duvar –A6	38	26.246,73
	Giydirme Cam Cephe – A7	2,6	0

Tablo 4.17 Net Bugünkü Değer Yöntemi ile maliyet hesabı sonuçları

İl	Alt. kesit	İlk yat-kab+ısıl	Yakıt mal.	Elekt. Tük.	Yıllık Bak.	Genel Bak.	Kes.- Mal.	NBD mal.- TL
İST.	A1	2.036.573	0	2.482.935	11.593	111.000	10.585	4.652.686
	A2	1.378.523	159.653	1.514.038	15.458	83.250	24.253	3.175.177
	A3	1.500.418	154.237	1.519.653	15.458	83.250	37.856,8	3.310.873
	A4	1.500.418	154.642	1.524.020	15.458	83.250	35.655,91	3.313.445
	A5	1.497.445	111.928	1.507.795	15.458	83.250	27.886,51	3.243.764
	A6	1.500.418	120.849	1.489.205,65	15.458	83.250	38.957	3.248.138
	A7	3.802.164,74	178.723,52	1.562.579,45	23.187	166.500	0	5.733.154,71
DİY.	A1	2.203.088,13	0	2.482.935	11.593,5	111.000	4.938,45	4.813.555,08
	A2	1.415.883,24	198.664,54	1.514.038,85	15.458	83.250	10.142,39	3.237.437,02

Tablo 4.17 Net Bugünkü Değer Yöntemi ile maliyet hesabı sonuçları (devamı)

İl	Alt. kesit	İlk yat-kab+ısııl	Yakıt mal.	Elekt. Tük.	Yıllık Bak.	Genel Bak.	Kes.- Mal.	NBD mal.- TL
DİY.	A3	1.537.77 8,24	191.6 24,94	1.519. 653,2 1	15.458	83.250	15.83 0,84	3.363.59 5,23
	A4	1.537.77 8,24	192.1 33,33	1.524. 020,8 1	15.458	83.250	14.91 0,48	3.367.55 0,86
	A5	1.534.80 5,24	142.3 32,47	1.507. 795,4 7	15.458	83.250	11.66 1,5	3.295.30 2,68
	A6	1.537.77 8,24	149.8 14,38	1.489. 205,6 5	15.458	83.250	16.29 1,07	3.291.79 7,34
	A7	3.991.11 6,15	224.3 35,19	1.562. 579,4 5	23.187	166.50 0	0	5.967.71 7,79
ANK	A1	2.203.08 8,13	0	2.482. 935	11.593, 5	111.00 0	5.601, 44	4.814.21 8,07
	A2	1.439.16 4,32	209.6 05,24	1.514. 038,8 5	15.458	83.250	12.91 6,38	3.274.43 2,79
	A3	1.561.05 9,32	202.1 14,86	1.519. 653,2 1	15.458	83.250	20.16 0,65	3.401.69 6,04

Tablo 4.17 Net Bugünkü Değer Yöntemi ile maliyet hesabı sonuçları (devamı)

İl	Alt. kesit	İlk yat-kab+ısııl	Yakıt mal.	Elekt. Tük.	Yıllık Bak.	Genel Bak.	Kes.- Mal.	NBD mal.- TL
ANK	A4	1.561.05 9,32	202.6 52,06	1.524. 020,8 1	15.458	83.250	18.98 8,56	3.405.42 8,75
	A5	1.558.08 6,32	150.7 58,3	1.507. 795,4 7	15.458	83.250	14.85 0,97	3.330.19 9,06
	A6	1.561.05 9,32	157.9 02,97	1.489. 205,6 5	15.458	83.250	20.74 6,75	3.327.62 2,69
	A7	4.033.45 8,12	237.1 84,07	1.562. 579,4 5	23.187	166.50 0	0	6.022.90 8,64
ERZ.	A1	2.718.82 8,03	0	2.482. 935	11.593, 5	111.00 0	3.850, 65	5.328.20 7,18
	A2	1.541.78 1,45	313.9 21,5	1.514. 038,8 5	15.458	83.250	8.879, 24	3.477.32 9,04
	A3	1.663.67 6,45	302.0 36,87	1.519. 653,2 1	15.458	83.250	13.85 9,24	3.597.93 3,77
	A4	1.663.67 6,45	302.8 50,3	1.524. 020,8 1	15.458	83.250	13.05 3,50	3.602.30 9,06

Tablo 4.17 Net Bugünkü Değer Yöntemi ile maliyet hesabı sonuçları (devamı)

İl	Alt. kesit	İlk yat-kab+ısıll	Yakıt mal.	Elekt. Tük.	Yıllık Bak.	Genel Bak.	Kes.- Mal.	NBD mal.- TL
ERZ.	A5	1.660.70 3,45	230.0 88,55	1.507. 795,4 7	15.458	83.250	10.20 9,15	3.507.50 4,62
	A6	1.663.67 6,45	234.4 08,23	1.489. 205,6 5	15.458	83.250	14.26 2,14	3.500.26 0,47
	A7	4.404.50 0	362.1 97,16	1.562. 579,4 5	23.187	166.50 0	0	6.518.96 3,61
ANT	A1	1.882.42 8,9	0	2.482. 935	11.593, 5	111.00 0	7.086, 39	4.495.04 3,79
	A2	1.358.16 5,45	131.6 17,16	1.514. 038,8 5	15.458	83.250	16.34 0,53	3.118.86 9,99
	A3	1.480.06 0,45	127.1 65,3	1.519. 653,2 1	15.458	83.250	25.50 5,25	3.251.09 2,21
	A4	1.480.06 0,45	127.4 97,45	1.524. 020,8 1	15.458	83.250	24.02 2,45	3.254.30 9,16
	A5	1.477.08 7,45	90.58 9,54	1.507. 795,4 7	15.458	83.250	18.78 7,97	3.192.96 8,43

Tablo 4.17 Net Bugünkü Değer Yöntemi ile maliyet hesabı sonuçları (devamı)

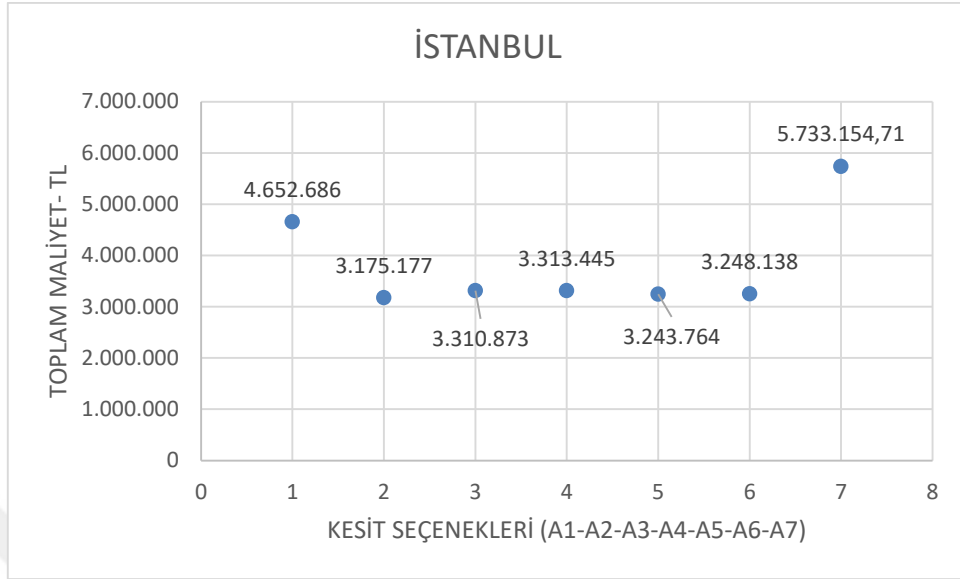
ANT	A6	1.480.06 0,45	99.98 6,4	1.489. 205,6 5	15.458	83.250	26.24 6,73	3.194.20 7,23
	A7	3.767.12 2,18	147.0 36,84	1.562. 579,4 5	23.187	166.50 0	0	5.666.42 5,47

Yapı dış kabuğunu oluşturan duvar alternatiflerine maliyet açısından bakıldığında tüm illerde en fazla maliyetin giydirmeye cam cephe (A₇) binada olduğu görülmektedir. Bu noktada, uygulamada tüm dış cephe yüzeyinde (boydan boya) uygulanan ve yüksek teknoloji ürünü olan cam malzemenin hem ilk yatırım maliyetine, hem elektrik tüketim maliyetine hem de bakım-onarım gibi diğer parametreler sonucunda toplam maliyete etkisi oldukça yüksek miktarda olmaktadır. Ardından dolu ana gövde elemanlarından oluşan alternatif duvarlar arasında en yüksek maliyet, radyant hibrit duvar (A₁) seçeneğinde belirlenmiştir. Radyant hibrit duvar seçeneğinde ise özellikle ilk yatırım maliyetlerinin (kabuk ve ısı maliyetleri) geleneksel sistemlere göre fazlalığı, maliyet sıralamasında bu duvar türünü önlere çekmektedir. Sonrasında ise sırasıyla hava boşluklu çift katman tuğla duvar (A₄), hava boşluklu tuğla duvar (A₃), hava boşluklu çift katman gaz beton duvar (A₆) ve gaz beton duvar (A₅) gelmektedir. En az maliyete sahip duvar türünün ise geleneksel tuğla duvar (A₂) alternatifi olduğu görülmektedir.

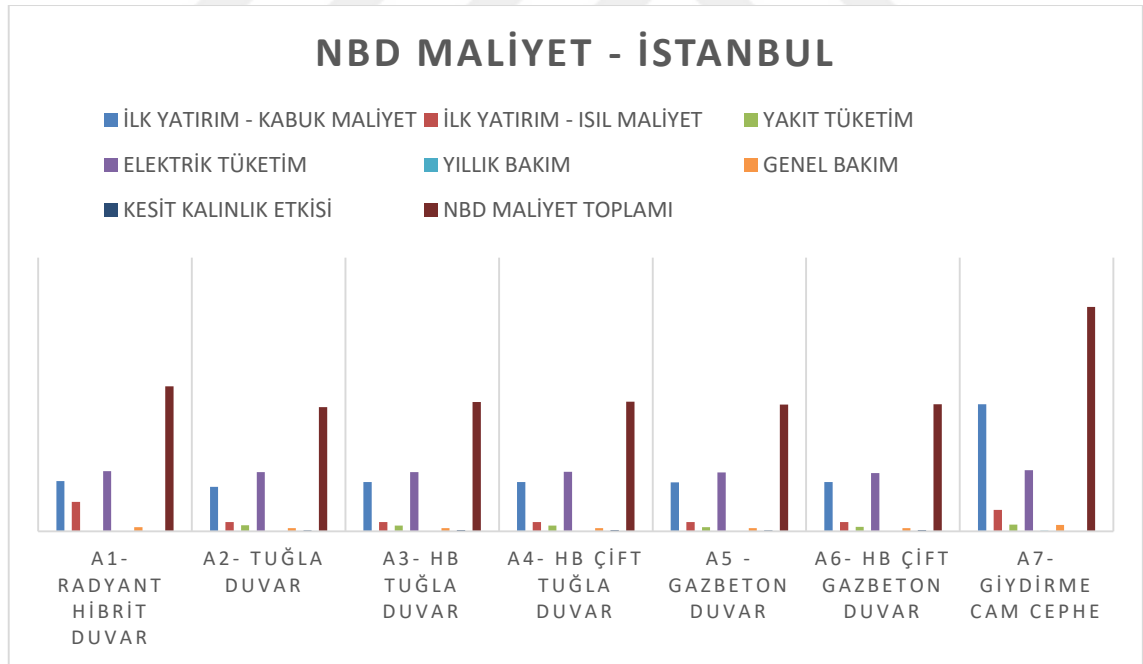
Her ildeki duvar seçenekleri arasındaki fark aynı sıralamada ancak farklı oranlarda değişim göstermektedir. Maliyetin yüksek olduğu radyant hibrit duvar seçeneğinde ise, özellikle ısıtma döneminin yoğun ve uzun olduğu Erzurum' da ilk yatırım ısı maliyet parametresinin fazlalığı göze çarpmaktadır. Diğer illere oranla A₁ seçeneğinde toplam NBD maliyeti oran olarak fazlaca artmaktadır.

Maliyet hesaplamaları sonucunda tüm illerde, en olumludan olumsuz doğru (düşükten yükseğe) maliyet sıralaması A₂ < A₅ < A₆ < A₃ < A₄ < A₁ < A₇ olarak belirlenmiştir.

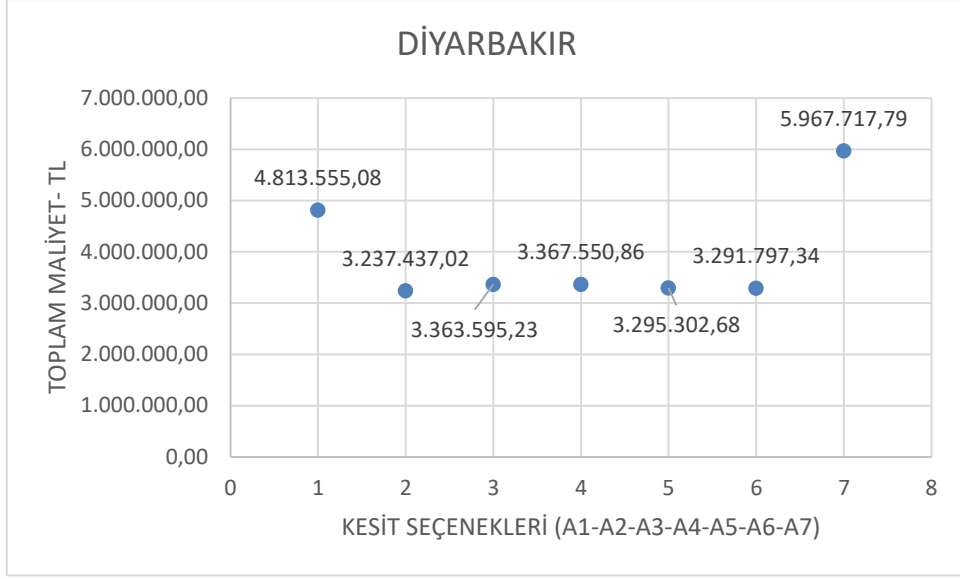
Tüm illere ait NBD maliyetleri grafiklerle aşağıda Şekil 4.14' den 4.23' e gösterilmektedir.



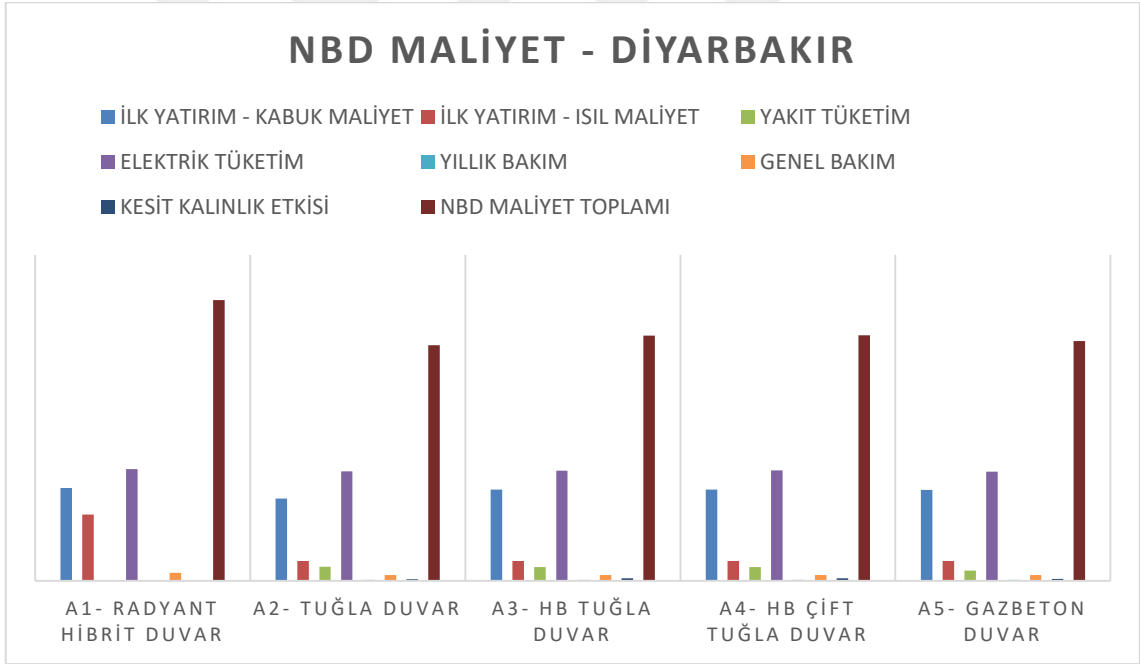
Şekil 4.14 İstanbul NBD Maliyet Toplamı – TL



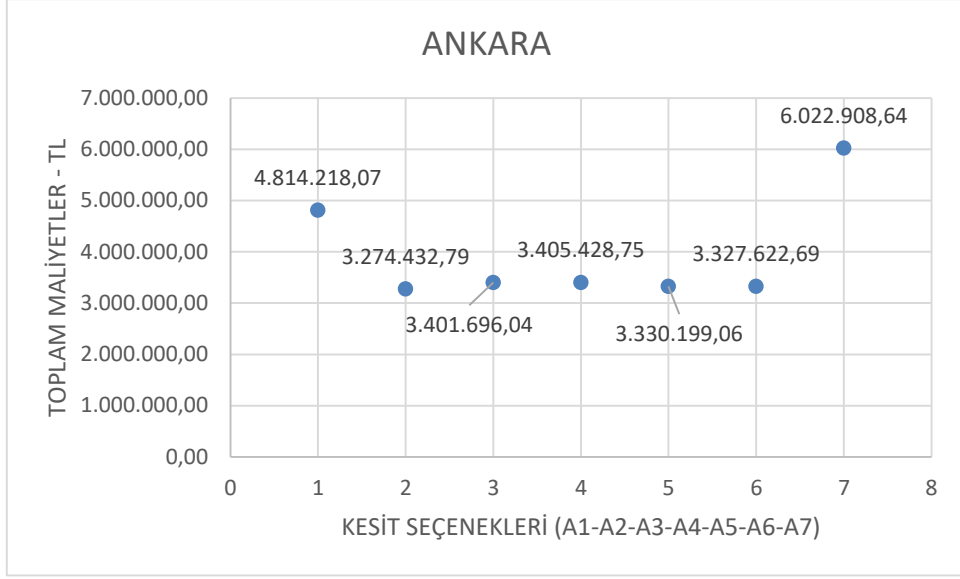
Şekil 4.15 İstanbul NBD Maliyet Kalemleri



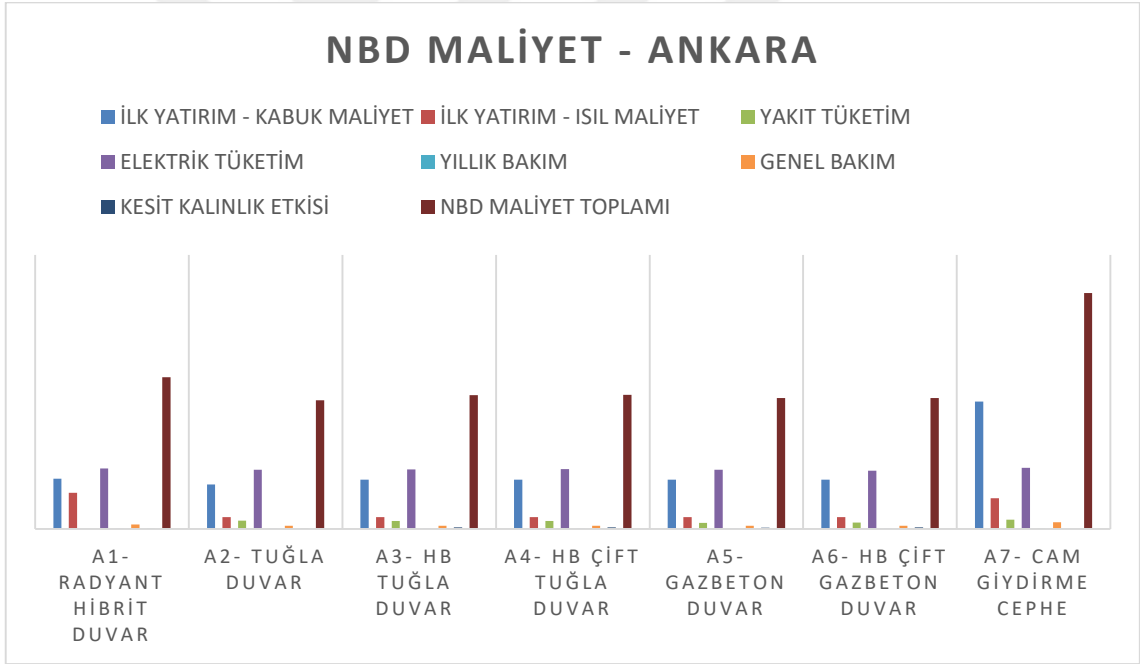
Şekil 4.16 Diyarbakir NBD Maliyet Toplamı – TL



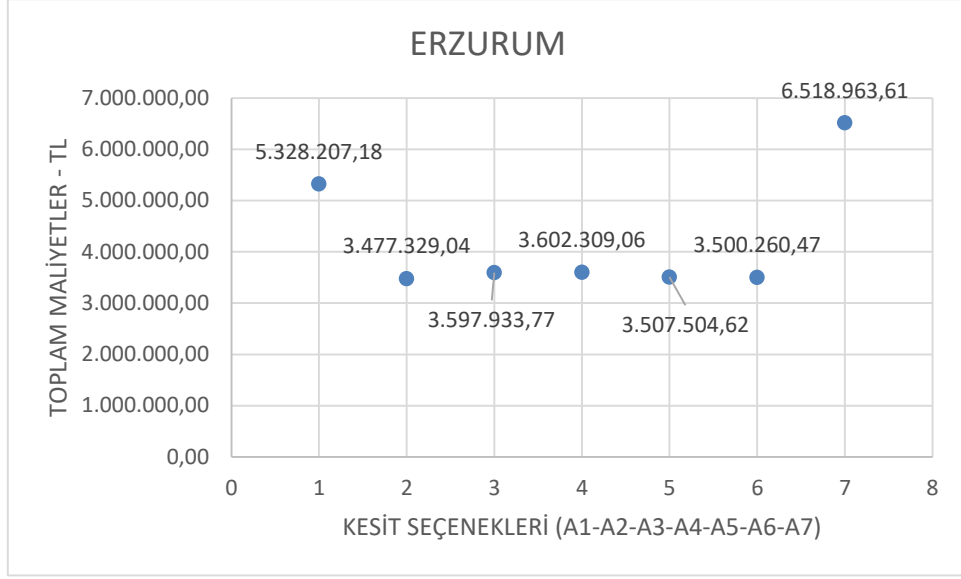
Şekil 4.17 Diyarbakir NBD Maliyet Kalemleri



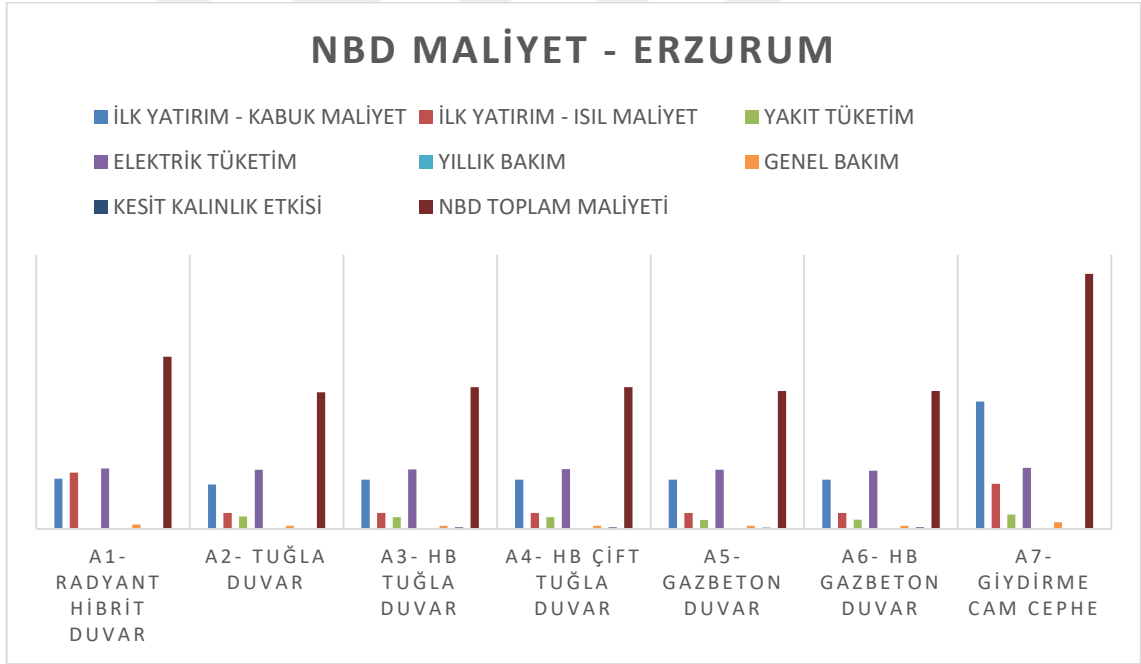
Şekil 4.18 Ankara NBD Maliyet Toplamı – TL



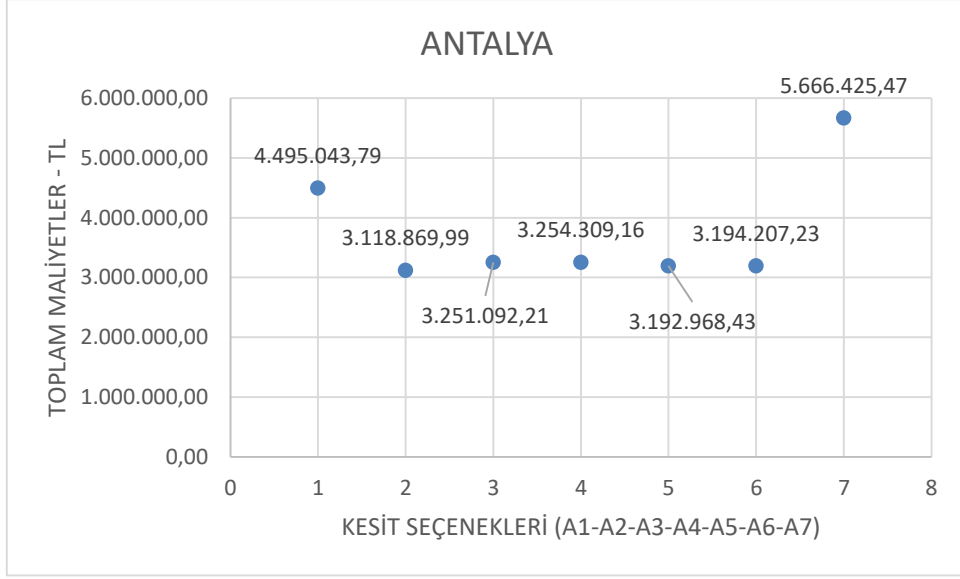
Şekil 4.19 Ankara NBD Maliyet Kalemleri



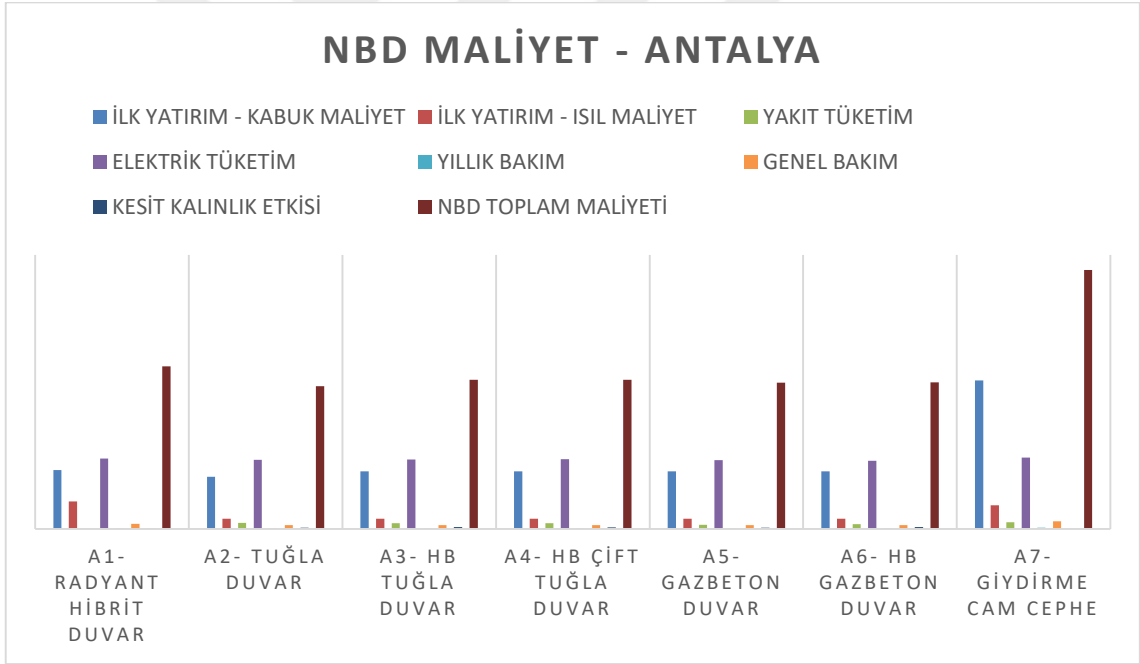
Şekil 4.20 Erzurum NBD Maliyet Toplamı - TL



Şekil 4.21 Erzurum NBD Maliyet Kalemleri



Şekil 4.22 Antalya NBD Maliyet Toplamı - TL



Şekil 4.23 Antalya NBD Maliyet Kalemleri

4.4 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (TOPSIS) ile Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapı kabuğu alternatifleri için ortaya çıkan performans değerleri Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi TOPSIS ile ortaya konularak, en uygun kesit seçimi yapılmıştır. TOPSIS, seçeneklerin belli olduğu ve kriterlere göre karar verilmesi gereken bu çalışma için uygun bulunmuştur. Literatürde binlerce yayına konu edilmiş olan ve politika seçimi, sistem karşılaştırması, helikopter seçimi vb. konularda yararlanılan TOPSIS yöntemi - İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıralama Tercihi Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yoon ve Hwang tarafından 1980 yılında geliştirilen bir ÇKKV(Çok Kriterli Karar Verme) tekniğidir [94]. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanır. Farklı alternatiflerin bulunduğu problemlerin çözümünde kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV), sorunu tanımlama, alternatifler üretme ve kriterleri oluşturma, kriter seçimi, kriter ağırlıklandırma, değerlendirme, uygun çok kriterli yöntemi seçme ve alternatiflerin sıralanması şeklinde sıralı aşamaları izler.

Topsis yöntemi 6 adımdan oluşan bir çözüm sürecini içermektedir. Sırasıyla Karar matrisi (A), Standart Karar Matrisi (R), Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V), İdeal (A*) ve Negatif İdeal Çözümler (A-), Ayrım Ölçümleri (Si*, Si-) ve İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (Ci*) hesaplamaları sonucunda ele alınan kesitler arasında en uygunu elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında oluşturulan matris “Kayıp Matrisi” olduğundan, negatif sonuçlar üzerinden bir sıralama yapılmaktadır. Bu yüzden Topsis yönteminde “İdeal” olarak kabul edilen “1” değeri ideale en uzak, “0” ise İdeale en yakın değer olarak ele alınmakta ve duvar kesit alternatifleri değerlendirmesi bu çerçevede yapılmaktadır.

Tablo 4.18 Değerlendirme kriterlerinin Topsis açısından etkilerinin sınıflandırılması

KAYIP MATRİSİ		
Isı yalıtımı açısından değerlendirme	Ses yalıtımı açısından değerlendirme	Maliyet açısından değerlendirme
↓	↓	↓
En düşük değer- en ideal	En düşük değer- en ideal	En düşük değer- en ideal

1. Adım Karar Matrisi

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır.

A_{ij} matrisinde m karar noktası sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını verir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Tablo 4.19 Karar Matrisi

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
İstanbul	A1	669,38	30	4.652.686
	A2	942,1	30	3.175.177
	A3	910,14	29	3.310.873
	A4	912,53	29	3.313.445
	A5	923,54	30	3.243.764
	A6	713,12	29	3.248.138
	A7	1054,63	32	5.733.154,71
Diyarbakır	A1	851,01	30	4.813.555,08
	A2	1172,3	30	3.237.437,02
	A3	1130,76	29	3.363.595,23
	A4	1133,76	29	3.367.550,86
	A5	1147,77	30	3.295.302,68
	A6	884,04	29	3.291.797,34
	A7	1323,78	32	5.967.717,79

Tablo 4.19 Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Ankara	A1	901,36	30	4.814.218,07
	A2	1236,86	30	3.274.432,79
	A3	1192,66	29	3.401.696,04
	A4	1195,83	29	3.405.428,75
	A5	1210,68	30	3.330.199,06
	A6	931,77	29	3.327.622,69
	A7	1399,6	32	6.022.908,64
Erzurum	A1	1375,23	30	5.328.207,18
	A2	1852,42	30	3.477.329,04
	A3	1782,29	29	3.597.933,77
	A4	1787,09	29	3.602.309,06
	A5	1810,15	30	3.507.504,62
	A6	1383,22	29	3.500.260,47
	A7	2137,29	32	6.518.963,61

Tablo 4.19 Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Antalya	A1	541,75	30	4.495.043,79
	A2	776,66	30	3.118.869,99
	A3	750,39	29	3.251.092,21
	A4	752,35	29	3.254.309,16
	A5	761,4	30	3.192.968,43
	A6	590,01	29	3.194.207,23
	A7	867,65	32	5.666.425,47

2. Adım Standart Karar Matrisi

Standart Karar Matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanılarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır [94].

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (4.2)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Karar matrisi oluşturulduktan sonra normalizasyon işlemi (rij) gerçekleştirilir. Bu adımda amaç, kriter sayısal değerlerinin 0 ile 1 arasında karşılaştırılabilir sayısal değerlere dönüştürülmesidir.

Tablo 4.20 Standart Karar Matrisi

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
İstanbul	A1	0,28	0,37	0,44
	A2	0,40	0,37	0,30
	A3	0,38	0,36	0,31
	A4	0,39	0,36	0,31
	A5	0,41	0,37	0,31
	A6	0,34	0,36	0,31
	A7	0,45	0,40	0,55
Diyarbakır	A1	0,29	0,37	0,45
	A2	0,40	0,37	0,30
	A3	0,38	0,36	0,31
	A4	0,38	0,36	0,31
	A5	0,39	0,37	0,30
	A6	0,30	0,36	0,30
	A7	0,45	0,40	0,55

Tablo 4.20 Standart Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Ankara	A1	0,29	0,37	0,44
	A2	0,40	0,37	0,30
	A3	0,38	0,36	0,31
	A4	0,38	0,36	0,31
	A5	0,39	0,37	0,30
	A6	0,30	0,36	0,30
	A7	0,45	0,40	0,56
Erzurum	A1	0,29	0,37	0,46
	A2	0,39	0,37	0,30
	A3	0,38	0,36	0,31
	A4	0,38	0,36	0,31
	A5	0,39	0,37	0,30
	A6	0,29	0,36	0,30
	A7	0,46	0,40	0,56

Tablo 4.20 Standart Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Antalya	A1	0,28	0,37	0,44
	A2	0,40	0,37	0,30
	A3	0,38	0,36	0,31
	A4	0,39	0,36	0,31
	A5	0,395	0,37	0,31
	A6	0,30	0,36	0,31
	A7	0,45	0,40	0,55

3. Adım Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4.3)$$

Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur [94].

Normalize matris ile elde edilen n_{ij} değerleri, w_{ij} ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris (V matrisi) elde edilir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

* Çalışmada, Ağırlıklı Standart Karar Matrisi oluşturulurken ağırlık değerleri ısı kaybı, içeri geçen ses düzeyi ve NBD maliyeti için eşit olarak hesaplanmıştır.

Bu konu özelinde seçilen ofis binasının enerji tüketiminin ağırlıklı olması ve binanın gürültü düzeyi yüksek bir karayolu üzerinde yer almasından dolayı her iki kriterin eş ağırlık kriterleri ile çalışılmasına karar verilmiştir. Maliyet parametresi de diğer iki parametre (ısı ve ses) ile eş oranda tutularak, bu üç kriter eş ağırlık kriterleri ile değerlendirilmiştir.

Bina fonksiyonuna bağlı olarak kriterlerin ağırlıkları değişebilir, örneğin karayolu üzerindeki bir hastane yapısı özelinde ses parametresi ağırlık kazanabilir.

Yapının farklı konum, yönlendirme ve fonksiyon türüne bağlı olarak kriter ağırlıkları belirlemede uzman görüşleri alınabilir.

Tablo 4.21 Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

İl	Ağırlık Alternatifler	0,33	0,33	0,34
		Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
İstanbul	A1	0,09	0,12525626	0,15
	A2	0,13	0,12525626	0,10
	A3	0,12	0,12108105	0,10
	A4	0,12	0,12108105	0,10
	A5	0,13	0,12525626	0,10

Tablo 4.21 Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
İstanbul	A6	0,11	0,12108105	0,10
	A7	0,14	0,13360668	0,18
Diyarbakır	A1	0,09	0,12525626	0,15
	A2	0,13	0,12525626	0,10
	A3	0,12	0,12	0,10
	A4	0,12	0,12	0,10
	A5	0,12	0,12	0,10
	A6	0,09	0,12	0,10
	A7	0,14	0,13	0,19
Ankara	A1	0,09	0,12	0,15
	A2	0,13	0,12	0,10
	A3	0,12	0,12	0,10
	A4	0,12	0,12	0,10
	A5	0,12	0,12	0,10
	A6	0,09	0,12	0,10
	A7	0,14	0,13	0,19

Tablo 4.21 Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler		
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Antalya	A1	0,09	0,12	0,15
	A2	0,13	0,12	0,10
	A3	0,12	0,121	0,10
	A4	0,12	0,12	0,10
	A5	0,13	0,12	0,10
	A6	0,10	0,12	0,10
	A7	0,14	0,13	0,18

4. Adım İdeal ve Negatif İdeal Çözüm

Burada ağırlıklı matriste her bir kolonda maksimum ve minimum değerler tespit edilir [94]. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (4.4)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} A^* &= \left\{ (\max_i v_{ij} \text{ olmak üzere}) \right\} & A^- &= \left\{ (\min_i v_{ij} \text{ olmak üzere}) \right\} \\ \Rightarrow A^* &= \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \text{ her bir sütuna ait maksimum değerler,} & \Rightarrow A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{ her bir sütuna ait minimum değerlerdir.} \end{aligned}$$

Tablo 4.22 İdeal ve Negatif İdeal Çözüm

İl		Isı kaybı (kWh)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
İstanbul	İdeal Çözüm Değerleri (A*) (maksimum değerler)	0,1488	0,1336	0,1879
	İdeal Olmayan Çözüm Değerleri (A-) (minimum değerler)	0,0944	0,121	0,1040
Diyarbakır	İdeal Çözüm Değerleri (A*) (maksimum değerler)	0,1497	0,1336	0,1903
	İdeal Olmayan Çözüm Değerleri (A-) (minimum değerler)	0,0962	0,121	0,1032
Ankara	İdeal Çözüm Değerleri (A*) (maksimum değerler)	0,1499	0,1336	0,1905
	İdeal Olmayan Çözüm Değerleri (A-) (minimum değerler)	0,0965	0,121	0,1035
Erzurum	İdeal Çözüm Değerleri (A*) (maksimum değerler)	0,1522	0,1336	0,1918
	İdeal Olmayan Çözüm Değerleri (A-) (minimum değerler)	0,0979	0,121	0,1023

Tablo 4.22 İdeal ve Negatif İdeal Çözüm (devamı)

İl		Isı kaybı (kWh)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)
Antalya	İdeal Çözüm Değerleri (A*) (maksimum değerler)	0,1487	0,1336	0,1892
	İdeal Olmayan Çözüm Değerleri (A-) (minimum değerler)	0,0928	0,121	0,1041

5. Adım Ayrım Ölçümleri

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin İdeal ve Negatif İdeal Çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır [94].

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (4.6)$$

S_i^* İdeal Ayrım ölçümünü, V_{ij} ideal çözüm setindeki maksimum değeri ve V_j ise ağırlıklı karar matrisindeki karar noktaları değerlerini ifade etmektedir.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (4.7)$$

S_i^- Negatif İdeal Ayrım ölçümünü, V_{ij} negatif ideal çözüm setindeki minimum değeri ve V_j ise ağırlıklı karar matrisindeki karar noktaları değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 4.23 İdeal Ayrım Ölçümleri

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^*
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
İstanbul	A1	0,09	0,12	0,15	0,06
	A2	0,13	0,12	0,10	0,08
	A3	0,12	0,12	0,10	0,08
	A4	0,12	0,12	0,10	0,08
	A5	0,13	0,12	0,10	0,08
	A6	0,11	0,12	0,10	0,08
	A7	0,14	0,13	0,18	9,77
Diyarbakır	A1	0,09	0,12	0,15	0,06
	A2	0,13	0,12	0,10	0,08
	A3	0,12	0,12	0,10	0,08
	A4	0,12	0,12	0,10	0,08
	A5	0,12	0,12	0,10	0,08
	A6	0,09	0,12	0,10	0,09
	A7	0,14	0,13	0,19	6,04

Tablo 4.23 İdeal Ayrım Ölçümleri (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^*
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
Ankara	A1	0,09	0,12	0,15	0,06
	A2	0,13	0,12	0,10	0,08
	A3	0,12	0,12	0,10	0,08
	A4	0,12	0,12	0,10	0,08
	A5	0,12	0,12	0,10	0,08
	A6	0,09	0,12	0,10	0,09
	A7	0,14	0,13	0,19	6,21
Erzurum	A1	0,09	0,12	0,15	0,06
	A2	0,13	0,12	0,10	0,09
	A3	0,12	0,12	0,10	0,09
	A4	0,12	0,12	0,10	0,09
	A5	0,12	0,12	0,10	0,09
	A6	0,09	0,12	0,10	0,10
	A7	0,15	0,13	0,19	0,00

Tablo 4.23 İdeal Ayrım Ölçümleri (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^*
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
Antalya	A1	0,09	0,12	0,15	0,06
	A2	0,13	0,12	0,10	0,08
	A3	0,12	0,12	0,10	0,08
	A4	0,12	0,12	0,10	0,08
	A5	0,13	0,12	0,10	0,08
	A6	0,10	0,12	0,10	0,09
	A7	0,14	0,13	0,18	8,56

Tablo 4.24 Negatif İdeal Ayrım Ölçümleri (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^-
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
İstanbul	A1	0,09	0,12	0,15	0,04
	A2	0,13	0,12	0,10	0,03
	A3	0,12	0,12	0,10	0,03
	A4	0,12	0,12	0,10	0,03
	A5	0,13	0,12	0,10	0,04
	A6	0,11	0,12	0,10	0,01
	A7	0,14	0,13	0,18	0,10

Tablo 4.24 Negatif İdeal Ayrım Ölçümleri (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^-
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
Diyarbakır	A1	0,09	0,12	0,15	0,05
	A2	0,13	0,12	0,10	0,03
	A3	0,12	0,12	0,10	0,03
	A4	0,12	0,12	0,10	0,03
	A5	0,12	0,12	0,10	0,03
	A6	0,09	0,12	0,10	0,00
	A7	0,14	0,13	0,19	0,10
Ankara	A1	0,09	0,12	0,15	0,04
	A2	0,13	0,12	0,10	0,03
	A3	0,12	0,12	0,10	0,03
	A4	0,12	0,12	0,10	0,03
	A5	0,12	0,12	0,10	0,03
	A6	0,09	0,12	0,10	0,00
	A7	0,14	0,13	0,19	0,10

Tablo 4.24 Negatif İdeal Ayrım Ölçümleri (devamı)

İl	Alternatifler	Kriterler			S_i^-
		Isı kaybı (kW)	İçeri geçen ses düzeyi (dbA)	NBD maliyeti (TL)	
Erzurum	A1	0,09	0,12	0,15	0,05
	A2	0,13	0,12	0,10	0,03
	A3	0,12	0,12	0,10	0,02
	A4	0,12	0,12	0,10	0,02
	A5	0,12	0,12	0,10	0,03
	A6	0,09	0,12	0,10	0,00
	A7	0,15	0,13	0,19	0,10
Antalya	A1	0,09	0,12	0,15	0,04
	A2	0,13	0,12	0,10	0,04
	A3	0,12	0,12	0,10	0,03
	A4	0,12	0,12	0,10	0,03
	A5	0,13	0,12	0,10	0,03
	A6	0,10	0,12	0,10	0,00
	A7	0,14	0,13	0,18	0,10

6. Adım İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (C_i^*)

Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanır [94].

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (4.8)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Tablo 4.25 İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (C_i^*)

İl	Alternatifler	C_i^*
İstanbul	Hibrit duvar-A1	0,18
	Tuğla duvar-A2	0,31
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	0,29
	HB çift tuğla duvar-A4	0,29
	Gazbeton duvar-A5	0,33
	HB çift gazbeton duvar- A6	0,17
	Giydirme cam cephe-A7	0,99
Diyarbakır	Hibrit duvar-A1	0,23
	Tuğla duvar-A2	0,29
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	0,26
	HB çift tuğla duvar-A4	0,27

Tablo 4.25 İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (C_i^*) (devamı)

İl	Alternatifler	C_i^*
Diyarbakır	Gazbeton duvar-A5	0,27
	HB çift gazbeton duvar- A6	0,04
	Giydirme cam cephe-A7	0,99
Ankara	Hibrit duvar-A1	0,22
	Tuğla duvar-A2	0,28
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	0,26
	HB çift tuğla duvar-A4	0,26
	Gazbeton duvar-A5	0,27
	HB çift gazbeton duvar- A6	0,03
	Giydirme cam cephe-A7	0,99
Erzurum	Hibrit duvar-A1	0,25
	Tuğla duvar-A2	0,27
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	0,24
	HB çift tuğla duvar-A4	0,24
	Gazbeton duvar-A5	0,25
	HB çift gazbeton duvar- A6	0,009
	Giydirme cam cephe-A7	0,99

Tablo 4.25 İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (C_i^*) (devamı)

İl	Alternatifler	C_i^*
Antalya	Hibrit duvar-A1	0,20
	Tuğla duvar-A2	0,31
	Hava boşluklu tuğla duvar-A3	0,30
	HB çift tuğla duvar-A4	0,303
	Gazbeton duvar-A5	0,309
	HB çift gazbeton duvar- A6	0,083
	Giydirme cam cephe-A7	0,99

Duvar seçeneklerinde eşit ağırlık kriteri kabul edilerek yukarıda detayları verilen yöntem uygulandığında illere göre en olumludan olumsuz doğru sıralama,

İstanbul' da, $A_1 = A_6 > A_3 > A_4 > A_2 > A_5 > A_7$

Diyarbakır' da, $A_6 > A_1 > A_3 > A_4 > A_5 > A_2 > A_7$

Ankara' da, $A_6 > A_1 > A_3 > A_4 > A_5 > A_2 > A_7$

Erzurum'da, $A_6 > A_3 > A_4 > A_1 > A_5 > A_2 > A_7$ ve

Antalya' da $A_6 > A_1 > A_3 > A_4 > A_5 > A_2 > A_7$ şeklinde olmaktadır.

Erzurum' da sıralamanın değişmesinde radyant hibrit duvar seçeneğinin soğuk iklim bölgesinde oluşan ilk yatırım maliyeti içerisindeki ısı maliyet etkisinin, diğer illere oranla daha fazla olması nedeniyle toplam maliyet miktarının (NBD) artışı etkili olmaktadır. Böylece bu duvar seçeneği, sıralamada gerileyerek, hava boşluklu tuğla duvarlardan sonra gelmektedir.

4.5 Bulguların Değerlendirilmesi

Topsis yönteminde ele alınan kriterler başlığı altında duvar alternatifleri incelendiğinde;

- Tüm illerde ısı kayıpları açısından A₁ radyant hibrit duvar alternatifi hem ana gövde kesit elemanının hem de diğer kesit elemanlarının düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olması ve ısıtmada kullanılan toprak (GSHP) ve hava (AWHP) kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kaybı değerlerini minimize etmesi nedeniyle, optimum sonucu vermektedir.
- Ses kayıpları açısından bakıldığında ise, duvar kesiti içerisinde çift duvar arası hava boşluğu bulunan duvar türlerinin içeri geçen ses düzeylerinin daha az olduğu görülmektedir. Duvar kesitinin çift cidarlı olması, dış gürültünün iç mekana gireceği seviyeyi de düşürmektedir. Bu noktada, dış gürültü seviyesinin (75 LAeq) en az etkilediği ve iç mekan ses konforu açısından daha iyi sonuçlar veren duvar alternatiflerinin hava boşluklu tuğla duvar (A₃), hava boşluklu çift tuğla duvar (A₄) ve hava boşluklu çift gaz beton duvar (A₆) olduğu görülmektedir. Radyant hibrit duvar ise sonra gelmektedir.
- Maliyet açısından ise ülkemizde sıklıkla kullanılan tuğla ve gaz beton malzemelere sahip duvar kesitlerinin hem ilk yatırım hem de işletme maliyetleri ile toplam maliyetler de, hibrit duvara göre daha az tüketim ve harcama (TL bazında) oluşturduğu görülmektedir. Radyant hibrit duvarın yeni bir sistem olması ve özellikle ilk yatırım (kabuk ve ısıtma maliyetleri toplamı açısından) ve bakım-onarım giderlerinin geleneksel sistemlere göre daha yüksek seviyelerde olması maliyetleri arttıran önemli faktörlerdir.

Bir ÇKKV yöntemi olan Topsis değerlendirmesi sonucunda belirlenen kriterler açısından İstanbul'da en optimum sonucu veren kesit radyant hibrit duvar ile hava boşluklu çift gaz beton duvar olmaktadır. Diyarbakır, Ankara, Erzurum ve Antalya' da ise, hava boşluklu çift gaz beton duvar alternatifi diğer duvar örnekleri ile karşılaştırıldığında, en optimum sonucu vermektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan radyant hibrit duvarlara sahip binalarda, toprak veya hava kaynaklı ısı pompası kullanılarak ısıtma yapılmıştır. Işınım yoluyla ısıtma yapan bu sistemlerde diğer ısıtma türlerine göre daha düşük enerjili bir kapasite kullanılmaktadır. Bu sayede ısı kayıp miktarlarında, diğer duvar alternatiflerine göre avantaj sağlanmıştır.

Ancak ısı pompalarının harcadığı elektrik tüketim miktarları, diğer ısıtma türlerine göre oldukça fazla artış meydana getirmekte ve maliyet alt kriterlerinden olan elektrik tüketim maliyetini arttırmıştır. Soğuk iklim bölgelerindeki ilk yatırım ısıtma maliyetinde de, diğer iklim bölgelerine oranla fazla artış meydana gelerek, radyant hibrit duvara sahip bina toplam maliyet değeri yükselmiştir.

Çalışma ısıtma ile sınırlandırılarak değerlendirmeler ortaya konulmuştur. Ancak soğutma yönü ele alınırsa özellikle sıcak illerde sonuçlar değişiklik gösterebilir.

Günümüzde yapı kabuğu performansının önemi, çevresel faktörler ve yapıların enerji tüketimleri dikkate alındığında birçok çalışmada ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada yenilenebilir kaynaklardan beslenen ve bina enerji-etkinlik yüzdesini optimum düzeylere taşıyacak yeni bir yapı kabuğu kesitinin performansının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yeni kabuğun, çevresel faktörler açısından fosil kaynaklı olmayan enerji türlerine dayanan bina ısıtma sistemine sahip olması, birincil avantajı olarak sayılabilmektedir. Diğer parametreler yönünden ise, yapı statik yükünde hafiflik, kullanım giderlerinde ekonomiklik ve uygulamada kolaylık ana tasarım noktalarını oluşturmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde ışınımsal panel sistemlerinin değerlendirilmelerindeki genel süreç ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında,

- Hazır dış duvar elemanı üretimine yönelik,
- Isıl konfor açısından değerlendirmeye yönelik,
- Bina enerji simülasyonları ile enerji performans yönetmeliklerine yönelik ve
- Maliyet etkin iyileştirmeye yönelik çalışmaların özet değerlendirmeleri açıklanmıştır.

İkinci bölümde 0462.STZ.2013-2 numaralı San-Tez projesi kapsamında geliştirilen yüzeyden ısıtma soğutma sistemli modüler hibrit duvar elemanları uygulamasına yönelik tasarımsal, yapısal ve performans parametreleri incelenmiştir. Bunun sonucunda, geleneksel yapı kabuklarına alternatif olarak geliştirilen bu yeni kabuk sistemiyle tasarım açısından birçok noktada avantaj sağlanabilmektedir. Değişken boyutlarda üretim, yapım ve uygulama aşamalarında hızlılık, düşük işletme ve bakım giderleri ile de ekonomiklik kriterleri kolaylıkla sağlanabilmektedir. Sistemin dezavantajı noktasında ileriye dönük olarak değerlendirilmesi gereken tek noktanın ilk yatırım maliyetlerindeki fazlalık olması da bu tez çalışmasında incelenen önemli bir parametredir. Yapısal değerlendirmede, günümüz ısıtma mekanik sistem ve

ekipmanlarına ihtiyaç duyulmayan bu panel sistemleri, bina ısıtma sistemine uygun olarak belirlenecek radyant tesisat dağıtımı ve ısı akılarıyla gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Panelin çalışma prensibi, ışınım yoluyla doğrudan kullanıcılar ve ekipmanlarla etkileşimi, hem homojen ısı dağılımı hem de düşük enerjili bir sistemle ısı konforu sağlaması, amaçlanan hedefler olarak ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde genel olarak yüzeyden ısıtmalı hibrit duvarın performansının değerlendirilmesi için bir yaklaşımın ana basamakları ve kapsamı belirtilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan yaklaşım ile yapı kabuğu kesit seçeneklerinin;

- Uygulama ve tasarım kararları verilerek yedi farklı seçenek belirlenmesi,
- Kabuk kesit özellikleri (U değeri, malzeme seçimi, saydamlık oranı vb. özelliklerle) oluşturulması,
- İklim bölgesinden (DG) örnek bir il seçilmesi,
- Performans kriterleri (ısı, ses, maliyet) belirlenmesi,
- Isı, ses ve maliyet performans kriterlerine uygun hesap yöntemleri belirlenmesi ve hesaplanması,
- ÇKKV yöntemlerinden çalışma için seçilen bir yöntem ile belirlenen eş ağırlık kriterinde sonuçların ortaya konulması ve
- Yapı kabuğu kesit performans değerlendirmesi için en uygun olanın belirlenmesi,

gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde, yaklaşımın uygulanması için uygulama bina örneğinin seçilmesi ve sınıflandırılması yapılmıştır. Fonksiyon olarak seçilen ofis binası orta katlı, B sınıfı (standart ofis) ve açık planlı olarak sınıflandırılmıştır. Mevcut bir cam giydirme bina örneğinden yola çıkılan bu örnek binaya alternatif oluşturacak ve aralarında yüzeyden ısıtmalı radyant hibrit duvarın da bulunduğu toplam yedi alternatif bina dış kabuğu belirlenmiştir. Yönetmeliğin verdiği sınır U değerleri dikkate alınarak oluşturulan yapı kabuğu kesit malzemeleri teknik özellikleri de yine yönetmelik içerisinden seçilmiştir.

İstanbul, Diyarbakır, Ankara, Erzurum ve Antalya olarak DG bölgelerinden seçilen örnek illerde, çalışma açısından önem teşkil eden ısı, ses ve maliyet parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda belirlenen kriterlere uyumlu yöntem veya program seçimi oldukça önemlidir. Yapı sistemlerinin enerji tüketimleri, sürdürülebilirliği ve sistem ömrü gibi konular göz önüne alınmıştır. Yapı kabuklarının belirlenen performans kriterlerinde elde edilen sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.

Belirlenen yapı kabuğu kesitlerine ilişkin ele alınan performans kriterlerinde ÇKKV yöntemlerinden TOPSİS ile yapılan karşılaştırmalarda en optimum yapı kabuğunu veren sonuçlar ortaya konulmuştur. Ancak kriter olarak ele alınan tüm parametreler bir tür “kayıp” olduğundan, oluşturulan matris de “Kayıp Matrisi” olarak belirtilmiştir.

Tez çalışmasında, oluşturulan yaklaşımın adımları izlenerek yapılan değerlendirmenin sonuçlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Belirlenen yedi farklı yapı kabuğu kesitinde DG bölgelerinden İstanbul’da elde edilen sonuçlarda A_1 - radyant hibrit duvar ve A_6 - hava boşluklu çift gaz beton duvar seçenekleri, diğer dört ilde ise A_6 - hava boşluklu çift gaz beton duvar seçeneği tüm değerlendirme kriterler için en optimum sonuçları veren kesit örnekleri olmuştur. En olumsuz sonucu veren kesit örneği ise, yapının mevcut halindeki A_7 - giydirmeye cam cephe alternatifi olmuştur.

Tüm iller açısından bakıldığında radyant hibrit duvar seçeneği, ısı kayıpları açısından kullanılan ısıtma sistem türüne bağlı olarak, yapının ısı kayıp parametresinde diğer kesitlere oranla avantaj kazanmasına neden olmuştur. Işınım ile ısıtma sağlayan radyant yüzeyden ısıtılmalı duvarlarda, toprak ve hava kaynaklı ısı pompalarının kullanılması ile ısı konfor koşulları da diğer duvarlara göre 2°C daha düşük tutulmuştur. Bu sayede hibrit duvarın ısı kayıplarında avantaj sağladığı görülmüştür.

Geliştirilen yaklaşımla, ana prensip olarak bina dış kabuk kesit özelliklerinin ve soğuk dönemde ısı kayıpları açısından U değerinin belirlenmesine öncelik verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bina dış kabuğuna bağlı olarak seçilen ısıtma sistem türünün de ısı kayıpları üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir. Bina

ısı kayıp parametresini doğrudan etkileyen bu özellikler ile ısıtma yükünün minimum değerlerde karşılanması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada içeri geçen ses düzeyi hesabını da yapı dış kabuğu kesitinin çift cidarlı oluşumu ve kütlesi doğrudan etkilemektedir. Yani tasarlanacak kabuk önerisinin son değerlendirme aşamalarına geçmeden önce belirlenen kriterler açısından da olumlu sonuçlar ortaya koyacak şekilde oluşturulması ana noktalardan biri olmalıdır.

Bir diğer değerlendirme kriteri olarak ele alınan maliyet ise, uygulama örneğinin hem ilk yatırım aşamasında hem de kullanım giderlerini oluşturan basamaklarında olumlu ve/veya olumsuz sonuçlar oluşturacak şekilde ele alınmalıdır. Maliyet parametresi alt basamaklarında yer alan ilk yatırım-ısı maliyet ve yakıt ile elektrik tüketim maliyetleri açısından toplam bina maliyeti etkilenmektedir. İklim bölgesine göre değişen oranlarda elde edilen maliyet basamaklarının da, toplam bina maliyetini arttırmada ya da azaltmada etkili olduğu görülmektedir.

Eş ağırlık kriterleri ele alınarak yapılan hesaplamalardaki değerlendirmede İstanbul'da radyant hibrit duvar ile hava boşluklu çift gaz beton duvar seçeneği optimum sonuçları vermektedir. Diğer örnek illerde ise hava boşluklu çift gaz beton duvar en olumlu sonucu oluşturmaktadır. Sıralamada yer alan diğer alternatifler arasındaki İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (C_i^*) oranları ise azalıp, artmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımın örnek uygulamasında, ısı, ses, maliyet eş ağırlık kriterleri ile çalışılmıştır.

Bu tezde, 0462.STZ.2013-2 no' lu SAN-TEZ projesi kapsamında ön tasarım ve deneysel çalışmalarla belirlenen yüzeyden ısıtma sistemli optimum modüler duvar elemanı ile yeni bir yapı kabuğu önerisi sunulmaktadır. Bina enerji ihtiyacını minimize edecek şekilde tasarlanan Hibrit Duvar sisteminde, duvarların, yalıtımın, ısıtma sistemlerinin, iç sıvanın kompakt bir yapı halinde üretilebilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, mimari tasarım, boyutlandırma ve performans kontrolleri gerçekleştirilen modüler radyant hibrit duvar sisteminin yapı kabuğu performansını değerlendiren yeni bir yaklaşım ortaya konulmuş ve yenilikçi bir

tasarım önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada geliştirilen yaklaşımla beraber yüzeyden ısıtma sistemli radyant hibrit duvar sisteminin, farklı iklim bölgelerinde duvardan minimum ısı geçişini sağlayacağı ve ısı performans açısından olumlu sonucu veren kesit olacağı öngörülmektedir. Yapılan sayısal çalışmalarla da bu hipotezin doğruluğu ispatlanmaktadır. Ses ve maliyet parametreleri açısından ise öngörüldüğü gibi geleneksel tuğla ve gaz beton duvar türü alternatiflerinin daha az ses kaybı ve maliyet oluşturduğu belirlenmiştir.

Bunun yanısıra, yapı kabuğu kesitlerine ilişkin performans kriterlerini karşılaştırmada belirlenecek olan yöntem de sonuçlar açısından oldukça etkili olmaktadır. Bu yöntemin ana prensip ve seçim kriterlerine eşlik edecek ön değerlendirme ve kurgu planlaması da, yöntemin seçimi kadar önem taşımaktadır. Tüm kriter ve parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gereken bu sürecin, ele alınan yaklaşımın tasarım ve uygulama kriterleri açısından optimum sonuçlar ortaya çıkaracak şekilde planlaması gerekmektedir.

Bu çalışma, tasarlanacak farklı yapı kabuğu alternatifleri, farklı performans kriterleri, iklim bölgesi seçimi farklılığı ve uygulanacak yöntemin çeşitliliği ile sonraki çalışmalara bir model oluşturmakta ve yenilikçi kabuk tasarımına katkı sağlamaktadır.

- [1] E. Berköz, Z. Yılmaz, E. Yıldız, G. Kocaaslan ve C. Altun, "Türkiye'nin çeşitli iklim bölgeleri için ısıtma enerjisi tasarrufu açısından optimum kabuk seçeneklerinin belirlenmesi" İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, 1989.
- [2] E. Berköz, "Enerji etkin konut ve yerleşme dizaynı", TÜBİTAK-INTAG 201 Araştırma Raporu, 1995.
- [3] Z. Yılmaz, G. Koçlar ve G. Manioğlu, "Isıtma enerjisi tasarrufu açısından bina kabuğu ısı yalıtım değerinin bina formuna bağlı olarak belirlenmesi", İTÜ Araştırma Projesi, 2000.
- [4] M. Lollini, B. Barozzi, M. Fasano, G. Meroni, M. Zinzi, "Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and environmental issues", Building and Environment, vol. 41, no.8, pp. 1001-1013, 2006.
- [5] F. Stazi, A. Mastrucci, P. Munafò, "Life cycle assessment approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems", Building and Environment, vol. 58, no. 12, pp. 278-288, 2012.
- [6] M. Özel, "Duvar yüzeylerinde periyodik sıcaklık değişimi olan binalarda ısı kazanç ve kayıplarını minimum yapacak yöntemlerin araştırılması", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [7] İ. Erkmən, "Opak düşey yapı kabuğunun enerji-enerji performansının değerlendirilmesie yönelik bir yaklaşım", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [8] G. Koçlar Oral ve G. Manioğlu, "Bina cephelerinde enerji etkinliği ve ısı yalıtımı", 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir, 15-16 Nisan 2010.
- [9] N.V. Gür ve M. Aygün, "Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi", itüdergisi/a, vol. 7, no.1, pp. 74-82, 2008.
- [10] G. Z. Gedik, "Hazır dış duvar elemanlarının ısısal konfor açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, Eskişehir, 23-25 Mart 2001.
- [11] M. T. Cihan, "EPS-Bloklu, çelik donatılı beton taşıyıcı duvarlı binanın ısı performansını", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [12] C. Göçer ve B. Işık, "Beton esaslı prefabrikte ilköğretim binalarında dış duvar özellikleri-çevre ilişkisi", itüdergisi/a, vol.6, no.1, pp. 55-65, 2007.
- [13] E. Dudkiewicz ve J. Jezowiecki, "Measured radiant thermal fields in industrial spaces served by high intensity infrared heater", Energy and Buildings, vol. 41, no. 1, pp. 27-35, 2009.
- [14] M. Tye-Gingras ve L. Gosselin, "Comfort and energy consumption of hydronic heating radiant ceiling and walls based on CFD analysis", Building and Environment, vol. 54, pp. 1-13, 2012.

- [15] Z. R. Zhang, P. P. Fazio ve F. Haghghat, "Thermal performance of radiant heating panels", ASHRAE Transaction, vol. 94, no. 2, pp. 13-27, 1998.
- [16] D. Zhang, N. Cai ve Z. Wang, "Experimental and numerical analysis of lightweight radiant floor heating system", Energy and Buildings, vol. 61, pp. 260-266, 2013.
- [17] O. İbrahim, F. Fardoun, R. Younes ve H. Louahlia-Gualous, "Optimal management proposal for hybrid water heating system", Energy and Buildings, vol. 75, pp. 342-357, 2014.
- [18] D. Lazos, A.B. Sproul ve M. Kay, "Development of hybrid numerical and statistical short term horizon weather prediction models for building energy management optimization", Building and Environment, vol. 90, pp. 82-95, 2015.
- [19] S. Sinha ve S. S. Shandel, "Review of software tools for hybrid renewable energy systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 32, pp. 192-205, 2014.
- [20] A. Alongia, L. Mazzarella, "The dual air vented thermal box: a laboratory apparatus to test air permeable building envelope technologies", Energy Procedia, vol. 78, pp. 1543-1548, 2015.
- [21] H. Sözer, M. Elnimeiri, "Critical factors in reducing the cost of building integrated photovoltaic (BIPV) system", Architectural Science Review, vol. 50, no. 2, pp. 115-121, 2007.
- [22] M. Herrando, C. N. Markides, K. Hellgardt, "A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: System performance", Applied Energy, vol. 122, no. 1, pp. 288-309, 2014.
- [23] H. Yi, R. S. Srinivasan, W. W. Braham, "An integrated energy-ergy approach to building form optimization: Use of EnergyPlus, energy analysis and Taguchi-regression method", Building and Environment, vol. 84, pp. 89-104, 2015.
- [24] T. van Hooff, B. Blocken, J.L.M. Hensen, H.J.P. Timmermans, "Reprint of: On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings", Building and Environment, vol. 83, pp. 142-158, 2015.
- [25] D. Daly, P. Cooper, Z. Ma, "Implications of global warming for commercial building retrofitting in Australian cities", Building and Environment, vol. 74, pp. 86-95, 2014.
- [26] A. Alaidroos, M. Krarti, "Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia", Energy and Buildings, vol. 86, pp. 104-117, 2015.
- [27] M. Bojic, D. Cvetkovic, M. Miletic, J. Malesevic, H. Boyer, "Energy, cost, and CO2 emission comparison between radiant wall panel systems and radiator systems", Energy and Buildings, vo. 54, pp. 496-502, 2012.
- [28] F. Umaroğulları, "Betonarme düşey yapı kabuğunda yalıtımın yerinin ve kalınlığının nem denetimi açısından deneysel ve sayısal değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

- [29] İ. Atılğan, C. Ekici “Bir ofiste döşemeden ve radyatörden ısıtmanın konfor bakımından kıyaslanması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 27, no. 1, pp. 183-191, 2012.
- [30] Can Ekici, “Güneş enerjisi destekli radyatör ve döşemeden ısıtma sistemi kullanılan kapalı bir ortamın konfor analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [31] A. H. Abdülkarem, “Ankara şartlarında güneş enerjisi ile bir ortamın döşemeden ısıtılması ve sistemin ısı performansının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [32] M. R. D. Adana, I. Olmedo, J. C. Esteban, “Assesment of thermal comfort in an occupied office using a mixing ventilation system in combination with radiant system”, Ventilation 2012 Conference, Paris, 17-19 Eylül 2012.
- [33] J. A. Myrhen, S. Holmberg, “Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating”, Energy and Buildings, vol. 40, no. 4, pp. 524-536, 2008.
- [34] J. Miriel, L. Serres, A. Trombe, “Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions”, Applied Thermal Engineering, vol. 22, no.16, pp. 1861-1873, 2002.
- [35] X. Jin, X. Zhang, Y. Luo, “A calculation method for the floor surface temperature in radiant floor system”, Energy and Buildings, vol. 42, no. 10, pp. 1753-1758, 2010.
- [36] X. Jin, X. Zhang, Y. Luo, R. Cao, “Numerical simulation of radiant floor cooling system: The effects of thermal resistance of pipe and water velocity on the performance”, Bulding and Environment, vol. 45, no.11, pp. 2545-2552, 2010.
- [37] L. Zhang, X. Liu, .i Jiang, “Simplified calculation for cooling/heating capacity, surface temperature distribution of radiant floor”, Energy and Buildings, vol. 55, pp. 397-404, 2012.
- [38] İ. B. Kilkis, S. S. Sager, M. Uludağ, “A simplified model for radiant heating and cooling panels”, Simulation Practice and Theory, vol. 2, no.2, pp. 61-76, 1994.
- [39] A. Antonyová, A. Korjenic, P. Antonya, S. Korjenic, E. Pavlusová, M. Pavlus, T. Bednar, “Hygrothermal properties of building envelopes: Reliability of the effectiveness of energy saving”, Energy and Buildings, vol. 57, pp. 187–192, 2013.
- [40] Y. Liu, D. Wang, J. Liu, “Study on heat transfer process for in-slab heating floor”, Bulding and Environment, vol. 54, pp. 77-85, 2012.
- [41] M. Koschenz, V. Dorer, “Interaction of an air system with concrete core conditioning”, Energy and Buildings, vol. 30, no. 2, pp. 139-145, 1999.
- [42] Z. Fanga, N. L. Baizhan Li, G. Luo, Y. Huang, “The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer”, Energy and Buildings, vol. 77, pp. 197–205, 2014.
- [43] A. Başkal, “Duvardan ısıtma ve soğutmalı toprak kaynaklı ısı pompasının performansının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

- [44] E. Alan, "Su buharı difüzyonu ve ısı yalıtım malzemelerinin buhar geçirgenlikleri üzerine deneysel bir çalışma", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [45] C. Stetiu, "Energy and peak power savings potential of radiant cooling systems in U.S. commercial buildings", *Energy and Buildings*, vol. 30, no. 2, pp. 127-138, 1999.
- [46] B. Parlakyıldız, "Yüzeyden ısıtma soğutmalı hazır duvar elemanının ısısal konfor parametreleri açısından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [47] M. G. Çetin, "Yüzeyden ısıtma sistemli modüler hibrit duvar panelindeki alüminyum folyonun ölçülerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [48] K. Çomaklı, B. Yüksel, "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no.4, pp. 473-479, 2003.
- [49] K. Çomaklı, B. Yüksel, "Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings", *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 5-6, pp. 933-940, 2004.
- [50] N. Sisman, E. Kahya, N. Aras, H. Aras, "Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof for Turkey's different degree-day regions", *Energy Policy*, vol. 35, no. 10, pp. 5151-5155, 2007.
- [51] O. Arslan, R. Kose, "Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings", *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 12, pp. 1400-1408, 2006.
- [52] A. Ucar, "Thermoeconomic analysis method for optimization of insulation thickness for four different climatic regions of Turkey", *Energy*, vol. 35, no. 4, pp. 1854-1864, 2010.
- [53] M. Ozel, "Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method", *Applied Energy*, vol. 88, no. 7, pp. 2429-2435, 2011.
- [54] A. Bolattürk, "Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey", *Building and Environment*, vol. 43, no. 6, pp. 1055-1064, 2008.
- [55] Ö. Kaynaklı, "A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness", *Renewable Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 1164-1172, 2008.
- [56] A. Uçar, F. Balo, "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", *Renewable Energy*, vol. 35, no.1, pp. 88-94, 2010.
- [57] B. B. Ekici, A. A. Gülten, U. T. Aksoy, "A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey", *Applied Energy*, vol. 92, pp. 211-217, 2012.
- [58] Ö. Kaynaklı, "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 415-425, 2012.

- [59] D. İşbilir, "Binalarda ısı yalıtımı uygulamaları ve sorunların araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [60] M. Tolun, "Farklı derece-gün bölgeleri için yalıtım probleminin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [61] A. Aslan, B. Yüksel, "Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemiyle ısıtılan farklı tip binaların dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi", BAÜ FBE Dergisi, vol. 12, no. 1, pp. 100-111, 2010.
- [62] G. H. Kiper Yılmaz, "Binalarda dış duvarlarda kullanılan ısı yalıtım kaplamalarının enerji korunum performansları açısından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [63] A. Aytaç, U. T. Aksoy, "Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 21, no. 4, pp. 753-758, 2006.
- [64] Ö. Kaynaklı ve R. Yamankaradeniz, "Isıtma süreci ve optimum kalınlığı hesabı yalıtım", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, vol. 110, pp. 19-25, 2009.
- [65] B. I. Kılıç, "Cost optimization of a hybrid HVAC system with composite radiant wall panels", Applied Thermal Engineering, vol. 26, no. 1, pp. 10-17, 2006.
- [66] G. Martinopoulos, G. Tsalikis, "Active solar heating system for energy efficient buildings in Greece: A technical economic and environmental evaluation", Energy and Buildings, vol. 68, part. A, pp. 130-137, 2004.
- [67] W. Hong, G. Lim, S. Park, J. Tai Kim, "Energy efficiencies of linear-shaped multi-residential apartment buildings built with hybrid structural systems", Energy and Buildings, vol. 46, pp. 30-36, 2012.
- [68] A. Brandão de Vasconcelos, M. D. Pinheiro, A. Mansoa, A. Cabac, "EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building", Energy and Buildings, vol. 111, pp. 12-25, 2016.
- [69] C. Göçer, B. Işık "Beton esaslı prefabrike ilköğretim binalarında dış duvar özellikleri-çevre ilişkisi", itüdergisi/a, vol. 6, no.1, pp. 55-65, 2007.
- [70] "Yapılarla ilgili hükümler", İstanbul İmar Yönetmeliği, İstanbul, 2007.
- [71] G. Z. Gedik, Ş. Ö. Atayılmaz, S. N. Erikci, M. G. Çetin, Y. Topaçoğlu, A. Koca, Z. Gemici, "Yüzeyden ısıtma soğutma sistemli modüler hibrit duvar yapısının geliştirilmesi", 0462.STZ.2013-2 no'lu SAN-TEZ Projesi, 2016.
- [72] S.N.Erikci Çelik, G. Zorer Gedik, A. Koca, M. G. Çetin, Z. Gemici, "Yüzeyden ısıtma soğutma sistemli modüler hibrit duvar tasarımı ve performansının değerlendirilmesi", 2.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, İstanbul, 4-6 Mayıs 2016.
- [73] A. Z. Yılmaz, "Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji", Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, vol. 91, pp. 7-15, 2006.
- [74] A. Sev, "Sürdürülebilir Mimarlık", YEM Yayın, İstanbul, 2009.

- [75] Insul Software, 2015: Tutorial.
- [75] “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik”, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, T.C. Resmi Gazete, Sayı 30082, 2017.
- [76] <http://www.fizibilite.info/net-bugunku-deger/> [Erişim tarihi 9 Mart 2019]
- [77] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, “2019 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları”, 2019.
- [78] <https://www.igdas.istanbul/perakende-satis/> [Erişim tarihi 1 Nisan 2020]
- [79] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-1/tarifeler> [Erişim tarihi 1 Nisan 2020]
- [80] M. Sicola, “Commercial real estate terms and definitions”, NAIOP Research foundation, pp. 30-31, 2017.
- [81] Building class definitions. [Online]. Available: https://www.boma.org/BOMA/Research-Resources/Industry_Resources/Building_Class_Definitions/. [Erişim tarihi 3 Eylül 2019]
- [82] N. Eldem, “İdari ve Ticari Büro Binaları”, İTÜ, 1950.
- [83] H. Karşlı, “Sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde ofis yapılarının değerlendirilmesi ve çevresel performans analizi için bir model önerisi”, Sanatta Yeterlilik Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi İç Mimarlık Anasanat Dalı, 2008.
- [84] TS 825 (2009). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TSE, I. Baskı, Ankara.
- [85] A. Koca, M. G. Çetin, E. Velişan, “A new method for the optimization of insulation thickness for radiant wall heating systems”, Journal of Thermal Science and Technology, vol. 32, no. 2, pp. 75-88, 2017.
- [86] <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/temel+faaliyetler/para+politikasi/merkez+bankasi+faiz+oranlari> [Erişim tarihi 1 Mart 2020]
- [87] Design Builder Software, 2006: DesignBuilder 1.2 User Manual.
- [88] <https://www.youtube.com/watch?v=S2zBO7CBweg> [Erişim tarihi 20 Ekim 2019]
- [89] Z. Gemici, “Experimental examination of thermal comfort performance of a radiant wall panel system: Comparison between different heating wall configurations”, Journal of Thermal Science and Technology, vol. 37, no. 1, pp. 69-78, 2017.
- [90] Koca, A., Gemici, Z., Topacoglu, Y., Cetin, M. G., Acet, R. C., Kanbur, B. B. (2014) "Experimental Investigation of Heat Transfer Coefficients Between Hydronic Radiant Heated Wall and Room", Energy and Buildings, Sayı 82, s. 211-221.
- [91] Insul software, 2012: User Manual.

[92] O. Kıncay ve Z. Yumurtacı, "Bir üniversite kampüsü için uygun enerji sisteminin seçimi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, vol. 95, pp. 5-12, 2006.

[93]

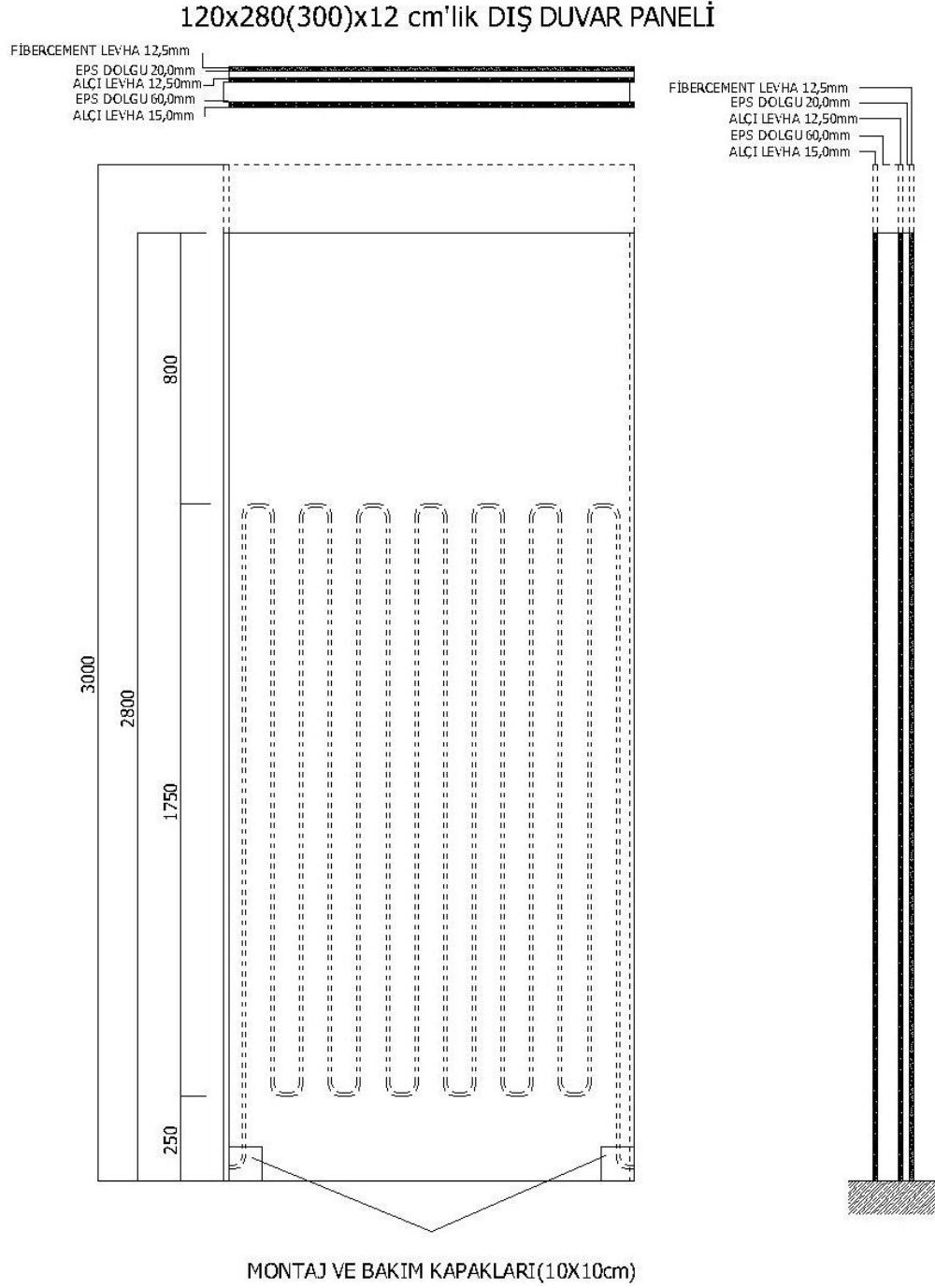
<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/istatistikleri/konut+fiyat+endeksi> [Erişim tarihi 27 Temmuz 2020]

[94]http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/TOPSIS_Yontemi.doc
[Erişim tarihi 3 Eylül 2019]

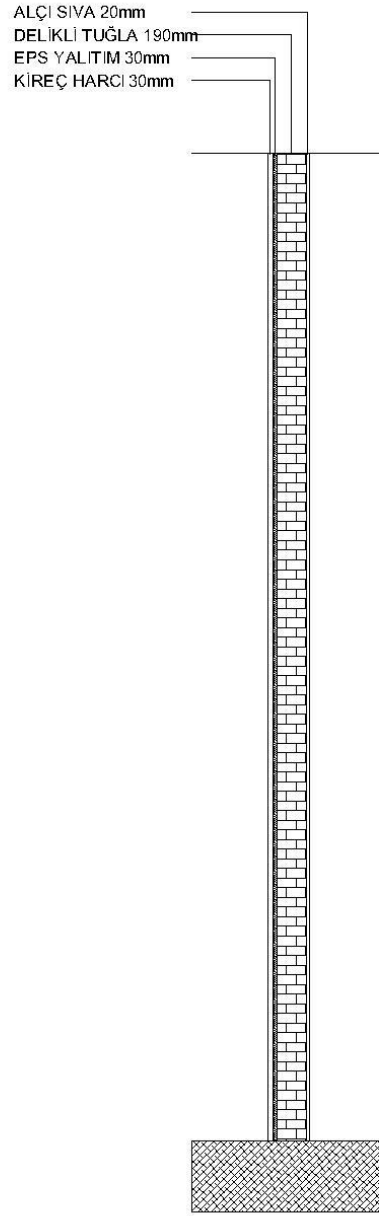


A

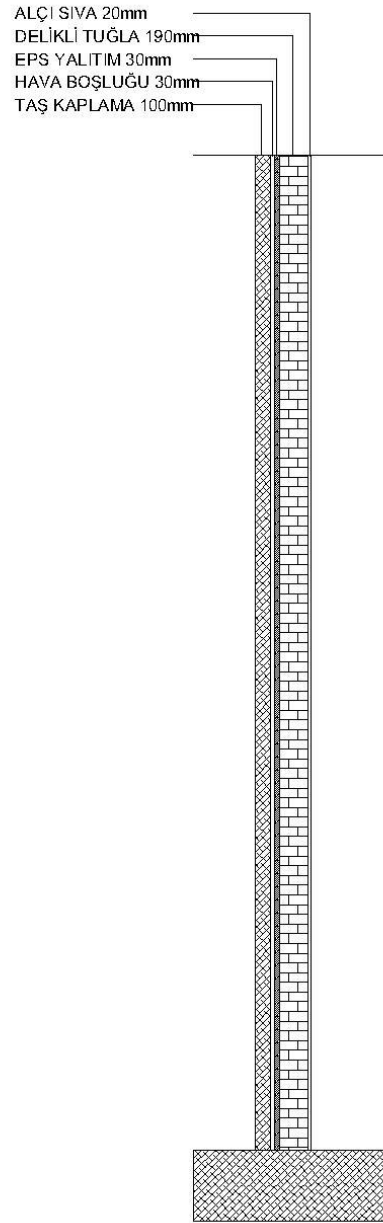
DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT KESİT ÖRNEKLERİ



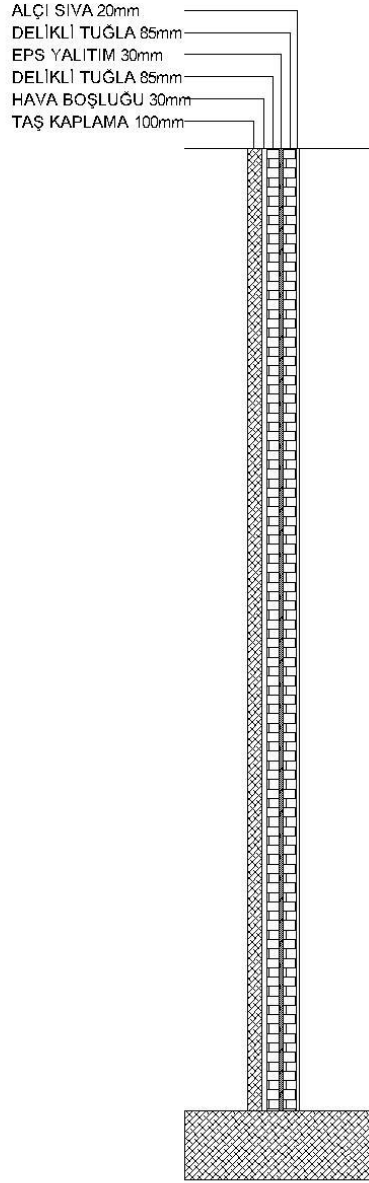
Şekil A.1 Radyant Hibrit Dış Duvar Paneli [71]



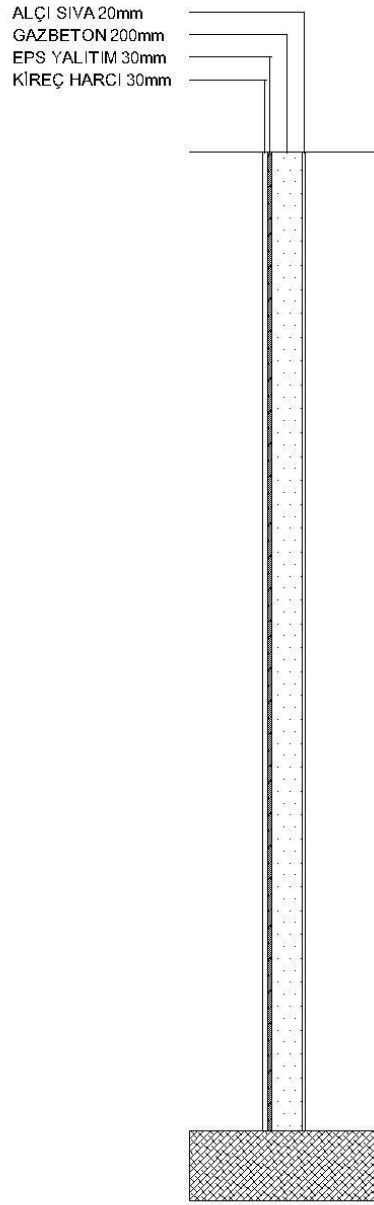
Şekil A.2 Geleneksel Tuğla Dış Duvar Kesiti



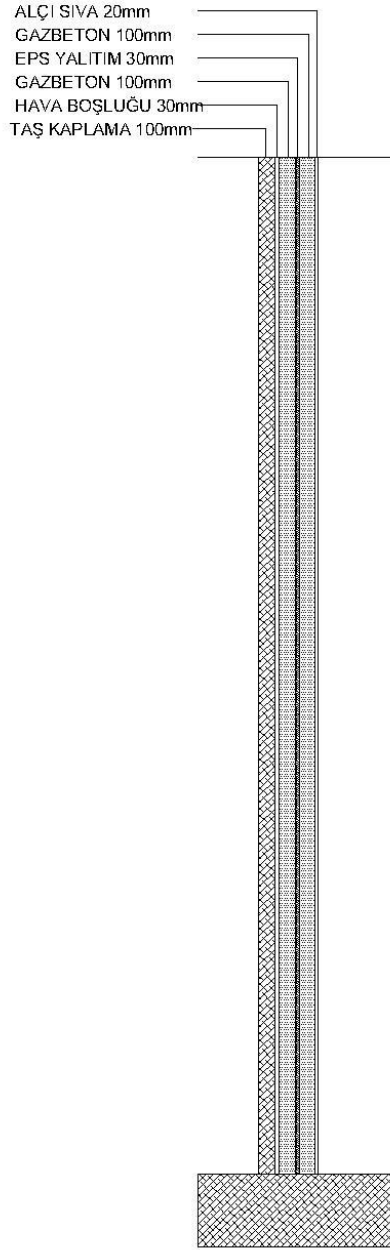
Şekil A.3 Hava Boşluklu Tuğla Dış Duvar Kesiti



Şekil A.4 Hava Boşluklu Çift Tuğla Dış Duvar Kesiti



Şekil A.5 Gazbeton Dış Duvar Kesiti



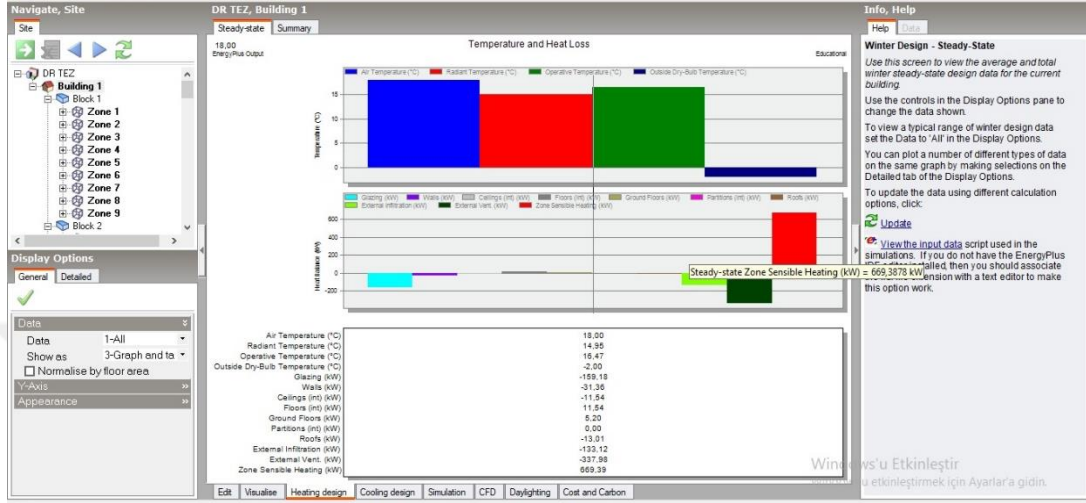
Şekil A.6 Hava Boşluklu Çift Gazbeton Tuğla Dış Duvar Kesiti



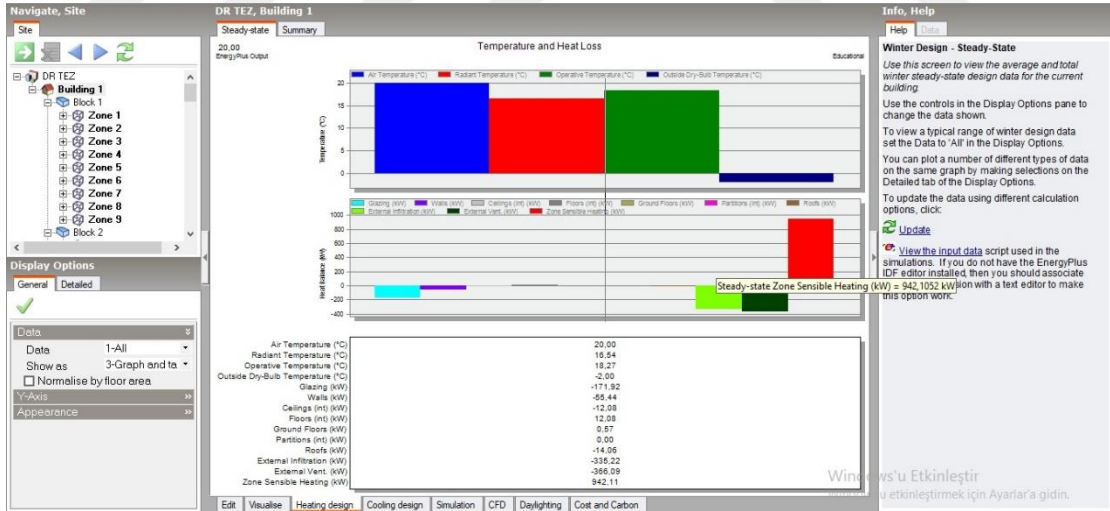
Şekil A.7 Reflekte Cam Kesiti

B

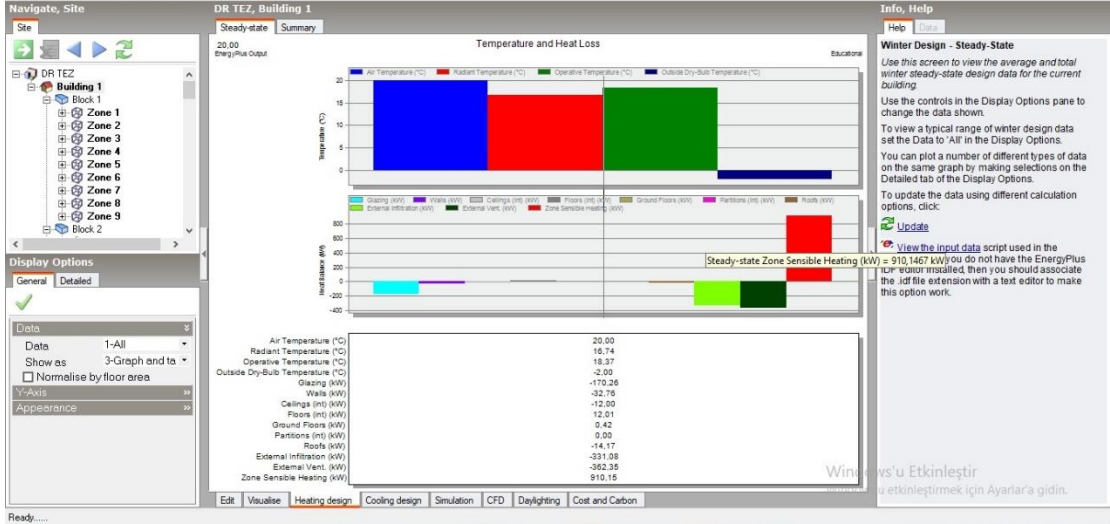
DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT “DESIGN BUILDER” PROGRAMI ARACILIĞIYLA HESAPLANAN ISI KAYBI SONUÇLARI



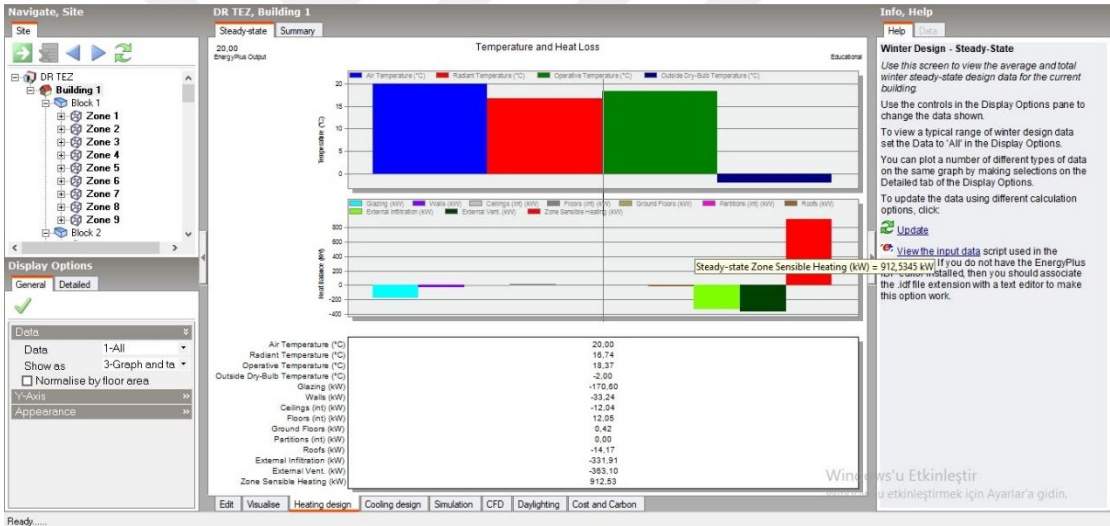
Şekil B. 1 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Radyant Hibrit Duvar (A1)



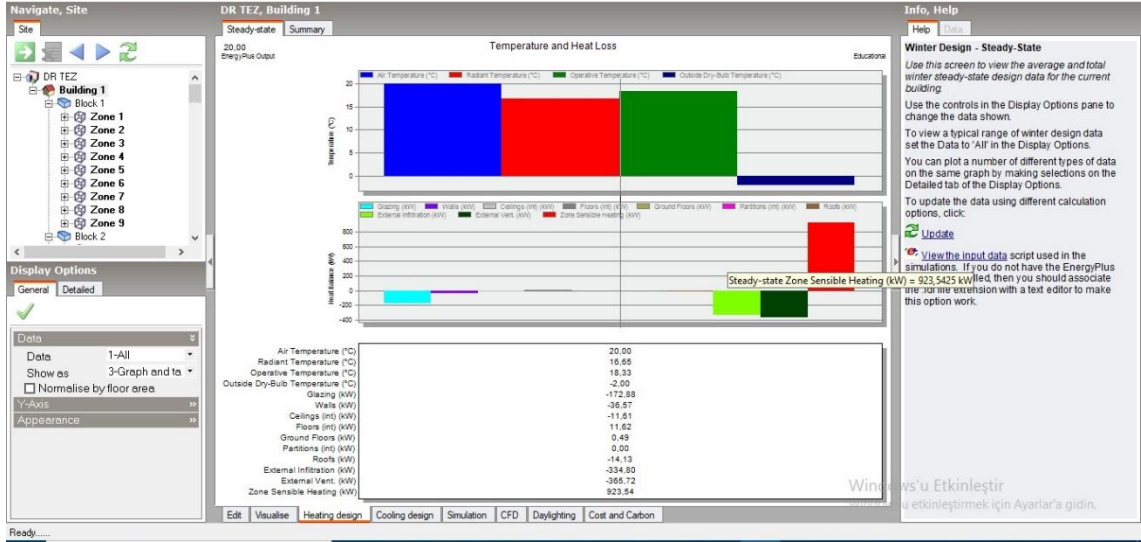
Şekil B. 2 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Tuğla Duvar (A2)



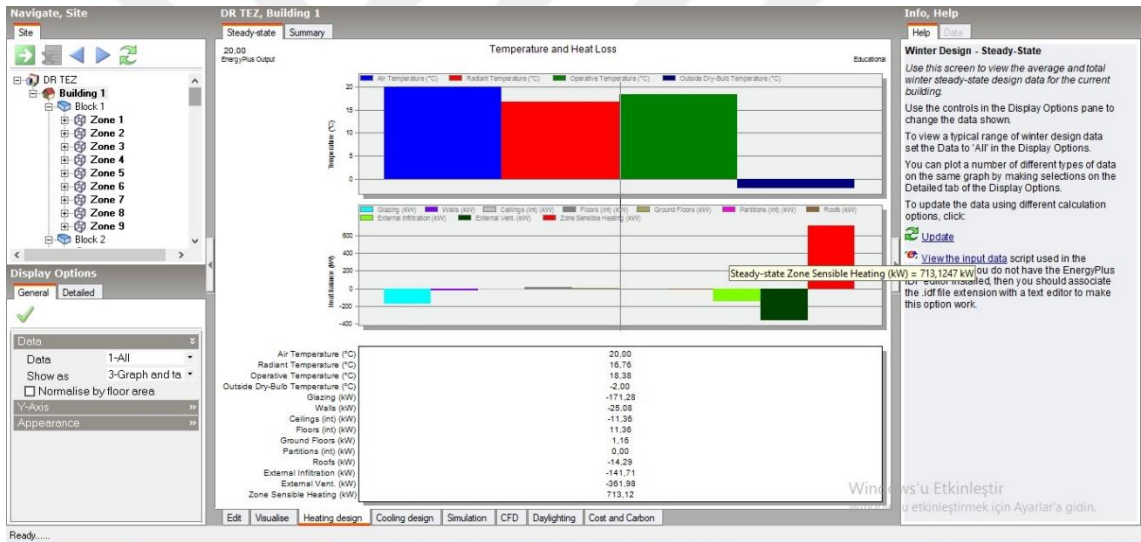
Şekil B. 3 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar (A3)



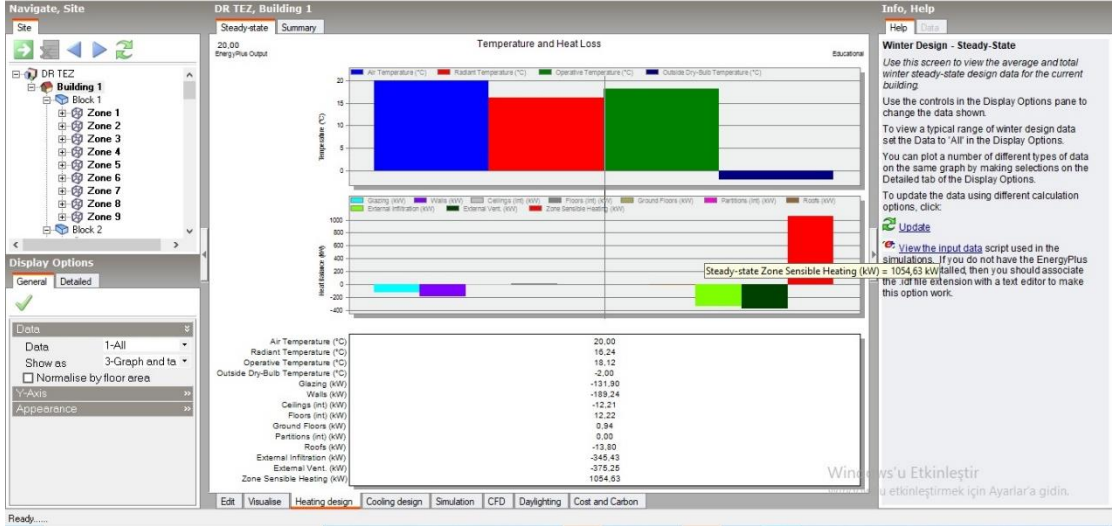
Şekil B. 4 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar (A4)



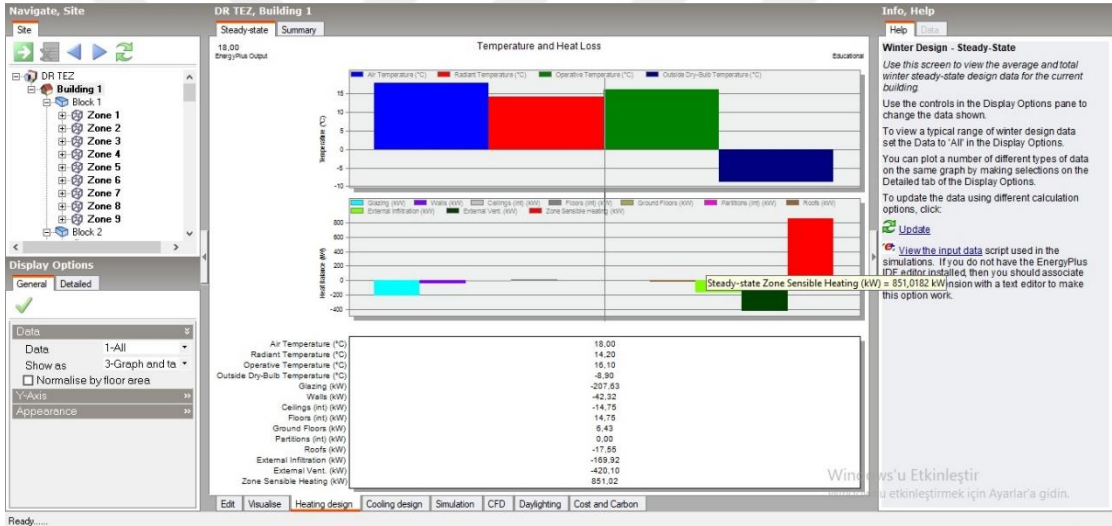
Şekil B. 5 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Gazbeton Duvar (A5)



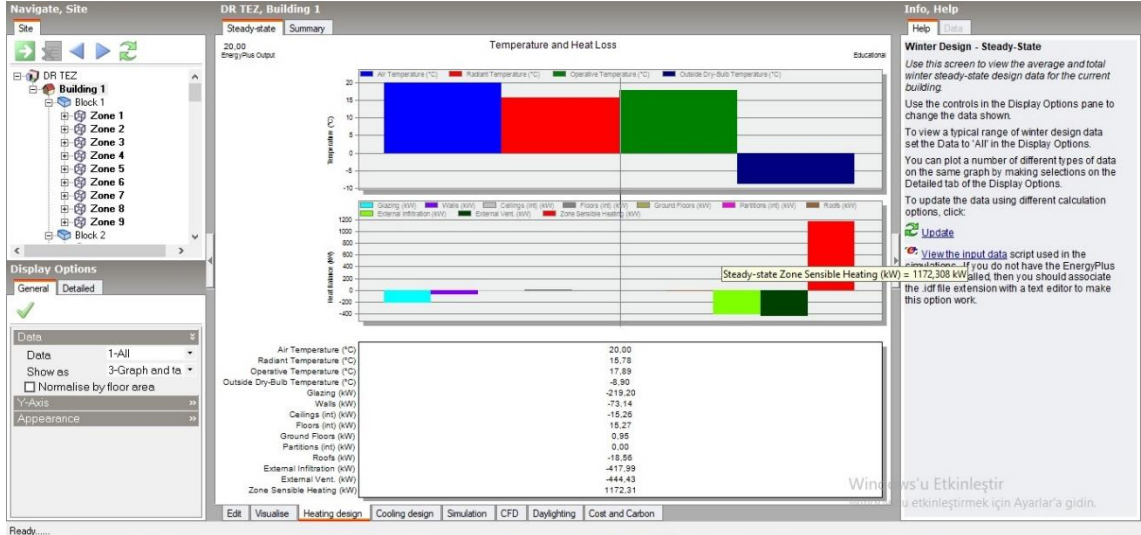
Şekil B. 6 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Hava Boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar (A6)



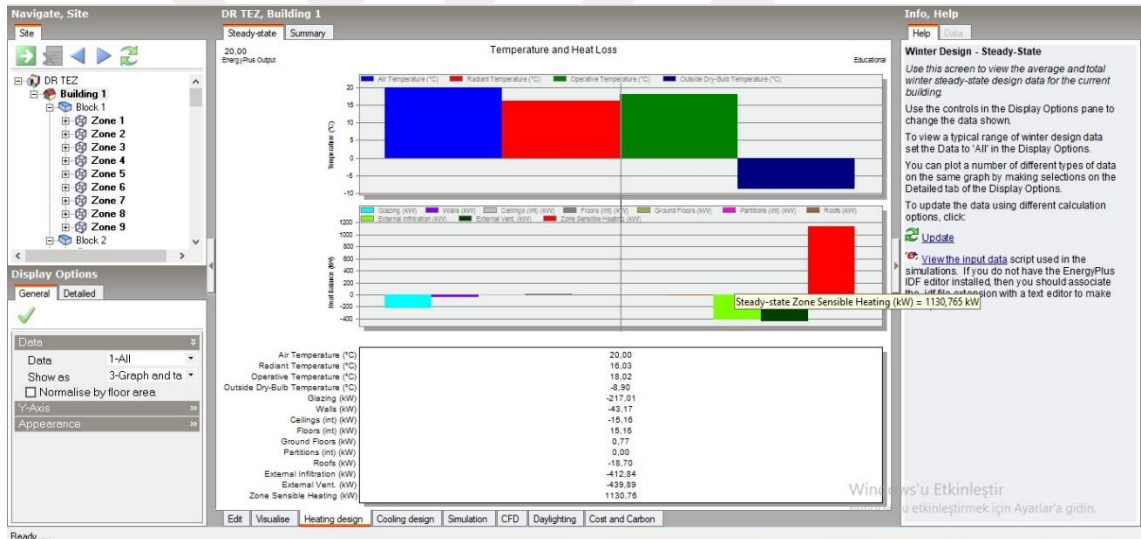
Şekil B. 7 İstanbul ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Giydirme Cam (A7)



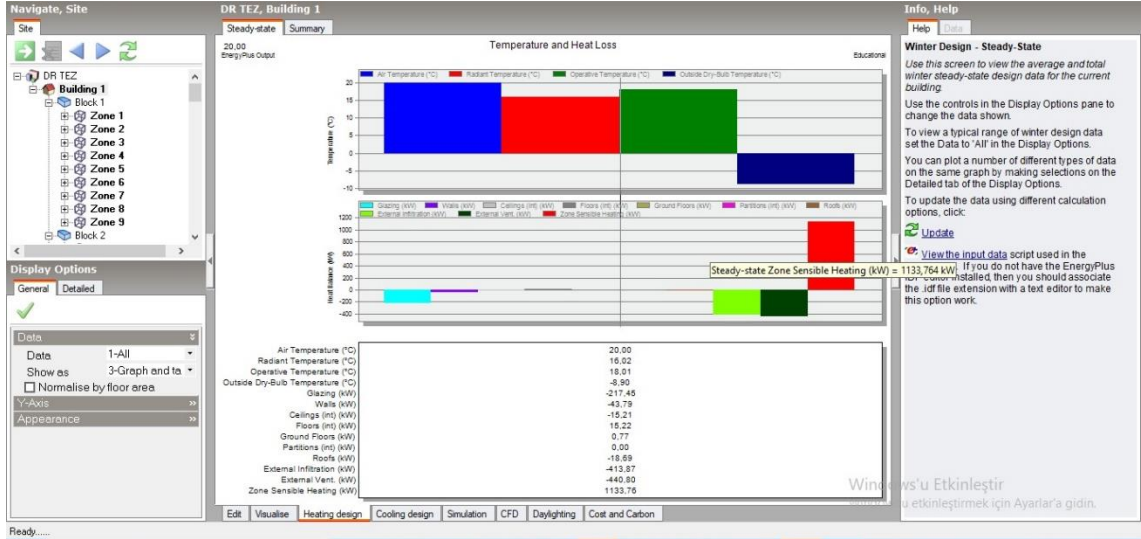
Şekil B. 8 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) - Radyant Hibrit Duvar (A1)



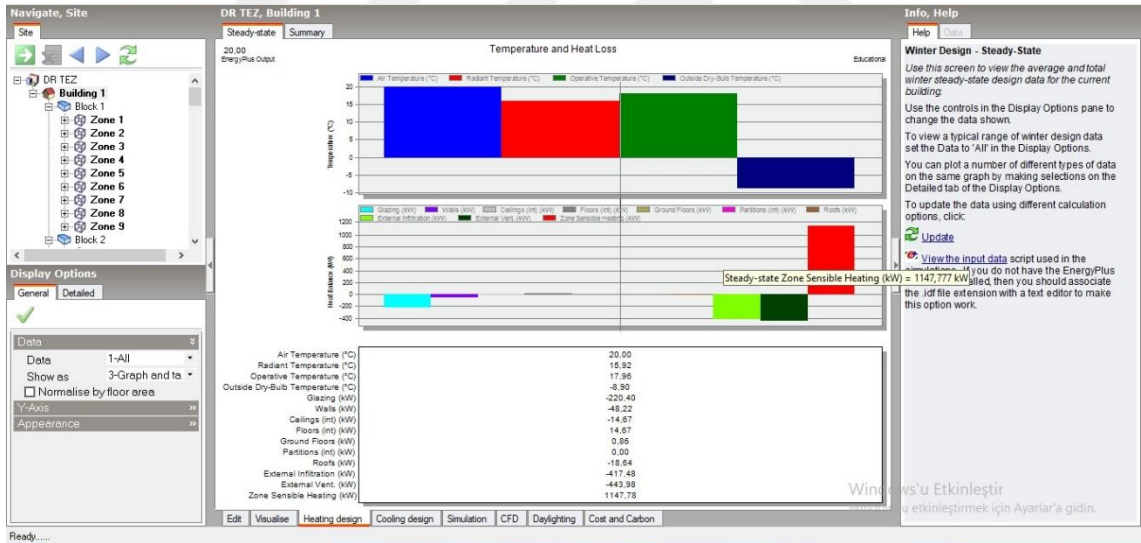
Şekil B.9 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Tuğla Duvar (A2)



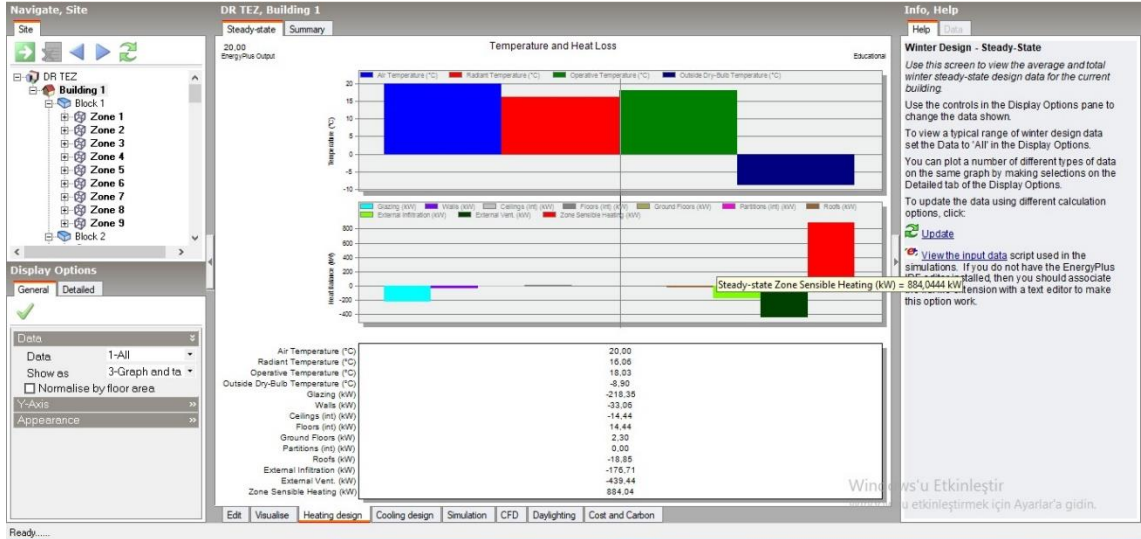
Şekil B. 10 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar (A3)



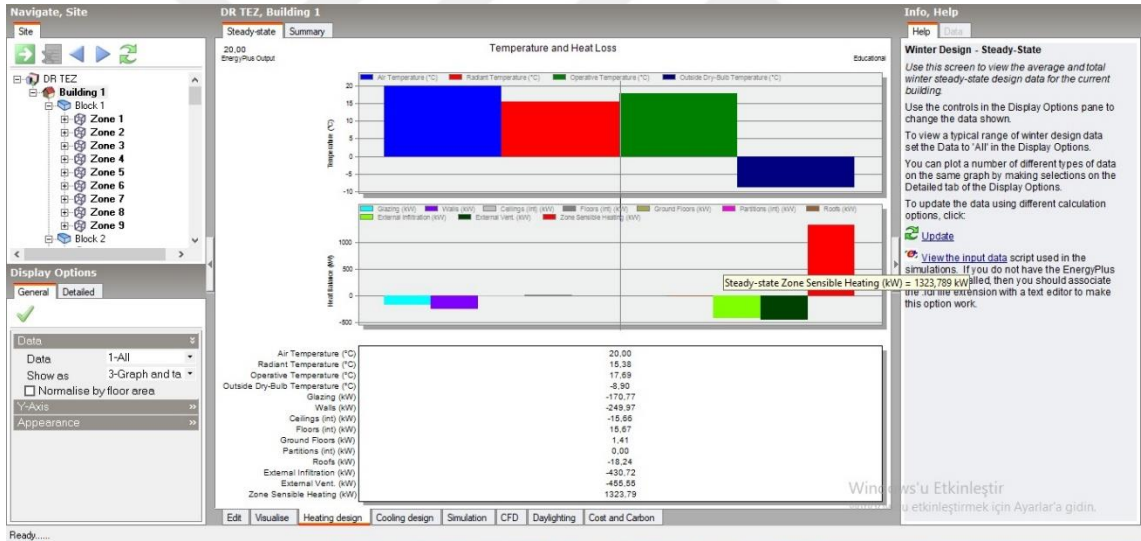
Şekil B. 11 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar (A4)



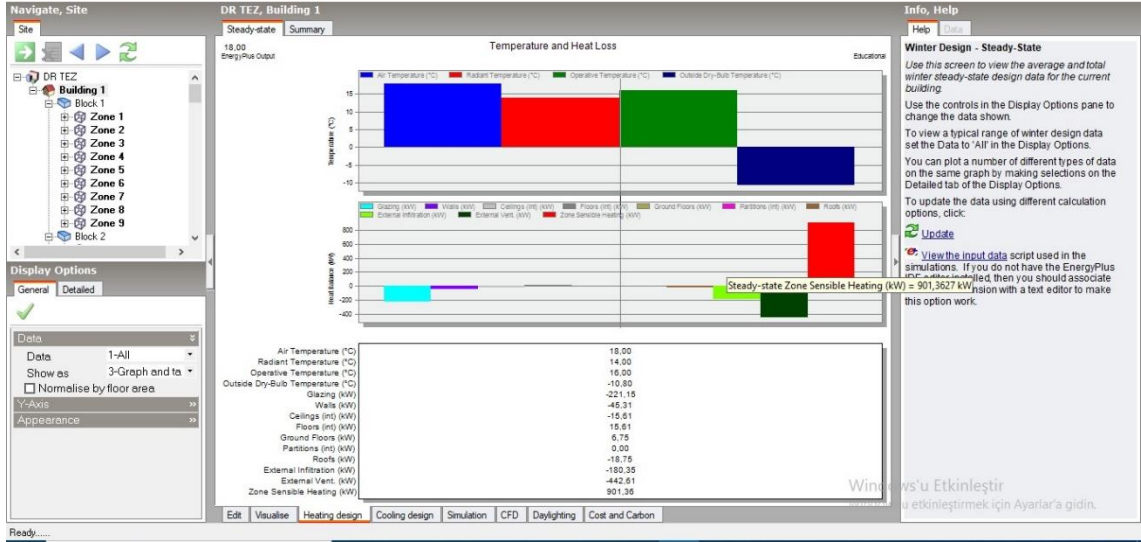
Şekil B. 12 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Gazbeton Duvar (A5)



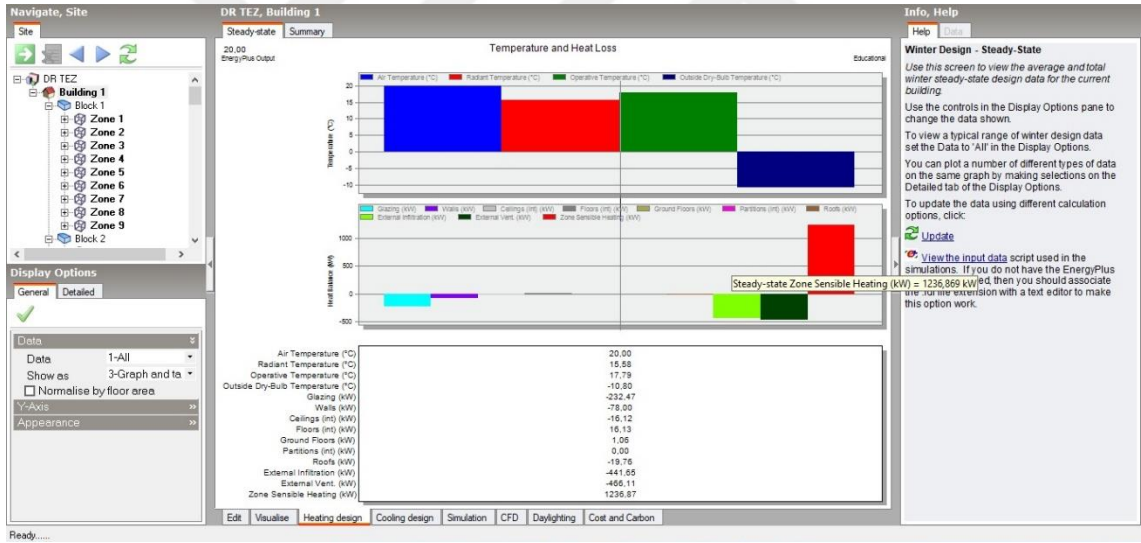
Şekil B. 13 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Hava boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar (A6)



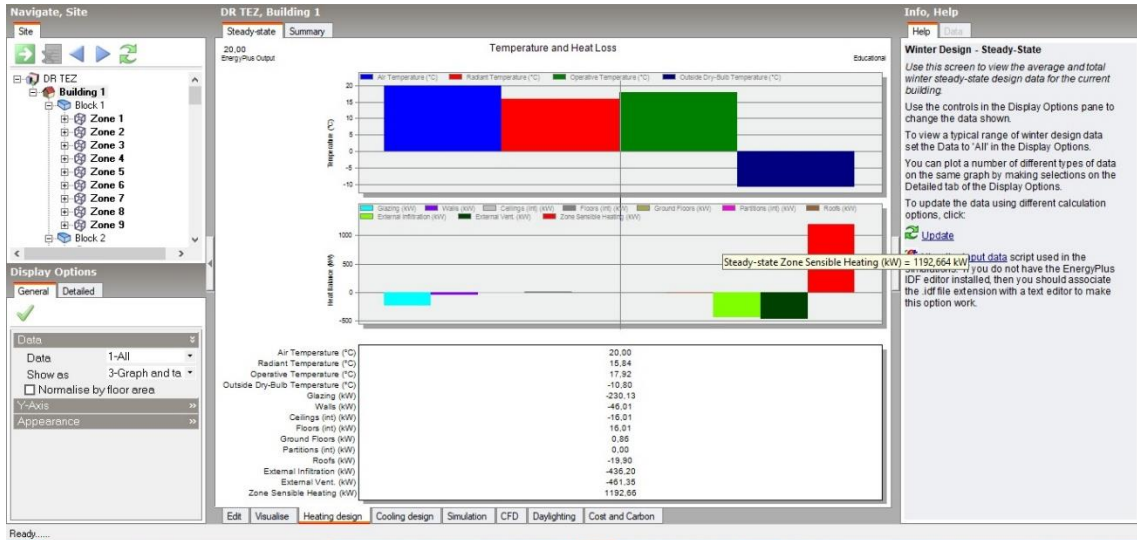
Şekil B. 14 Diyarbakır ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Giydirme Cam (A7)



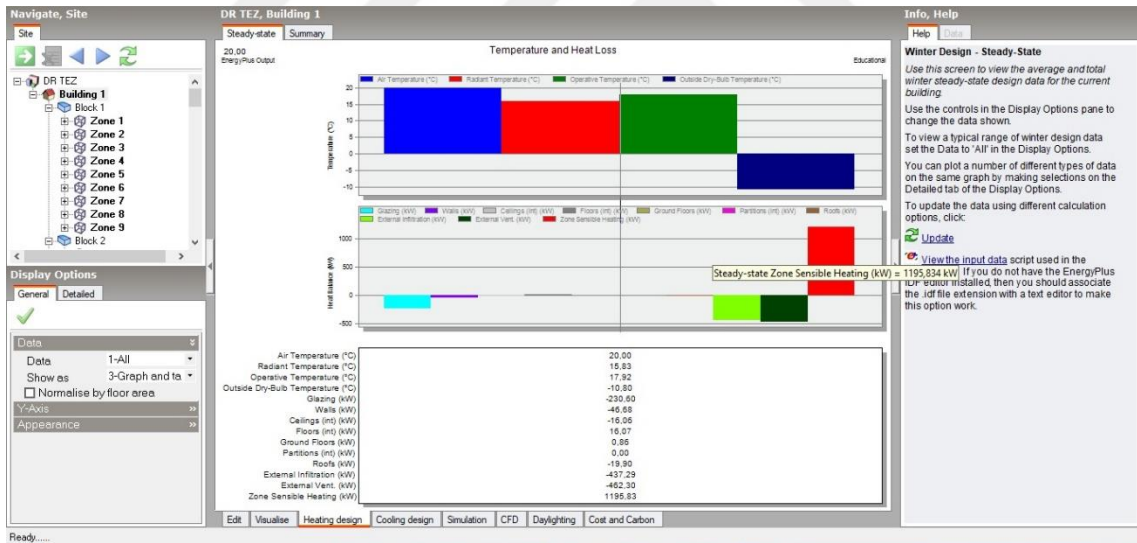
Şekil B. 15 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) - Radyant Hibrit Duvar (A1)



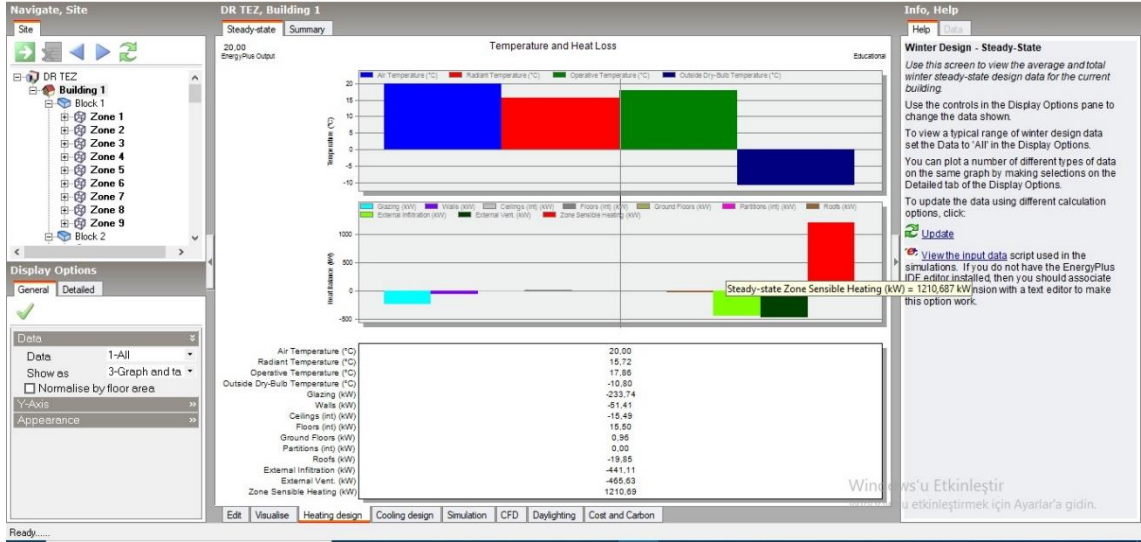
Şekil B. 16 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Tuğla Duvar (A2)



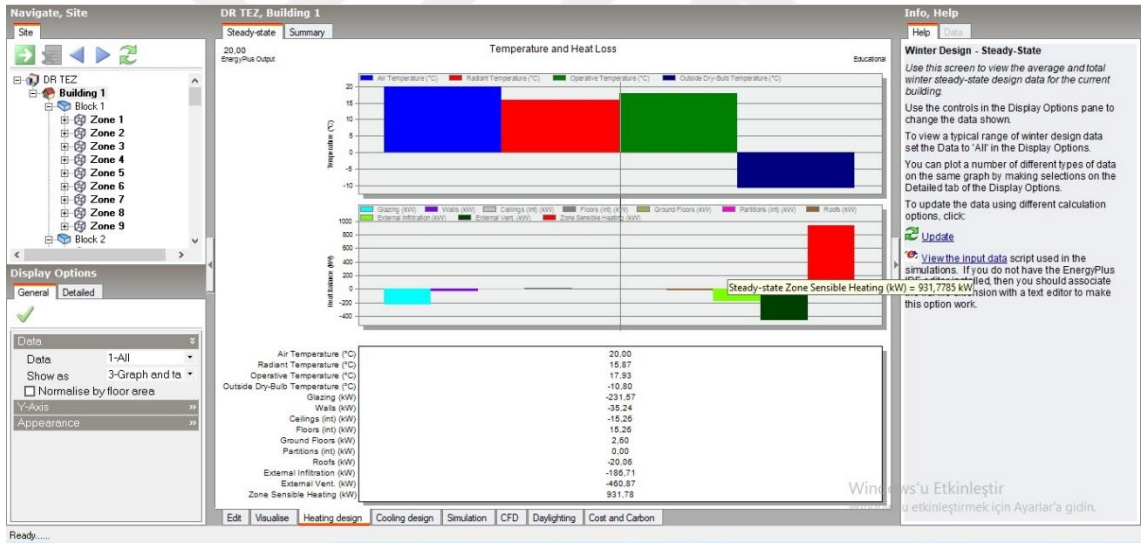
Şekil B. 17 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar (A3)



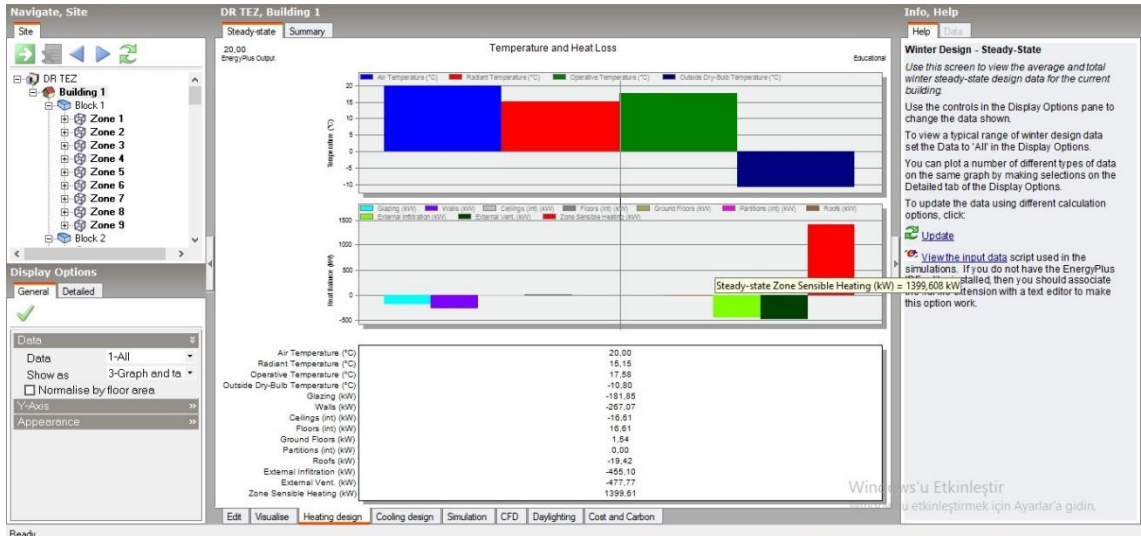
Şekil B. 18 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar (A4)



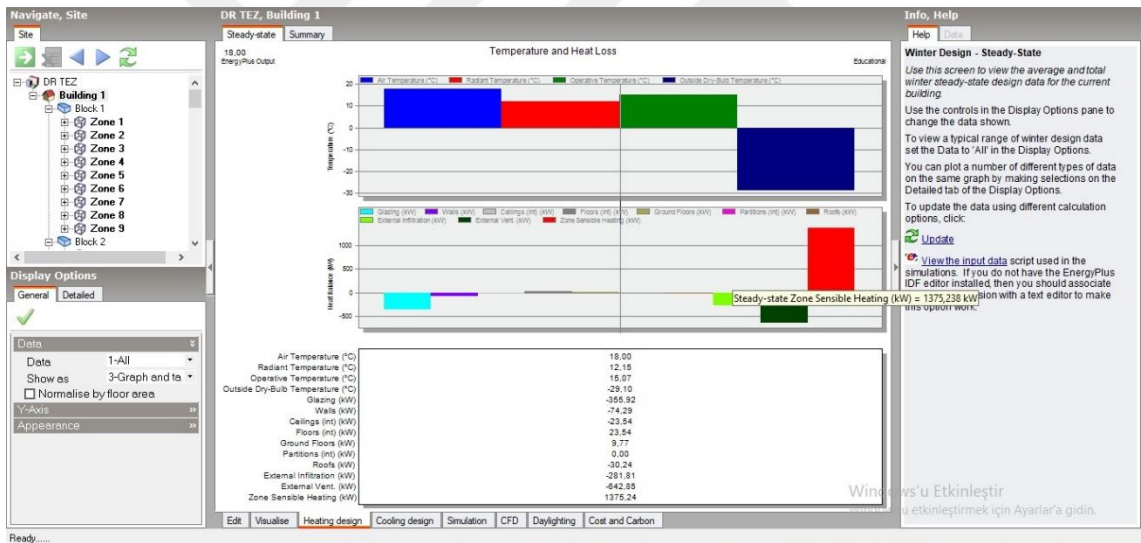
Şekil B. 19 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Gazbeton Duvar (A5)



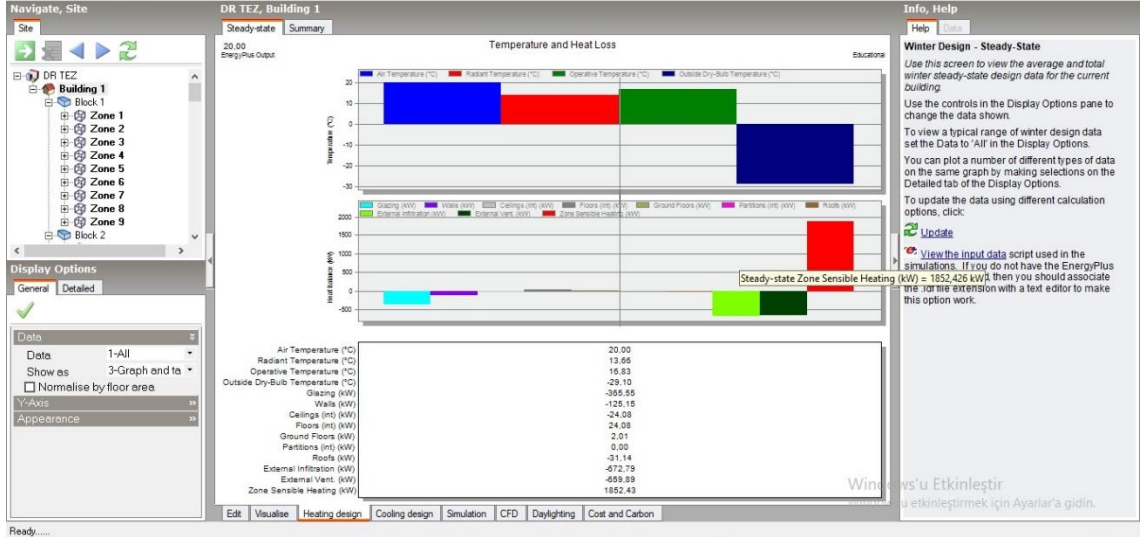
Şekil B. 20 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Hava boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar (A6)



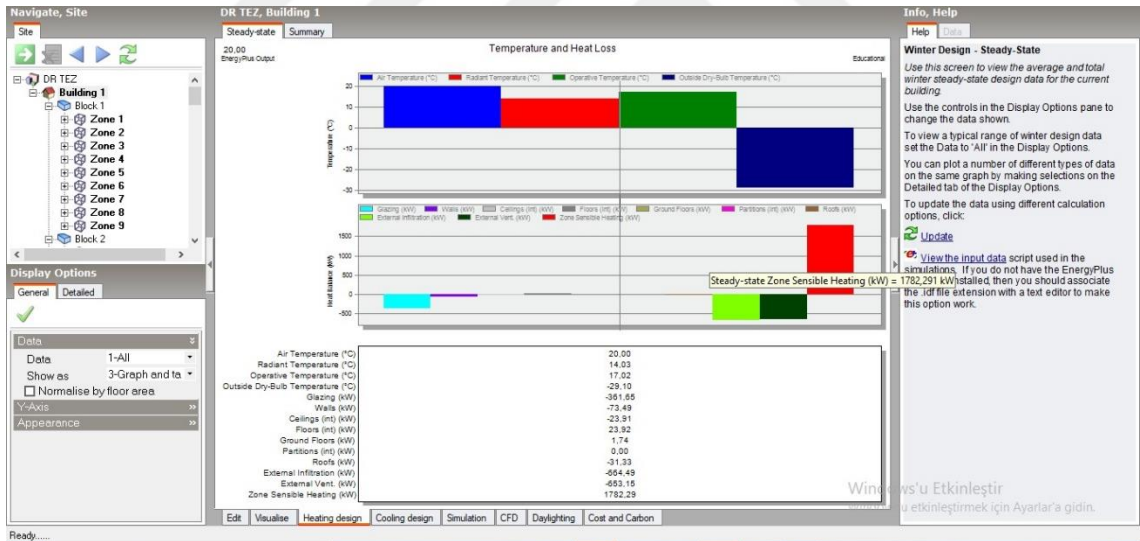
Şekil B. 21 Ankara ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Giydirme Cam (A7)



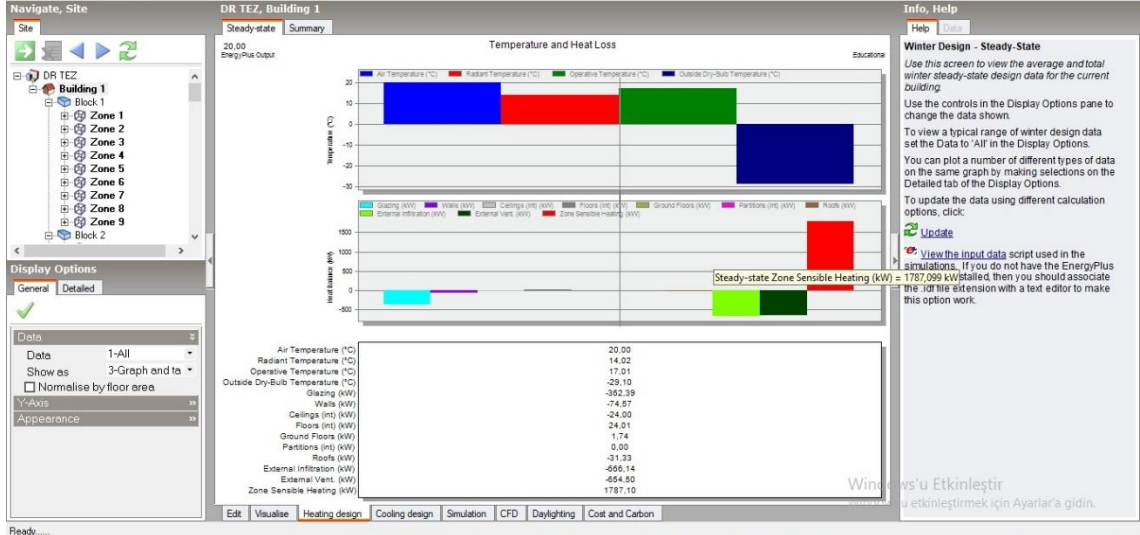
Şekil B. 22 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) - Radyant Hibrit Duvar (A1)



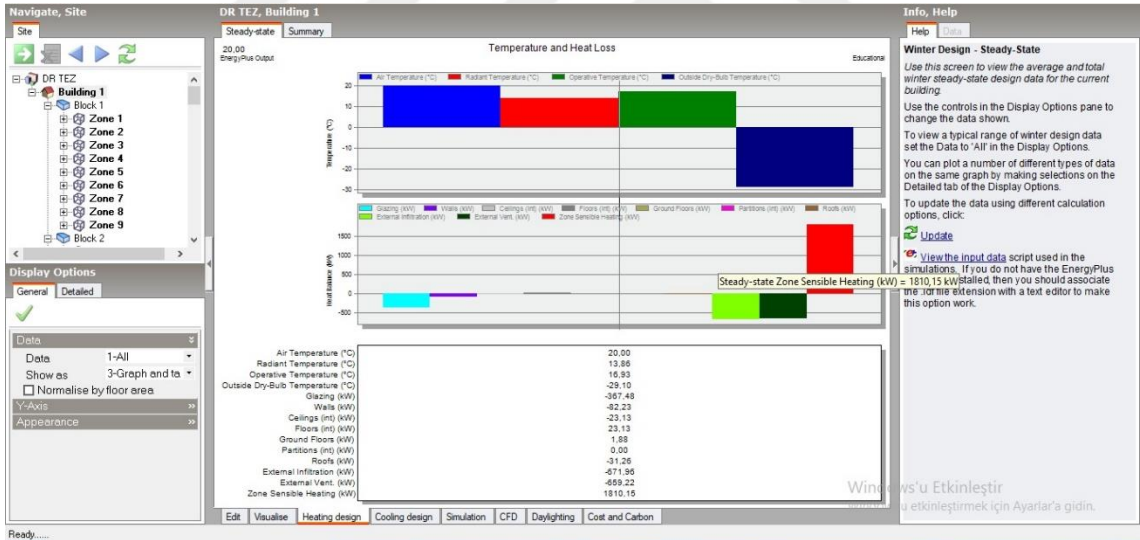
Şekil B. 23 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Tuğla Duvar (A2)



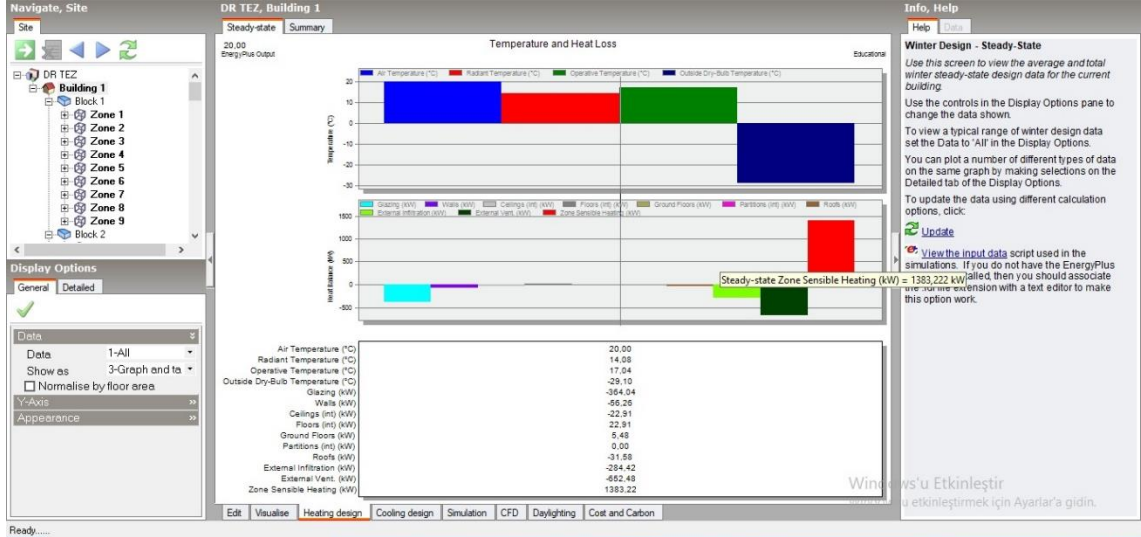
Şekil B. 24 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar (A3)



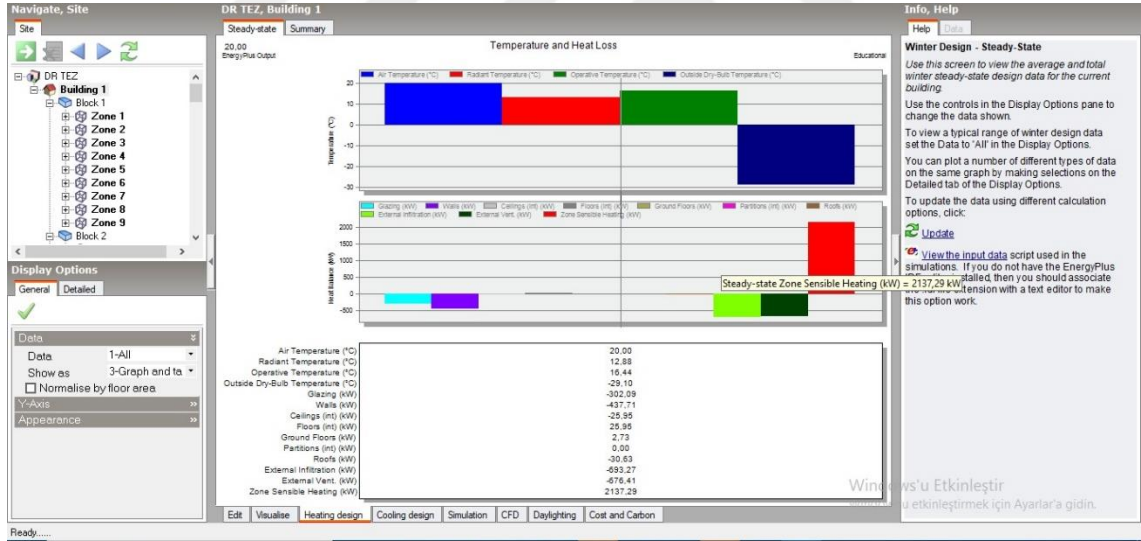
Şekil B. 25 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar (A4)



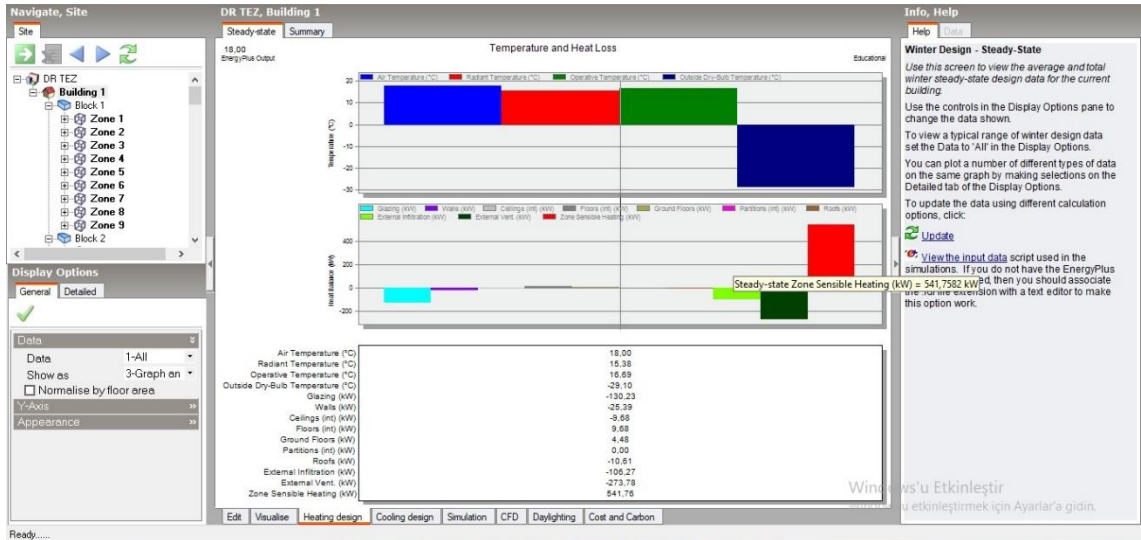
Şekil B. 26 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Gazbeton Duvar (A5)



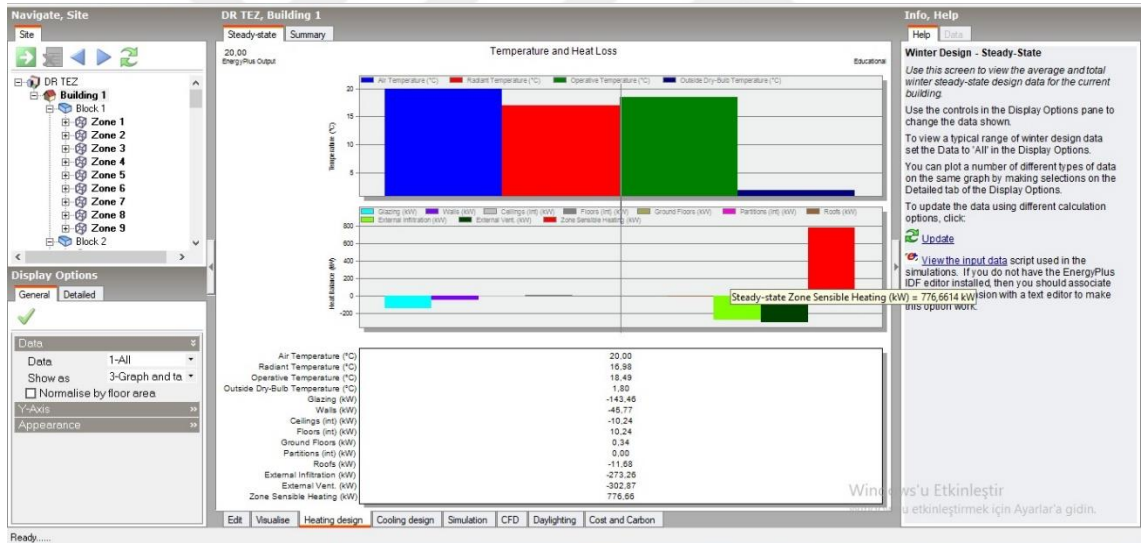
Şekil B. 27 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Hava boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar (A6)



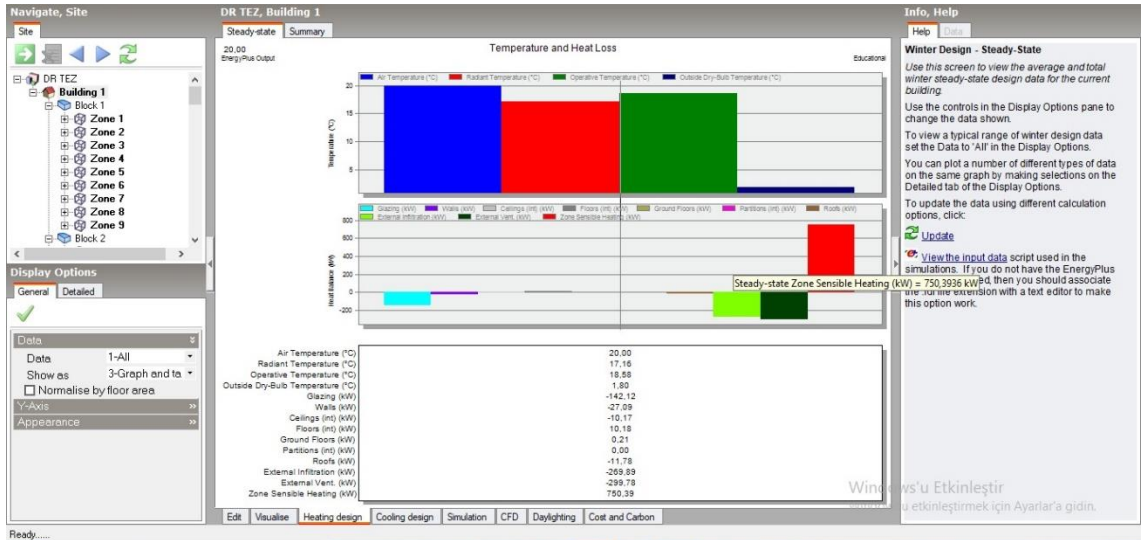
Şekil B. 28 Erzurum ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) –Giydirme Cam (A7)



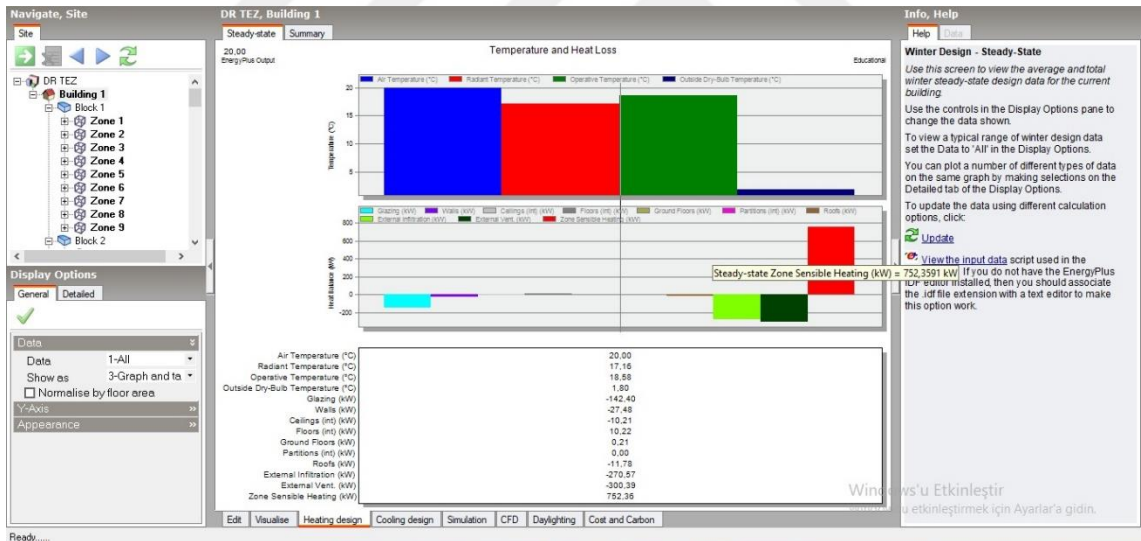
Şekil B. 29 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Radyant Hibrit Duvar (A1)



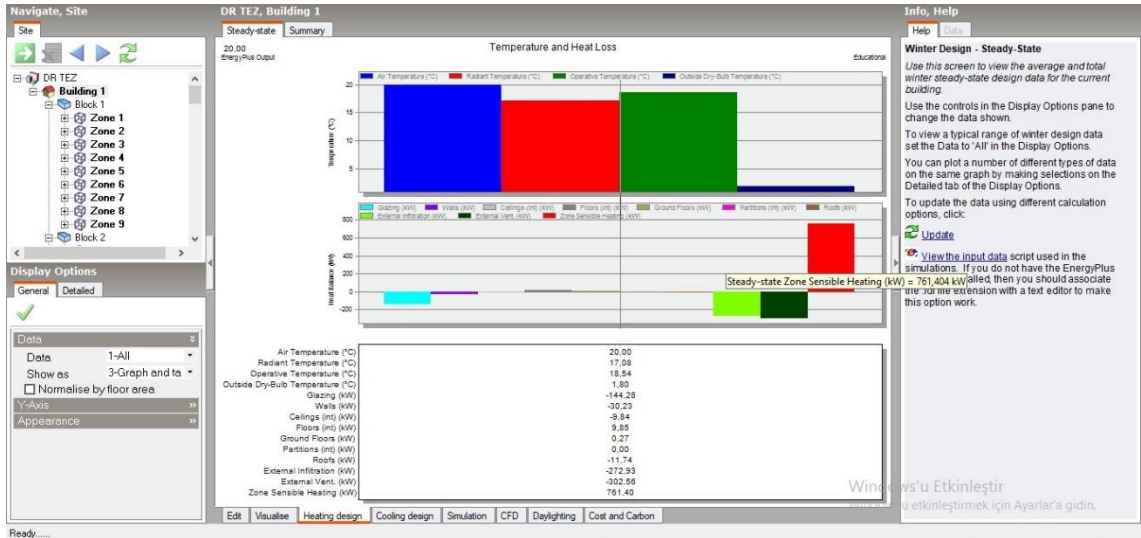
Şekil B. 30 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Tuğla Duvar (A2)



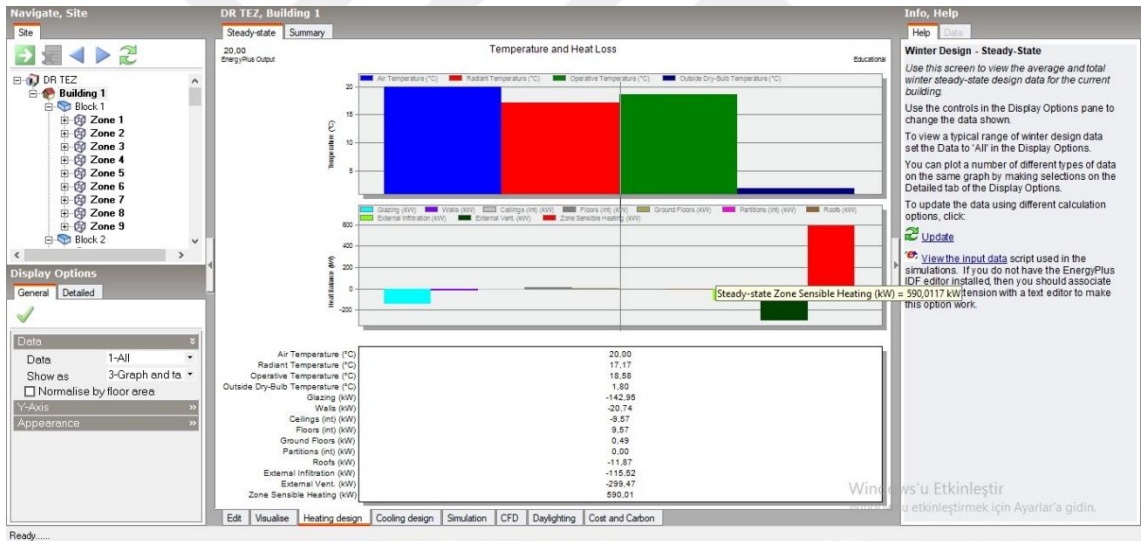
Şekil B. 31 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar (A3)



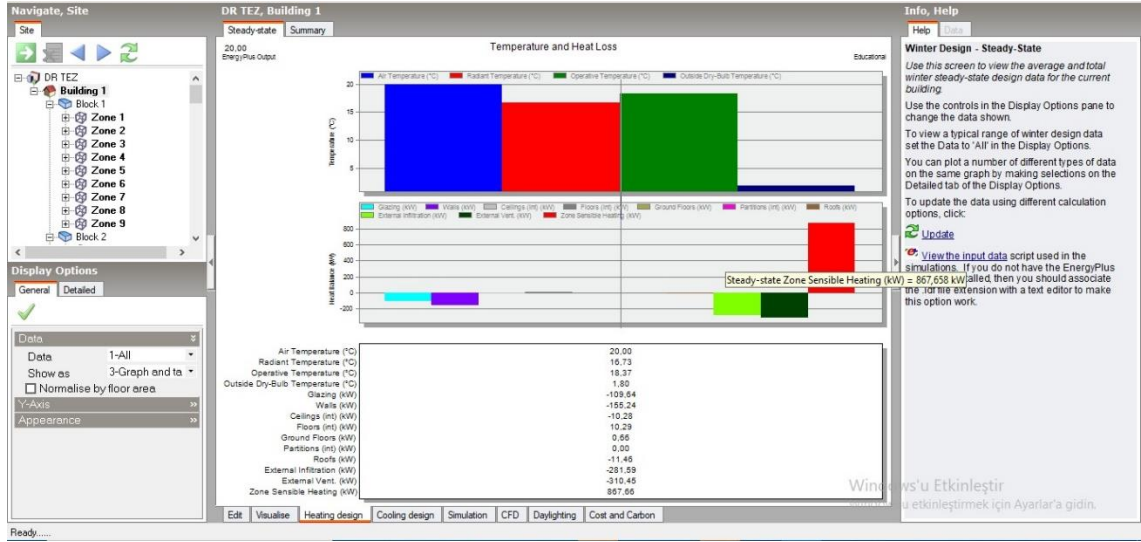
Şekil B. 32 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar (A4)



Şekil B. 33 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Gazbeton Duvar (A5)



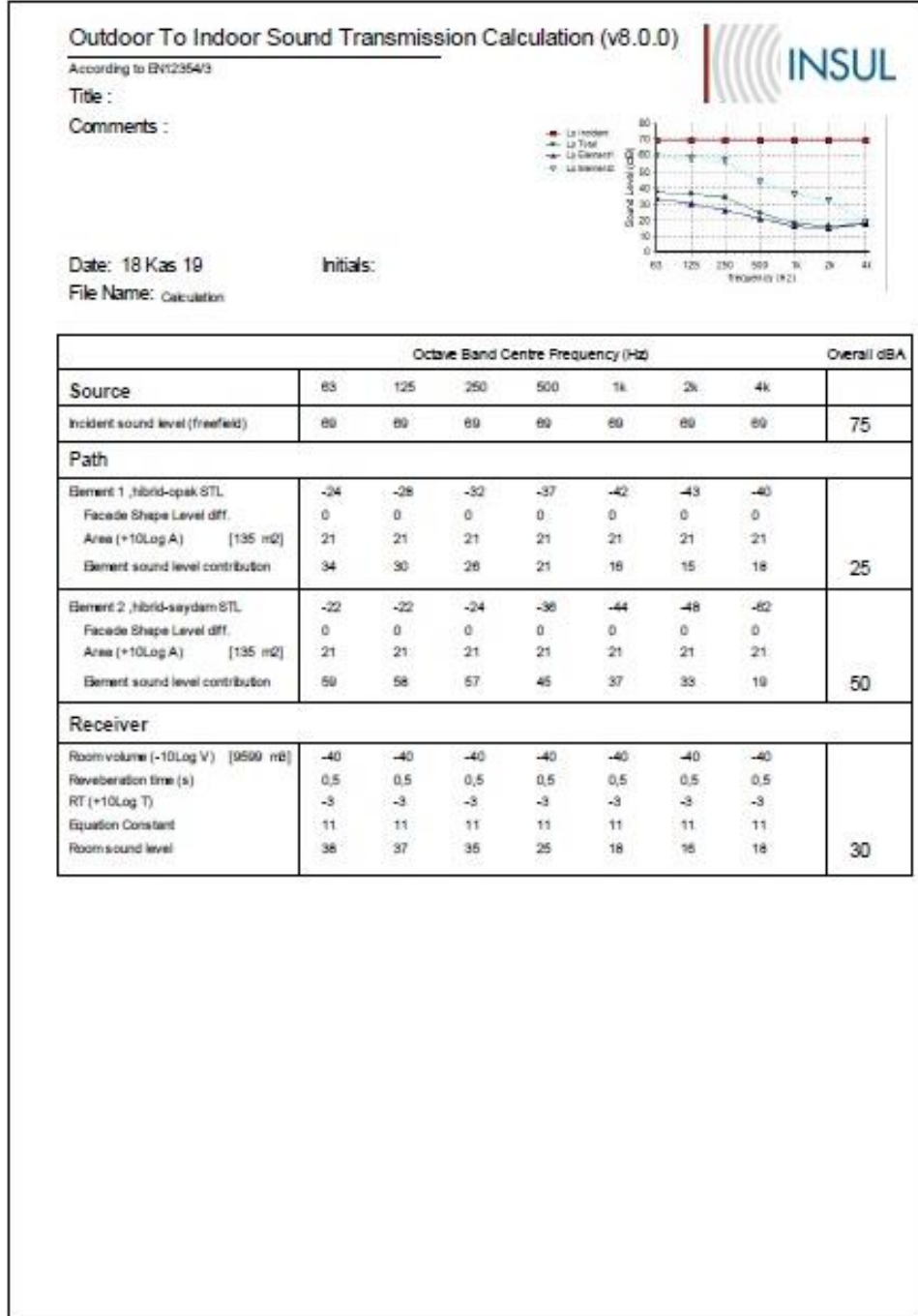
Şekil B. 34 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Hava boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar (A6)



Şekil B. 35 Antalya ısı kayıp analizleri sonuçları (kW) – Giydirme Cam (A7)

C

DUVAR ALTERNATİFLERİNE AİT “INSUL” YAZILIMI ARACILIĞIYLA HESAPLANAN SES KAYBI SONUÇLARI



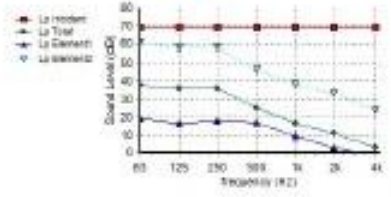
Şekil C. 1 Radyant Hibrit Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

Title :

Comments :



Date: 18 Kas 19

Initials:

File Name: Calculation

Source	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Bement 1, tuğla - opak STL	-39	-42	-40	-41	-49	-55	-60	17
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Bement sound level contribution	19	16	18	17	9,1	3,1	-1,9	
Bement 2, tuğla - saydam STL	-20	-22	-22	-34	-43	-48	-57	52
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Bement sound level contribution	61	59	59	47	38	33	24	
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9509 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	30
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	36	36	36	25	16	11	2,9	

Şekil C. 2 Geleneksel Tuğla Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

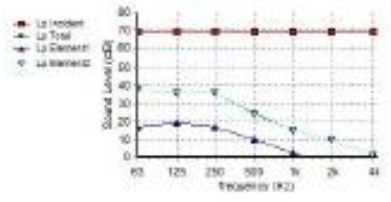
Title :

Comments :

Date: 4 Nis 20

Initials:

File Name: Calculation



	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
Source	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Element 1, taş kaplama tuğla- opak STL	-41	-39	-41	-48	-56	-64	-69	12
Facade Shape Level dff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	17	19	17	10	2,1	-5,9	-11	
Element 2, taş kaplama - saydam STL	-20	-22	-22	-34	-43	-48	-57	29
Facade Shape Level dff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	38	36	36	24	15	10	1,1	
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9500 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	29
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	38	36	36	24	15	10	1,4	

Şekil C. 3 Geleneksel Hava Boşluklu Tuğla Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

Title :

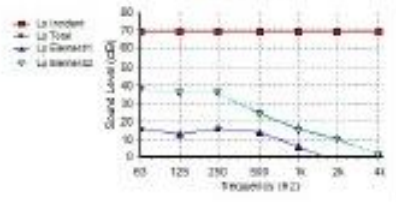
Comments :



Date: 4 Nis 20

Initials:

File Name: Calculation



	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
Source	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Element 1 ,2 tuğla - opak STL	-42	-45	-42	-44	-52	-41	-59	14
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	16	13	16	14	6,1	-2,9	-11	
Element 2 ,2 tuğla saydam STL	-20	-22	-22	-34	-43	-48	-57	29
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	36	36	36	24	15	10	1,1	
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9500 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	29
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	36	36	36	25	16	10	1,4	

Şekil C. 4 Geleneksel Hava Boşluklu Çift Katmanlı Tuğla Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

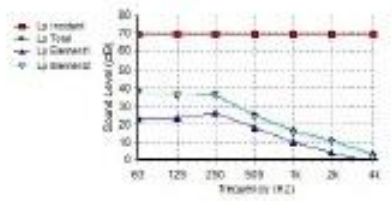
Title :

Comments :

Date: 18 Kas 19

Initials:

File Name: Calculation



Source	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Element 1 ,gaz beton - opak STL	-35	-35	-32	-40	-48	-54	-60	20
Facade Shape Level dff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	23	23	28	18	10	4,1	-1,9	
Element 2 ,gaz beton - saydam STL	-20	-22	-22	-34	-43	-48	-57	29
Facade Shape Level dff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Element sound level contribution	38	36	38	24	15	10	1,1	
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9599 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	30
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	38	36	37	25	16	11	2,0	

Şekil C. 5 Gazbeton Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

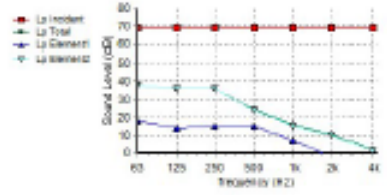
Uzaklaştır (Ctrl+Eksi)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

Title :

Comments :



Date: 8 May 20

Initials:

File Name: Calculation

Source	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Bement 1 ,opak- taş kaplı HB çift gaz beton-40L	-44	-43	-43	-43	-51	-60	-66	14
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Bement sound level contribution	18	14	15	15	7,1	-1,9	-7,9	
Bement 2 ,aydın-taş kap HB çift gaz beton-60L	-22	-22	-34	-43	-48	-57	-57	
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [135 m2]	21	21	21	21	21	21	21	
Bement sound level contribution	38	36	36	24	15	10	1,1	
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9500 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	29
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	38	36	36	25	16	10	1,8	

Şekil C. 6 Hava Boşluklu Çift Katmanlı Gazbeton Duvar İçeri Geçen Ses Düzeyi (dba) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Outdoor To Indoor Sound Transmission Calculation (v8.0.0)

According to EN12354/3

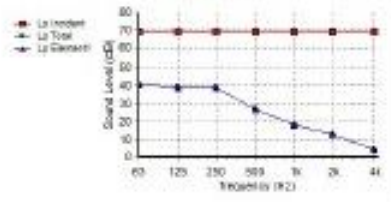
Title :

Comments :

Date: 18 Kas 19

Initials:SONY

File Name: Calculation



	Octave Band Centre Frequency (Hz)							Overall dBA
Source	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Incident sound level (freefield)	69	69	69	69	69	69	69	75
Path								
Element 1 ,cam 8TL	-20	-22	-22	-34	-43	-48	-57	
Facade Shape Level diff.	0	0	0	0	0	0	0	
Area (+10Log A) [270 m2]	24	24	24	24	24	24	24	
Element sound level contribution	41	39	39	27	18	13	4.1	32
Receiver								
Room volume (-10Log V) [9500 m3]	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	
Reverberation time (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
RT (+10Log T)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Equation Constant	11	11	11	11	11	11	11	
Room sound level	41	39	39	27	18	13	4.1	32

Şekil C. 7 Cam Giydirme Cephe İçeri Geçen Ses Düzeyi (dbA) (Dış Gürültü Düzeyi 75 dbA)

Makaleler

1. S.N. Erikci Çelik, G. Zorer Gedik. Yapı Kabuğu Performansının Yenilikçi Bir Tasarım Kapsamında Değerlendirilmesi: Yüzeyden Isıtma Soğutma Sistemli Modüler Hibrid Duvar Örneği – İstanbul. Megaron – Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, Vol 14 No 4 Aralık 2019 pp.495-506. doi: 10.14744/megaron.2019.59329. (Dr. Tezden üretilmiştir.)

2. S.N.Erikci Çelik, G. Zorer Gedik, B. Parlakyıldız, M. G. Çetin, A. Koca, Z. Gemici. The performance evaluation of the modular design of hybrid wall with surface heating and cooling system. ITU A | Z Journal of the Faculty of Architecture, Vol 13 No 2 July 2016 pp.31-37. ISSN 1302-8324. DOI: 10.5505/itujfa.2016.48658, azitujournal.com/jvi.aspx.

Konferans Bildirileri

1. S.N. Erikci Çelik, G. Zorer Gedik, A. Koca, M.G. Çetin & Z. Gemici, (19-22 April 2016). The Performance Evaluation of the Modular Design of Hybrid Wall with Surface Heating and Cooling System, 2nd ICNTAD'16 International Conference on new Trends in Architecture and Interior Design Proceedings Book (All In One Conferences), Zagreb, Croatia. ISBN: 978-605-66506-0-4, pp.271-278.

2. S.N. Erikci Çelik, G. Zorer Gedik, A. Koca, M.G. Çetin & Z. Gemici, (4-6 Mayıs 2016). Yüzeyden Isıtma Soğutma Sistemli Modüler Hibrid Duvar Tasarımı ve Performansının Değerlendirilmesi, 2.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla. ISBN: 978-605-61283-6-3, pp.243-252.

Projeler

1. G. Z. Gedik, Ş. Ö. Atayılmaz, S. N. Erikci, M. G. Çetin, Y. Topaçoğlu, A. Koca, Z. Gemici, (2016). "Yüzeyden Isıtma Soğutma Sistemli Modüler Hibrit Duvar Yapısının Geliştirilmesi", 0462.STZ.2013-2 no'lu SAN-TEZ Projesi.