

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNALARDA ISI KAYBI VE MALİYET OPTİMİZASYONU İLE UYGUN
MALZEME SEÇİMİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alp Eren SANİSOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNALARDA ISI KAYBI VE MALİYET OPTİMİZASYONU İLE UYGUN
MALZEME SEÇİMİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alp Eren SANİSOĞLU
(501131101)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gül POLAT TATAR

HAZİRAN 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Alp Eren SANİSOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Binalarda Isı Kaybı ve Maliyet Optimizasyonu ile Uygun Malzeme Seçimi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gül POLAT TATAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet Emre BAYRAKTAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Aşlı Pelin GÜRGÜN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2018





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek her fırsatta çalışmamla yakından ilgilenen danışman hocam Prof. Dr. Gül Polat Tatar'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve beni bugünlere getiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana inandığı ve her zaman yanımda olduğu için sevgili eşime teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2018

Alp Eren Sanisoğlu
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE YEŞİL BİNALAR.....	5
2.1 Sürdürülebilirlik ve Binalarda Enerji Verimliliği	7
2.2 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Uluslararası Enerji Verimliliği Kanunları	8
2.3 Binalarda Enerji Verimliliğini Arttırmak	11
3. BİNALARDA ISI YALITIMI	15
3.1 Binalarda Isı Yalıtımı için Kullanılan Malzemeler.....	17
3.1.1 Ekstrüde polistren köpük (XPS).....	17
3.1.2 Ekspande polistren köpük (EPS).....	18
3.1.3 Cam yünü.....	18
3.1.4 Taş yünü.....	19
3.1.5 Gazbeton.....	20
3.1.6 Tuğla.....	20
3.1.7 Bims.....	21
3.2 Binalarda Isı Yalıtımı Optimizasyonu ile ilgili Yapılan Çalışmalar.....	22
3.3 Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Verimliliğine Etkisi	23
3.4 TS 825'e göre Isı Yalıtım Hesapları	24
3.4.1 Isıl geçirgenlik direncinin hesaplanması	26
3.4.2 Toplam ısıl geçirgenlik katsayısının hesaplanması.....	27
3.4.3 Isı kaybı hesabı.....	27
3.4.3.1 İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı	28
3.4.3.2 Havalandırma yoluya gerçekleşen ısı kaybı	28
3.4.4 Aylık ortalama iç kazançlar	29
3.4.5 Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.....	30
3.4.6 Kazanç kullanım faktörü.....	31
3.4.7 Isıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması.....	31
3.5 TS 825'e göre Yıllık Isıtma Enerjisi Sınır Değerleri	32
3.6 Malzeme Seçimi ve Malzemelerin Boyutlandırılması	33
3.6.1 Duvar yapı bileşeni.....	33
3.6.2 Taban yapı bileşeni.....	34
3.6.3 Tavan yapı bileşeni.....	35
3.6.4 Pencere yapı bileşeni	35
3.6.5 Kapı yapı bileşeni.....	36

4. VAKA ÇALIŞMASI.....	37
4.1 Örnek Hesaplamalar.....	38
4.1.1 Isıl geçirgenlik direncinin hesaplanması.....	38
4.1.2 Toplam ısıl geçirgenlik katsayısının hesaplanması	41
4.1.3 Isı kaybı hesabı	42
4.1.3.1 İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı	42
4.1.3.2 Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı	43
4.1.4 Aylık ortalama iç kazançlar.....	43
4.1.5 Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları	43
4.1.6 Kazanç kullanım faktörü	45
4.1.7 Isıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması	47
4.1.8 Isı kaybını önlemek için kullanılan yalıtım sistemi maliyeti.....	49
4.1.8.1 Duvar yapı bileşeni.....	49
4.1.8.2 Taban yapı bileşeni.....	50
4.1.8.3 Tavan yapı bileşeni.....	50
4.1.8.4 Pencere yapı bileşeni	51
4.1.8.5 Kapı yapı bileşeni.....	51
4.2 Optimizasyon Modelinin Vaka Çalışmasına Uygulanması	52
4.2.1 Genetik Algoritma Yöntemi	52
4.2.2 Vaka çalışması uygulaması	53
4.3 Binanın Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti.....	60
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
REFERANSLAR.....	71
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞİ	91

KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BS	: British Standards (İngiliz Standardları)
CEN	: European Committee for Standardization
CIBSE	: Chartered Institution of Building Services Engineers
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
EPCA	: Energy Policy and Conservation Act (Enerji Politikası ve Enerjiyi Koruma Yasası)
EPS	: Expanded Polystyrene Foam
ETKB	: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FEA	: Federal Energy Administration
ISO	: International Organization for Standardization
LEED	: The Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)
NCR	: National Resources Canada
NSGA 2	: Nondominated Sorting Genetic Algorithm 2
NZEB	: Nearly Zero Energy Buildings
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries
OTTV	: Overall Thermal Transfer Value
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS	: Türk Standartları
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevresel Programı)
XPS	: Extruded Polystyrene Foam



SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
$\theta_{e,ay}$	: Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri
$\theta_{i,ay}$	: Aylık ortalama iç sıcaklık değerleri
R	: Isıl geçirgenlik direnci
H	: Isı kaybı
H_T	: İletim ve taşınım yollarıyla oluşan ısı kaybı
H_v	: Havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı
$\Phi_{i,ay}$	: Aylık ortalama iç kazançlar
$\Phi_{s,ay}$	: Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları
η	: Kazanç kullanım faktörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İllere göre derece gün bölgeleri	24
Çizelge 3.2 : Farklı derece gün bölgeleri için ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri	25
Çizelge 3.3 : Farklı kullanım amaçlarına göre ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri	25
Çizelge 3.4 : Yüzeysel ısı transfer değerleri	26
Çizelge 3.5: Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü.....	30
Çizelge 3.6: Labaratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	30
Çizelge 3.7 : En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ pramları için sınırlandırılan ısıtma enerjisi değerleri.....	32
Çizelge 3.8 : Ara değerler için sınırlandırılan ısıtma enerjisi değerleri	32
Çizelge 4.1 : Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanlar ve katmanlara ait bilgiler ..	39
Çizelge 4.2 :Toprağa temas eden taban yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler	39
Çizelge 4.3 :Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler.....	40
Çizelge 4.4 :Tavan yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler	40
Çizelge 4.5 : Pencere tipine göre ısı geçirgenlik katsayıları.....	40
Çizelge 4.6 : Pencere tipine göre fiyat bilgisi	41
Çizelge 4.7 :Kapı tiplerine göre ısı geçirgenlik katsayı ve fiyat bilgisi	41
Çizelge 4.8 : Güneş ışınımına maruz kalan pencere doğrultuları	43
Çizelge 4.9 : Aylık ortalama güneş ışınımı değerleri.....	44
Çizelge 4.10 : Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları	49
Çizelge 4.11 : Toprağa temas eden taban yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları	50
Çizelge 4.12 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları.....	50
Çizelge 4.13 :Tavan yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatı	50
Çizelge 4.14 : Örnek hesaplamalar için yapı bileşenlerinin toplam maliyeti	51
Çizelge 4.15 :Vaka çalışmasında ele alınan potansiyel çözüm kümeleri.....	55
Çizelge 4.16 :Yakıt tipine göre ısıtma sistemi özellikleri	61
Çizelge 4.17 :Yalıtım sistemlerine göre ısıtma enerjisi ihtiyacı	61
Çizelge 4.18 :Yakıt tipine göre yıllık ve yapı ömrü boyunca oluşacak ısıtma giderleri	61
Çizelge 4.19 :Yakıt tipine göre yıllık ve yapı ömrü boyunca oluşacak bakım maliyetleri.....	62
Çizelge 4.20 :Yakıt ve bakım giderleri toplamı.....	62
Çizelge A.1 : Duvar yapı bileşeni iç sıva katmanı	77
Çizelge A.2 : Duvar yapı bileşeni duvar malzemesi katmanı.....	78
Çizelge A.3 : Duvar yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı.....	79
Çizelge A.4 : Duvar yapı bileşeni dış sıva katmanı	80

Çizelge A.5 :	Toprağa temas eden taban yapı bileşeni yer döşemesi katmanı.....	80
Çizelge A.6 :	Toprağa temas eden taban yapı bileşeni döşeme katmanı	81
Çizelge A.7 :	Toprağa temas eden taban yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı..	83
Çizelge A.8 :	Toprağa temas eden taban yapı bileşeni şap katmanı.....	83
Çizelge A.9 :	Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni yer döşemesi katmanı	84
Çizelge A.10 :	Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni döşeme katmanı....	84
Çizelge A.11 :	Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı.....	84
Çizelge A.12 :	Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni şap katmanı.....	85
Çizelge A.13 :	Tavan yapı bileşeni iç sıva katmanı.....	85
Çizelge A.14 :	Tavan yapı bileşeni döşeme katmanı.....	85
Çizelge A.15 :	Tavan yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı	85
Çizelge B.1 :	Genetik algoritma optimizasyon sonucu çözüm kümeleri	89

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : Türkiye'de enerji tüketimi dağılımı.....	15
Şekil 3.2 : Binalarda enerji tüketimi dağılımı	15
Şekil 3.3 : Ekstrüde polistren köpük (XPS)	17
Şekil 3.4 : Ekspande polistren köpük (EPS)	18
Şekil 3.5 : Cam yünü.....	19
Şekil 3.6 : Taş yünü	19
Şekil 3.7 : Gazbeton.....	20
Şekil 3.8 : Tuğla.....	21
Şekil 3.9 : Bims	21
Şekil 3.10 : Duvar yapı bileşeni kesiti	34
Şekil 3.11 : Taban yapı bileşeni kesiti	35
Şekil 3.12 : Tavan yapı bileşeni kesiti	35
Şekil 4.1 : Bina iskeletinin yan görünüşü	37
Şekil 4.2 : Garaj katı, zemin kat ve 1. kat planları	38
Şekil 4.3 : Genetik algoritma çözüm kümesi	55



BİNALARDA ISI KAYBI VE MALİYET OPTİMİZASYONU İLE UYGUN MALZEME SEÇİMİ

ÖZET

Günümüzde enerji verimliliğini arttırmak, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için stratejik öneme sahiptir. Enerji talebindeki artışın ekonomik ve çevresel etkileri, enerji verimliliği bilincinin artmasına neden olmaktadır. Dünyada üretilen enerjinin %35-40 seviyesinde binalarda tüketilmesi, binalarda enerji verimliliğinin ülkeler tarafından kurallar ve standartlar yardımıyla yasalaştırılmasına neden olmuştur.

Sürdürülebilir ekonominin en temel girdisi olarak sayılan enerjinin ülkemizdeki ithalat bağımlılık oranının %70-75 seviyelerinde olduğu belirtilmektedir. Enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi için enerjinin verimli kullanılması şarttır.

Ülkeler, binalarındaki enerji verimliliğini arttırabilmek için kurallar ve standartlar belirlemektedir. Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Tez çalışmasında bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin ısı kaybına etkileri üzerinde durulmuştur. Ülkemizde ısı kaybı hesaplamalarında "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" kullanılmaktadır. Tez çalışmasında bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerini oluşturan katmanların ısı iletkenlik hesap değerleri ve ısı kaybı miktarları TS 825 standardına göre hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında, binaların enerji verimliliğini arttırmak için bina dış kabuğundan iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla kaybedilen ısıнын minimuma indirilmesi ve bu aşamada bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin maliyet analizleri yapılarak örnek bir binanın yalıtım sistemi optimize edilmeye çalışılmıştır. Isı kaybı hesaplamalarında "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan örnek bina Trabzon'da bulunmaktadır. TS 825'de belirlenmiş derece gün bölgelerinden 2. gruba dahil olan Trabzon ili için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri ve aylık ortalama iç kazançlar ile güneş enerjisi kazançlarında kullanılacak katsayılar ve formüller TS 825'den alınmıştır. Yapı bileşenlerini oluşturan katmanlar için kullanılacak malzemelerin ve işçiliklerin maliyet bilgileri piyasa araştırmalarından elde edilmiştir.

Ülkemizde 2008 yılında yayınlanmış olan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre enerji kaynaklarının etkin kullanılabilmesi ve binalarda enerji verimliliğinin artırılması için usul ve esaslar belirlenmiştir. Zaman ilerledikçe binalarda enerji verimliliği konusu önemini arttıracaktır. Bu bağlamda binalarda oluşması muhtemel ısı kayıpları hesapları yapılarak, ısı kayıplarının minimuma indirildiği bina dış kabuk tasarımlarının aynı anda maliyetlerinde göz önünde bulundurularak belirlenmesi çözülmesi gereken optimizasyon problemleri halini alacaktır.

Tez çalışmasında üç katlı müstakil aile evi örnek bina olarak kullanılmıştır. Optimizasyon probleminde ısıtma sistemi amaç fonksiyonunda yer almamıştır fakat

ısı kaybı-maliyet analizlerinin ardından bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin katmanları belirlenirken bugünkü değer analizi yapılmış, gelecekte oluşması beklenen ısıtma ve bakım giderleri de dikkate alınmıştır. TS 825 bina dış kabuğunda ısı kaybı oluşacak yapı bileşenlerini duvar, taban, tavan, pencere ve kapı olarak belirtmiştir. Tez çalışmasında bu yapı bileşenleri oluşturan her katman için farklı ısı iletkenlik hesap değerine sahip malzemeler ve bu malzemelerin farklı kalınlıklardaki durumlarının maliyetleri belirlenmiş ve genetik algoritma yardımıyla optimizasyon problemi çözülmeye çalışılmıştır. Buna göre ilk olarak yüzbinlerce çözüm kümesi arasından elli adet ısı yalıtım sistemi belirlenmiş ve bunların içerisinde altı tanesi irdelenmiştir. Isı kaybının minimum ve maksimum olduğu durumlardaki yalıtım sistemleri ve ısı kaybı-maliyet dengesinin optimum sonucu yakın olduğu dört adet ısı yalıtım sistemi karşılaştırılmıştır. Isı kaybının önlenmesinde uygulanabilir malzeme ve kalınlık seçenekleri belirlenmeye çalışılmış, yapı bileşenlerini oluşturan katmanların her birinin ısı kaybındaki rolü değerlendirilmiştir.

Bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin tüm katmanlarının binalarda oluşan ısı kayıplarında etkili olduğu görülmüştür. Binaların yapı bileşenlerinin alanlarının miktarına göre ısı kaybında oynadıkları rol artmaktadır. Örnek binada ısı kaybında etkili olan yapı bileşeninin duvar olduğu tespit edilmiştir. Duvar yapı bileşeninin duvar malzemesinin 25cm kalınlığında gazbeton ve duvar üzerine uygulanacak yalıtım malzemesinin 10cm kalınlığında cam yünü seçildiği durum ısı kaybı-maliyet analizlerine göre en uygulanabilir ısı yalıtım sistemi olarak gözükmektedir. Bunun yanında taban ve tavan yapı bileşenlerinde de yalıtım malzemesi tercihleri ısı kaybı hesaplarında dikkate alınmalıdır. Pencere sistemleri belirlenirken mutlaka çift camlı olanlar tercih edilmelidir. Örnek çalışmada ısı kaybının minimum ve minimuma yakın olduğu durumlarda camlar arası boşluk 16mm olarak belirlenmiştir. Pencerelelerin tek camlı olduğu çözüm kümelerinin TS 825'in belirlemiş olduğu ısıtma enerjisi sınır değerlerini sağlayamadığı tespit edilmiştir. Bina konumunun, pencere alanlarının ısı kaybı hesaplarında belirleyici rol oynadıkları görülmüştür. Güneş ışınlamalarından elde edilen ısı kazançlarını pencere doğrultuları belirlemektedir. Isı kaybını azaltmak için tüm katmanlarda maliyetlerinde göz önünde bulundurularak ısı iletkenlik değeri düşük olan malzemelerin seçilmesi binalarda enerji verimliliğini arttırmak ve ısı kayıplarını azaltmak için gereklidir. Binaların ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını azaltabilmek ise işletim giderlerine doğrudan etkimektedir ve sürdürülebilir enerji politikalarının ana başlıklarından biri sayılmalıdır.

SELECTION OF MATERIALS CONTAINING THERMAL LOSS AND COST OPTIMIZATION

SUMMARY

Increasing energy efficiency nowadays has strategic priorities for developed and developing countries. The economic and environmental impacts of the increase in energy demand are leading to an increase in energy efficiency awareness. The consumption of energy produced in the world at 35-40% of the level caused the energy efficiency of the buildings to be enacted by the countries with the help of rules and standards.

The energy source, which is considered as the most basic entry of the sustainable economy, has an import dependency rate of 70-75% in Turkey. Efficient use of energy is essential to ensure energy supply safety.

Countries set rules and standards to improve energy efficiency in their buildings. A large portion of the energy consumed in the buildings meets the need for heating energy. In the thesis study, the heat loss effects of the building components forming the outer shell are emphasized. "TS 825 Thermal Insulation Rules in Buildings" is used in heat loss calculations in Turkey. In the thesis study, thermal conductivity calculation values and heat loss amounts of the layers constituting the building components constituting the outer shell were calculated according to TS 825 standard.

In the thesis study, in order to increase the energy efficiency of the buildings, it has been tried to optimize the insulation system of a sample building by reducing the heat lost from conveyance, conveyance and ventilation from the building exterior to the minimum and at this stage cost analysis of the building components constituting the building outer shell. "TS 825 Thermal Insulation Rules in Buildings" is used in heat loss calculations. The sample building used for the thesis work is located in Trabzon. For the Trabzon province, which is included in the 2nd group from the degree days determined in TS 825, the monthly average external temperature values and the monthly average internal gains and the coefficients and formulas to be used in solar energy gains are taken from TS 825. The cost information of the materials and workmanship used for the layers constituting the building components was obtained from market researches.

According to the Energy Performance Regulation in Buildings published in 2008 in Turkey, principles and procedures have been determined for the efficient use of energy resources and for increasing the energy efficiency in the buildings. As time progresses, the energy efficiency issue will increase in importance. In this context, possible heat loss calculations are made in the buildings and the optimization problems that need to be solved by taking into account the costs of the building shell designs to which heat losses are minimized will be encountered.

Three storey detached family house was used as a sample building in EZ study. In the optimization problem, the heating system was not included in the objective function, but after the heat loss-cost analyzes, the building components constituting the building outer shell were determined by present value analysis and the heating and maintenance costs expected in the future were taken into consideration. TS 825 stated the building components to be heat loss in the outer shell of the building as wall, floor, ceiling, window and door. In the thesis study, materials with different thermal conductivity calculation values for each layer constituting these structural components and the costs of different thickness conditions of these materials were determined and tried to solve the optimization problem with the help of genetic algorithm. According to this, firstly fifty thermal insulation systems were determined among hundreds of thousands of solution clusters and six of them were examined. Insulation systems where the heat loss is minimum and maximum and four heat insulation systems where the heat loss-cost balance is close to the optimum result are compared. In order to prevent the loss of heat, applicable materials and thickness options were tried to be determined and the role of heat loss in each of the layers constituting the building components was evaluated.

It has been observed that all the layers of the building components that make up the outer shell of the building are effective in the heat loss of buildings. The building components of buildings have a growing role in heat loss according to the amount of space. It has been determined that the building component which is most effective in the heat loss of the example building is the wall. It is the most applicable thermal insulation system according to the heat loss-cost analysis of the wall material of the wall component and the glass wool of the insulation material to be applied on the wall at a thickness of 25cm and the thickness of 10cm of the insulation material is selected. However, in the base and ceiling construction components, the insulation material preferences should also be taken into account in the heat loss calculations. When window systems are selected, those with double glazing should definitely be preferred. In case the heat loss is close to the minimum and minimum in the case study, the gap between the glasses is determined as 16mm. It was determined that the solution clusters where the windows were single glazed were not able to meet the heating energy limit values specified by TS 825. The building location has been found to play a decisive role in the heat loss calculations of window areas. Window orientations determine the heat gains from sunlight. Selection of materials with low thermal conductivity values, considering their cost in all layers to reduce heat loss, is necessary to increase energy efficiency and reduce heat losses in buildings. Reducing buildings' heating energy needs has a direct impact on operating costs and should be considered one of the main topics of sustainable energy policies.

1. GİRİŞ

Binalar, enerji tüketiminde ve enerji üretiminden dolayı oluşan sera gazlarının azaltılmasında kilit rol üstlenmişlerdir. Gelişmiş ülkeler binalarda enerji verimliliğinin artırılmasını sürdürülebilir ekonomi ve çevrenin korunması için stratejik bir konu olarak görmektedirler. Ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı ısıtma enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Isıtma enerjisini azaltmanın yollarından en önemlisi ise binalarda ısı kaybının önüne geçilmesidir (Aytaç ve Aksoy, 2006). Ülkemizdeki binaların ısıtma enerjisinin azaltılması konusunda yeterli değerlendirmeler son zamanlarda yapılmaya başlanmış ve enerji verimliliği konusundaki potansiyel keşfedilmiştir. Milli Enerji ve Maden Politikası'nın stratejik planları arasında enerji verimliliği ve tasarrufu önemli temalardan birini oluşturmaktadır. "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanmış ve ülkemizdeki binalar için maksimum ısıtma enerjisi değerlerinin sınır değerlerini belirtmiştir. Çalışmamızda 2013 yılında yayınlanmış en son baskı "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları"ndan yararlanılmıştır. 2008 yılında yayınlanmış olan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği binaların enerji performanslarının değerlendirilmesini, yeterli performans sınıfını yakalayamayan binalar için uygulanacak yaptırımları ve 1000 m² ve üzeri binalar için enerji kimlik belgesi alınmasını kanunlaştırmıştır. Binaların enerji performanslarını arttırmak küresel ısınmayı ve enerji israfını azaltmanın en ekonomik yöntemlerinden biridir. Ekonomik açıdan, en etkili çevresel çözümlerin bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin gerekliliklerinin yerine getirilerek elde edileceğinin garantisi verilemez. Enerji verimliliği analizleri mutlaka enerji kaynaklarının etkili kullanımı ve enerji verimliliğini sağlayan tüm etkenlerle birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek enerji verimliliğine sahip binaların aynı zamanda ekonomik açıdanda makul ve uygulanabilir olması gerekmektedir. Enerji tüketimini minimuma indirirken yatırım maliyetlerinde asgari düzeyde tutulması hedeflenmelidir (Hamdy ve ark., 2012). Uygun maliyetli minimum enerji performansı gerekliliklerinin ortaya çıkarılması gerçekten zorlu bir süreçtir. Bu görev oldukça fazla dizayn çözümlerinin ve enerji sağlayıcı sistemlerin kombinasyonlarının

üzerinde aynı anda çalışılarak başarılabılır. Günümüzde inşaat sektöründe kullanılan simülasyonların sayısı hızla artmaktadır. Binaların işletme aşamasındaki enerji tüketimleri öyle gözükmektedir ki önümüzdeki günlerde üzerinde dikkatle durulması gereken konuların başında gelecektir.

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Enerji üretimi için gerekli hammadde yönünden zengin olmayan ülkemiz için enerji talebini azaltmak stratejik bir konudur. Enerjiden elde edilen tasarruf, ülke ekonomisinin dışa bağımlılığından dolayı meydana gelen olumsuz etkilerin ve cari açığın azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Ekonomik faydalarının yanında binalarda ısı kaybını azaltmanın çevre kirliliği probleminde önemli yararları olacaktır. Binaların ısıtılması ve soğutulması için gereken enerjinin azaltılması, bu enerjinin üretilmesi aşamasında oluşan sera gazlarının azalmasını sağlayacağı için küresel ısınma probleminin önlenmesine doğrudan katkı sağlayacaktır.

Bina dış kabuğu yapı bileşenlerinden meydana gelmektedir. Yapı bileşenlerini oluşturan katmanların sayısı ise oldukça fazladır. Bina dış kabuğunu oluştururken kullanılabilecek malzemelerin sayısı ve kalınlığı, bunların birbirleriyle kullanılarak oluşturacakları çözüm kümelerinin fazlalığı, ısı kaybını azaltırken aynı anda maliyetlerin de azaltılması gerekliliği çalışmamıza konu olan optimizasyon probleminin genetik algoritma yardımıyla çözülmesini zorunlu kılmaktadır. Genetik algoritma kullanılarak bina dış kabuğunu oluşturan katmanların arasından yapılacak seçimlerde ısı kaybının ve ilk yatırım maliyetinin aynı anda minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında optimum çözümler arasından ısı kaybının minimum fakat maliyetlerin yüksek olduğu bir adet, ısı kaybının maksimum fakat maliyetlerin minimum olduğu bir adet ve ısı kaybı ile maliyetlerin optimum olduğu dört adet seçenek irdelenerek kullanıcının seçimine sunulmuştur. Tez çalışmasında Trabzon'da bulunan 3 katlı müstakil bir ev için TS 825'deki ısı yalıtım kurallarına uyularak bina dış kabuğunu meydana getiren yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik dirençleri hesaplanmış ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken yapı bileşenlerini oluşturan her katman için farklı malzeme ve kalınlık bilgileri verilmiş, boyutlarına bağlı olarak her malzeme için fiyat bilgisi piyasadan araştırılarak paylaşılmıştır. Bütün veriler ışığında ısı kaybını ve ilk yatırım maliyetini

minimumu indiren en optimum ısı yalıtım sistemleri genetik algoritma yardımıyla bulunarak karar vericinin tercihinin bırakılmıştır. Binanın, ısı kaybının önlenmesinin ısıtma enerjisi maliyetlerine olan etkisinin görülmesi amacıyla üç farklı tipte yakıt kullanan ısıtma sistemine göre ısıtılması için gereken enerjinin yıllık maliyeti hesaplanmıştır. Böylelikle ısı kaybını önlemek için yapılan harcamaların yıllık ısıtma enerjisi maliyetlerine etkileri dikkate sunulmuştur.

Çalışmamız bu bağlamda enerji verimliliğini arttırmaya yönelik yalıtıma etki eden çok çeşitli malzemeler ve kullanılan malzemelere ait kalınlık bilgileri ve fiyatları, üzerinde çalışma yapılacak binanın ısıtılması için farklı tipte yakıt türlerini kullanan enerji sağlayıcılar ile bunlara ait ilk yatırım ve işletme giderlerinin olduğu veri havuzundan ısı kaybını minimuma indiren çözümleri bulurken aynı zamanda maliyetlerinde minimuma indirilebilmesi için optimizasyon yapmaktadır.

Günümüzde Türkiye Cumhuriyeti Devleti tarafından yasalaştırılan Binalarda Enerji Kimlik Belgesi uygulaması 2020 yılından itibaren uygulanmaya başlayacaktır. Buna göre enerji verimliliği kriterlerine uymayan ve enerji kimlik belgesi geçer not alamayan binalar ile ilgili bina sahiplerini zor duruma sokabilecek birtakım yaptırımlar uygulanacaktır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE YEŞİL BİNALAR

Günümüzde en büyük enerji tüketicileri olarak binaları göstermemiz mümkündür. Dünya nüfusunun yarısından fazlasına ve önemli ekonomik aktivitelerin tamamına yakınına şehirler ve şehirlerdeki binalar ev sahipliği yapmaktadır. Enerji tüketimindeki büyük paydaşlardan olması binaların çevreye olan olumsuz etkilerini de arttırmaktadır. İklim değişikliği, çevre kirliliği ve dünya enerji tüketiminin yaklaşık %70'inden nüfusun yoğun olduğu şehirler ve bu şehirlerdeki binalar sorumludur (Costello ve ark., 2009). Binalarda kullanılan enerji, su ve malzemenin verimli kullanılması, binanın inşa ve tasarım aşamasında çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi binayı sürdürülebilir (yeşil) bina kategorisine sokmaktadır (Çelik E., 2009).

Gelişmiş ülkeler yeşil bina tasarım ve uygulamalarını ve sürdürülebilir inşaat sektörünü teşvik edici politikalar izlemektedirler. Ülkemizde binaların büyük kısmı 20 yıl ve üzeri yaştadır ve çoğunun enerji verimliliği oldukça düşüktür. Bu istatistik aynı zamanda ülkemizdeki binaların enerji tasarruf potansiyeline sahip olduklarını da göstermektedir. Yeşil binalar ile ilgili yapılan çalışmalar her geçen gün sayılarını arttırmaktadır. 1997 yılında Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanan ve üye ülkeler tarafından imzalanan Kyoto Protokolü ve 2002 yılında düzenlenmiş olan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi sürdürülebilirlik kavramının ülkeler tarafından benimsenmesine önemli katkılar sağlamış ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili atılan adımların ve yapılan çalışmaların temelini oluşturmuştur (Öztürk, 2014).

Binaların sürdürülebilir ve yeşil bina kategorisinde değerlendirilebilmesi için aktif dizayn ve pasif dizayn olmak üzere iki yaklaşım vardır. Pasif dizayn, bina içi konforun sağlanabilmesi için gereken havalandırma ihtiyacının doğal havalandırma ile çözülmesi ve ısıtma için daha az enerji harcayarak güneş ışınlarından maksimum verimin alınmasıdır. Aktif dizayn ise güneş enerjisi panelleri gibi en gelişmiş teknolojilerin kullanılarak enerji veriminin artırılması, enerji ihtiyacının ve kaynak kullanımının azaltılmasıdır (Rode ve ark., 2011). Tez çalışmasında yapılan bina ısı kaybı analizleri aktif dizayn parametrelerini kullanmadan pasif dizayn kazanımlarını hesaba katmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma, kalkınma esnasında bugünün ihtiyaçları karşılanırken gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmelerine engel olmamak olarak tanımlanmıştır (Strand ve Fossdal, 2003). Sürdürülebilirliğin birincil amacı insanlığın çevresel ve ekolojik etkisini azaltmak, gereksiz enerji kullanımını engellemektir.

Son yıllarda ülkeler sürdürülebilir kalkınmanın üzerinde durarak inşaat sektörünün sürdürülebilirliğini sorgulamaya başlamışlardır. Bu tartışmalar yeşil bina tanımının çok daha sık duyulmasına ve yeşil bina uygulamalarının artmasına neden olmuştur. Yeşil binalar, konvansiyonel binalar ile aynı kalite standardını ve performansını sağlarken çevreye olan olumsuz etkileri daha az olan binalardır (Griffin, 2005). Yeşil binalar özellikle daha düşük işletim giderlerine sahip oldukları için konvansiyonel binalara göre ortalama %30 daha az enerji kullanmaktadırlar (Economist, 2004). Binaların sürdürülebilir olabilmeleri için alınan tedbirler ve yapılan uygulamalar yaşam döngüsü yaklaşımlarına dayanmaktadır. İnşaat sektöründe yaşam döngüsü kavramı 2003 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programında tanımlanmıştır. Bu tanıma göre projelendirme, imalat, işletme süresi ve binanın kullanım ömrünü tamamlayarak yıkılması aşamasının da göz önünde bulundurulması ve tüm bu süreçlerdeki paydaşların aynı kavram içerisinde rol almasıdır (İklim Değişikliği Konferansı, 2003). Tez çalışması, konsept aşamasında yalıtım malzemelerinin seçimi ve seçilen malzemelerin kullanım süresince sağlayacağı tasarruf ve enerji verimliliği üzerinde durmuştur.

Tüm dünyada toplam enerji tüketiminin içinde binaların ısıtılması, soğutulması, havalandırılması, aydınlatılması ve sıcak su ihtiyacı için kullanılan enerjinin %30 olduğu tahmin edilmektedir. Sürdürülebilir binaların sağladığı en önemli yararlardan biri enerji tüketiminin azaltmalarıdır. Tez çalışmasında sürdürülebilir bina için yaşam döngüsü yaklaşımının işletme evresi üzerinde durulmuştur.

Sürdürülebilir binalar tasarlamak için dizayn aşamasında birçok yalıtım malzemesi ve kalınlıklarını dikkate almak önemli bir husustur. Dizayn aşamasında tercih edilen yapı malzemelerinin bina enerji performansında ve binanın enerji tüketimine dikkate alınması gereken etkileri olacaktır.

2.1 Sürdürülebilirlik ve Binalarda Enerji Verimliliği

Binalarda sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği özetle ısıtma ve soğutma giderleri için fosil yakıt tüketimini minimuma indirmek veya sona erdirmektir. Dünya genelinde binalar toplam enerjinin %30-40'ının tüketiminden sorumludur (UNEP, 2007). Dünyada ve ülkemizde binalarda enerji verimliliğini ve sürdürülebilir binaları teşvik edici resmi ve gönüllü kuruluşlar mevcuttur. Binalarda enerji verimliliğinin artırılması, zaman ilerledikçe bina sektörünün tüm paydaşları tarafından daha faydalı ve uygulanabilir görülmektedir. Binalarda enerji verimliliğinin artırılması çevre kirliliğini ve sera gazı salınımını minimuma indirmesinin yanında binaların işletme giderlerini azaltması ve binalardaki yaşam standartlarını arttırması nedeniyle yatırımcılar tarafından da benimsenmesini sağlamıştır. Binaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için binaların enerji verimliliğini arttırmak gerekir. 1970'li yıllardan önce yayınlanmış olan binalarda enerji verimliliği ile ilgili gereklilikler ve kurallar İskandinav Ülkeleri tarafından soğuk geçen kış mevsimlerinin toplum sağlığına olan olumsuz etkilerinin minimuma indirilmesini amaçlamıştı. 1973 yılında OPEC tarafından uygulanan petrol ambargosu ile enerji fiyatlarının artması ülkeler tarafından enerji verimliliği konusunun önem kazanmasına sebep oldu. Bu tarihten sonra gelişmiş ülkeler enerji üretiminden kaynaklanan petrol bağımlılığını azaltmak ve enerji verimliliğini arttırmak için enerji yönetmelikleri meydana getirdiler. Günümüzde OECD ülkelerinin neredeyse tamamında enerji verimliliğini arttırıcı ve sera gazı salınımını azaltıcı standartlara ulaşmak mümkündür.

Binalarda enerji verimliliğini arttırmak için Birleşik Devletler Yeşil Bina Konseyi tarafından "LEED" sertifika programı geliştirilmiştir. Avustralya ise "Green Star rating system" olarak adlandırılan binalar için puanlama sistemini uygulamaya koymuştur. Çin Halk Cumhuriyeti'nde yeşil bina değerlendirme sistemi uygulanmaktadır. Avrupa Birliği ise Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) uygulamalarını ortaya koyarak enerji verimliliğini maksimize etmeye çalışmaktadır. Ülkelerin sürdürülebilir (yeşil) binaların yapımını teşvik etmelerinin ve mevcut binalarını yeşil binalara dönüştürmeyi hedeflemelerinin en önemli sebeplerinden biri enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktır.

Binalarda enerji verimliliğini arttırmak ve enerji kullanımını azaltmak için alınacak önlemler iki sistem altında incelenmelidir. Bunlardan birincisi binanın iç ortamıyla dış ortamını ayıran yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik değerlerini azaltmak için yapılması gerekenlerdir. Bina dış cephesinde yalıtım malzemelerine yer vermek, ısı kaybını önlemek için gelişmiş pencere sistemleri kullanmak, ısı yalıtım sisteminin tasarımında ulusal standartlarda belirtilen kurallara uymak ve binanın doğal enerji unsurlarından maksimum düzeyde faydalanmasını sağlamak birinci sistemin gereklilikleridir. Binalarda enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan ikinci sistem ise bina içerisinde enerji tüketen uygulamaların ve aletlerin incelenerek verimliliklerinin artırılmasıdır (Fan ve Xia, 2018). Enerji verimliliği yüksek olmayan binaların sürdürülebilir (yeşil) binalar kategorisine girebilmesi mümkün gözükmemektedir.

2.2 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Uluslararası Enerji Verimliliği Kanunları

Ülkemizde enerji verimliliği konusunda bilinçli bir toplumun varlığından söz etmek mümkün gözükmemektedir. Türkiye'de enerji talebini azaltmak, enerjinin etkin kullanılması ve enerji kullanımında verimliliğin artırılması için 2007 yılında 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılmıştır. 2008 yılında ise Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği çıkarılmıştır. Bu yönetmelik kapsamında enerjinin binalarda verimli kullanılabilmesi, enerji kullanımından dolayı açığa çıkan sera gazının minimuma indirilmesi için yalıtım özellikleri ile ilgili bilgileri de içeren Binalarda Enerji Kimlik Belgesi düzenlenmiştir. Bu belgeye göre yetkilendirilmiş kuruluşların ilgili projelerin ve uygulamaların yönetmeliklere uygun olup olmadığını denetlemeleri sağlanmaktadır. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği enerji kimlik belgesinin hesaplama metodlarını belirlemiştir. Bunun yanında, bu yönetmelik ile birlikte ülkemiz genelindeki bina envanterinin oluşturulması, toplumda enerji verimliliği hassasiyetinin artırılması da amaçlanmıştır. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği binaların enerji performanslarını mimari, mekanik ve elektrik projelerinde göz önünde bulundurulduğu enerji tasarrufunun konu olduğu tüm elemanları dikkate almaktadır. Yönetmelik kapsamında bina ısı yalıtım esaslarının belirlenmesinde TS 825 standardında belirlenmiş olan değerler kullanılmaktadır. TS 825, binaların ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının sınırlanmasını sağlamaktadır ve ısıtma

enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında uyulması gereken kuralları belirlemiştir. Binaların net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının hesaplanmasında kullanılacak hesap metodu TS 825'de belirtilmektedir. TS 825 ilk olarak 1998 tarihinde yayınlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan TS 825 Standardı ise 2013 tarihinde güncellenmiş son versiyonudur.

Dünyada enerji verimliliği konusu üzerindeki çalışmalar ülkemizdekilerden daha kapsamlı ve gelişmiş programlara sahiptir. Bina enerji verimliliğini arttırmak için gönüllü ve zorunlu birtakım uluslararası programlar mevcuttur. Devletler tarafından yasalaştırılmış kanunlar genellikle minimum enerji kriterlerini baz almaktadırlar. Kanunların yanında gönüllük esaslı uygulamalar da binalarda enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleştirilebilmesini desteklemektedir. Enerji verimliliği gereklilikleri ülkelerin inşaat sektörleri için yayınlamış oldukları ulusal standartların içinde yer alabileceği gibi yalnızca enerji verimliliği ile ilgili standartlar içerisinde de bulunabilirler.

Amerika Birleşik Devletleri'nin ekonomisi 1970 yılından günümüze yaklaşık üç kat büyümesine karşılık enerji ihtiyacı yalnızca %50 oranında artmıştır (Laitner ve ark., 2012). 1973 yılında gerçekleşen petrol krizi Amerika'nın enerji verimliliği kazanımlarının artmasına sebep olmuştur. Kriz ile birlikte enerji arzı savunmasızlığının farkına varan karar vericiler enerji verimliliğini artırmanın yollarını aramaya başlamışlardır. Bu bağlamda enerji verimliliği yönetmelikleriyle ilgili ilk uygulama Amerika Birleşik Devletleri tarafından 1975 yılında Enerji Politikası ve Koruma Yasasının (EPCA) imzlanmasıyla gerçekleşmiştir. Yönetmeliğin birincil amacı enerji talebini azaltarak enerji üretimi için kullanılan ithal petrol ürünlerinin azaltılmasıdır. Bu yasa ile birlikte Federal Enerji İdaresi'ne (FEA) enerji tasarrufu acil durum planları geliştirmesi ve ev aletleri için enerji verimlilik standartları oluşturması için izin verilmiştir (Anders, 1980). 1992 yılında Enerji Politikası ve Koruma Yasası (EPCA) geliştirilerek binalarda enerji prensipleri, ekipman verimliliği ve elektrik ve enerji verimliliği için arge çalışmalarının yapılması ile ilgili standartlar oluşturulmuştur. Bu uygulamaların yürürlüğe girmesi ile Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tüm eyaletlerin 1994 yılına kadar Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) tarafından 1989 yılında yayınlanmış standarttaki yükümlülükleri yerine getirmeleri zorunlu kılınmıştır. 1994 yılında kabul edilen yasa ile birlikte 1995-2010 yılları arasında

inşaa edilecek olan ticari binaların en az yarısının enerji tüketiminin %20 azaltılacağı tahmin edilmiştir. Belirtilen hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmemesinin yanında Amerika Birleşik Devletlerinin uygulamış olduğu bu yasalar ve standartlar diğer ülkeler tarafından benimsenen ve geliştirilen enerji performans yönetmeliklerinin temelini oluşturmuştur (EPCA, 1992). Enerji performansı üzerinde önemle duran bir diğer ülke olan İngiltere 1985 yılında binalarda enerji verimliliği standardını yayınlamıştır (BS 8207, 1985). 1995 yılında ise binalarda enerji verimliliği dönüşümü standardını yayınlamıştır (BS 8211, 1995). Sözleşmeli Bina Hizmeti Mühendisleri Enstitüsü'nün (CIBSE) yayınlamış olduğu teknik dökümanlar doğal havalandırılmalı evlerden ısıtılan ve soğutulan gökdelenlere kadar ve tasarım aşamasından, işletme ve yenileme periyodlarına kadar inşaat sektöründeki tüm paydaşları ve inşaat sektörünün her aşamasında enerji verimliliği kurallarını içeren ve içerik bakımından oldukça zengin kaynaklardır. Binalarda enerji verimliliği ile ilgili yayınlanmış olan İngiliz Standartları teknolojinin gelişimine uygun şekilde revize edilerek endüstrinin ihtiyaç duyduğu teknik desteği sağlamaya devam etmektedir. Kanada binalar için Ulusal Model Enerji Yasası'nı 1999 yılında gündemine almıştır. Bu yasa ile soğutma, aydınlatma, ısıtma için enerji tüketim hedefleri belirlenmiştir (NCR, 1999). Kanada'da aynı yıl yayınlanan ikinci enerji yasası maksimum üç kata sahip binalar için enerji performans kriterlerini belirlemiştir. Hong Kong'daki elektrik ve mekanik servis departmanı altında çalışan enerji verimliliği ofisi 1994 yılında Hong Kong'u enerji verimliliği konusunda en üst sıralara taşımak için uyulması gereken enerji verimliliği kurallarını yayınlamıştır. 1995 yılında binaların toplam termal transfer değeri (OTTV) başlıklı kanunun yürürlüğe girmesi ile birlikte binaların termal ısı transferlerinin kontrol altına alınması amaçlanmıştır. 1998 yılında Hong Kong'daki elektrik ve mekanik servis departmanı aydınlanma, klima sistemleri ve elektrikli aletler için enerji verimliliği kanununu çıkarmıştır. Aynı servis departmanı 2000 yılında asansörler ve yürüyen merdivenler için uyulması gereken enerji verimliliği kanunlarını yürürlüğe koyarak enerji verimliliği konusuna Hong Kong'un verdiği önemi ortaya koymuştur. Çin Halk Cumhuriyeti ise enerji verimliliği konusunda birçok yasaya ve uygulamaya sahiptir. Günümüzde iki ana bina enerji yasası uygulanmaktadır. "GB" binalar için enerji yasalarını içeren ve Devlet Teknoloji ve Denetim Bürosu (State Technology Supervision Bureau) tarafından yayınlanan standartlardır. "JGJ" Standartları ise endüstriyel standartları temsil eder ve Çin Yapı Araştırma Akademisi (China

Academy of Building Research) tarafından yayınlanmaktadır. Her iki standartta Çin Halk Cumhuriyeti İnşaat Bakanlığı tarafından denetlenmektedir. 2001 yılında Çin Yapı Araştırma Akademisi 2010 yılına kadar %50 enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemiştir. Enerji tasarrufunun %20'sinin ısı yalıtımından, %30'unun ise daha iyi bina sistemlerinden ve yönetiminden elde edilmesi amaçlanmıştır.

Avrupa Birliği'nde enerji verimliliği konusu birçok başlık altında incelenmektedir. 1980'li yılların ilk dönemlerinde enerji etiketleme sistemlerinin geliştirilmesiyle ürünlerin enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. 1990'lı yıllarda ise küresel ısınma ve iklim değişikliği konularının Avrupa Birliği gündemine gelmesi fosil yakıt tüketiminin azaltılması için tedbirler alınmasını gerektirmiştir. Avrupa Birliği'ndeki binalar enerji tüketiminin %40'ından sorumludur. Bu sebeple 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) yayınlanmıştır. Bu direktif üye ülkeler için bina enerji performanslarının hesaplanmasında yöntem ve metodolojileri belirlemiştir. Aynı zamanda binaların uyması gereken minimum enerji performans kriterleri belirtilmiştir. Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD), 2020 yılında ülkemizde uygulamaya geçmesi planlanan enerji kimlik belgesine (EKB) benzer bir sertifikasyon sistemine sahiptir. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerdeki binaların tümünün bu sertifikaya sahip olması gerekmektedir. 2009 yılında Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) kavramı ortaya çıkmış, binalarda enerji verimliliğinin çok yüksek seviyelere çıkarmak hedeflenmiştir. Avrupa Birliği, enerji verimliliği konusunda sürekli kendini geliştirmeye çalışmakta ve bu çerçevede hedefler belirlemektedir. 2014 yılında enerji verimliliği konusunda, 2020 yılına kadar enerji verimliliğini %20 arttırmayı ve 2030 yılında enerji verimliliğini %27'ye çıkarmayı hedeflemiştir (Helm, 2014).

2.3 Binalarda Enerji Verimliliğini Arttırmak

Binalarda enerji verimliliğini arttırmak için birçok metod bulunmaktadır. Teknoloji ilerledikçe enerji verimliliği önem kazanmakta, enerji verimliliğini arttırmak için alınması gereken tedbirlerin sayısı artmaktadır. Tez çalışmamızda da konu edindiğimiz bina kabuğunun ısı yalıtım direncini arttırarak enerji verimliliğini arttırmak enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan metodlardan birincisidir. Bina kabuğunu oluşturan yalıtım malzemelerinin kalitesi ve kalınlıkları, ısı yalıtım direnci yüksek kapı ve pencerelerin kullanımı bu metod içerisindeki değişkenlerdir. Uygun maliyet/ısı kaybı analizi yapılarak mevzu bahis yapı için optimum bina kabuğu

bileşenleri seçilir. Binalarda enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan ikinci yöntem binanın ısıtma yükünün ve bioklimatik mimari tasarımlarla binanın doğal havalandırmadan faydalanmasını sağlayarak da soğutma yükünün hafifletilmesidir. Bunun için proje aşamasında binanın doğal ısıtma ve soğutmadan faydalanması hedeflenmelidir. Binanın pasif güneş enerjisinden elde ettiği faydaları maksimuma çıkararak binanın ısıtma ve soğutma yükleri hafifletilebilmektedir. Binalarda enerji verimliliğini arttırıcı üçüncü yöntem akıllı enerji yönetim sistemlerinin kullanılmasıdır. Sensörler ve enerji kontrol edici sistemler bu yöntem için kullanılmaktadır. Isıtılmaması veya soğutulmaması gereken hacimler için enerji israfı engellenerek enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Dördüncü yöntem yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılmasıdır. Fotovoltaik sistemler kullanılarak binanın ve binada kullanılacak suyun ısıtılması, bina için gerekli olan elektrik enerjisinin üretilmesi bu metodun bileşenlerindendir. Burad kullanılacak enerji üretici sistemin seçimi oldukça önemli bir karardır. Ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu konutlarda üretilen elektriğin sisteme satılabilmesini mümkün kılan düzenlemeyi yürürlüğe koymuş ve binalarda elektrik üretilmesini teşvik edici uygulamalar gerçekleştirmektedir. Binalarda ısı koruyucu mekanik havalandırma sisteminin kullanılması enerji verimliliğini arttırıcı yöntemlerden bir diğeridir. Bu yöntem altında ısı sağlayıcı kazanların verimini arttırmak ve ısıtma sistemi altyapısının izolasyonunun yapılması da incelenmelidir. Enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan son metod enerji verimliliği yüksek ev aletlerinin ve aydınlatma elamanlarının kullanılmasıdır. Bu şekilde günlük hayatta kullanılan elektrikli ev aletleri enerji verimli olanlar arasından seçilerek enerji tüketimi minimuma indirilebilecektir.

Yapılan literatür araştırmalarında binalarda enerji verimliliğinin sınıflandırıldığı görülmüştür. Performans verimliliği, operasyon verimliliği, donanım verimliliği ve teknoloji verimliliği bu sınıfları oluşturmaktadır (Fan ve Xia, 2018). Teknoloji verimliliği, enerjinin dönüşümü, iletimi, işlenmesi ve kullanımı verimidir. Teknoloji verimliliğın değerlendirilmesi yaşam döngüsü maliyetleri göz önünde bulundurularak ekonomik açıdan değerlendirme ile yapılmaktadır. Donanım verimliliği, bina içerisinde kullanılan donanımların enerji tüketim verimlilikleridir. Donanımların verimlilik göstergeleri ise ilgili standard ve normlara uyumlulukları, kullanım ömürleri, bakım maliyetleri gibi özelliklerinden oluşmaktadır. Donanım verimliliği ile teknoloji

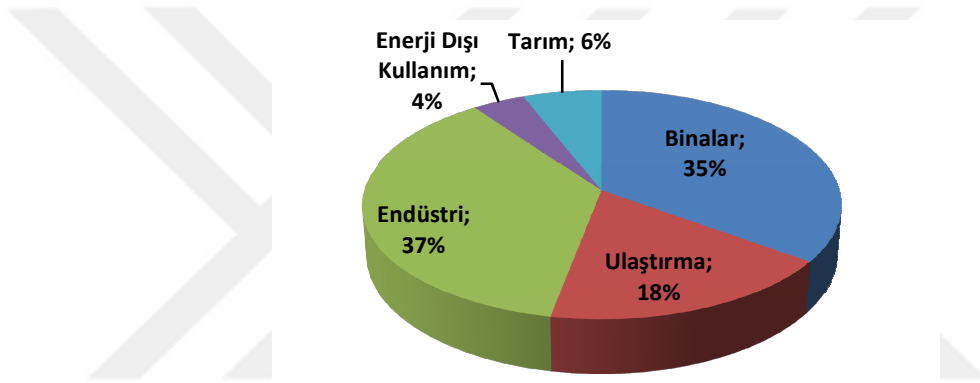
verimliliği arasındaki farkı göstermesi açısından flüoresan ampül örneği verilebilir. Daha verimli flüoresan ampüllerinin geliştirilmesi teknoloji verimliliğinin konusudur. Enkandesan ampüllerin flüoresan veya led ampüllerle değiştirilmesi ise donanım verimliliğinin artırılmasıdır. Operasyon verimliliği farklı sistem bileşenlerinin birbirleriyle uyum içinde çalışmalarını kapsamaktadır. Enerji tüketen sistemlerin boyutlandırılması, çalışma zamanı kontrollerinin yapılması operasyon verimliliğinin bileşenlerindendir. Performans verimliliği ise üretim maliyeti, enerji tüketim miktarı, çevresel etkiler ve teknik göstergelerden oluşmaktadır. Performans verimliliği içerisindeki bileşenlerin birbiriyle çeliştiği durumlar olabilir (Xia ve Zhang, 2010). Sürdürülebilir binalar için performans bileşenlerinin birbirleriyle çelişmemesi ve teknik birtakım gelişmelerin sosyo-ekonomik sonuçlarının da olumlu olması gerekmektedir.

Çeşitli yöntemler ve metodlarla binalarda enerji verimliliği artırılarak bireylerin enerji verimliliği yüksek binalarda yaşamaları sağlanabilir. Enerji verimliliğinin artırılmasının ülke ekonomisine, ulusal ve uluslararası çevre sağlığına önemli faydaları olacaktır.



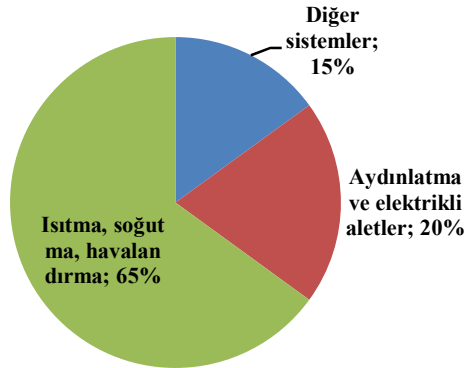
3. BİNALARDA ISI YALITIMI

Türkiye gibi yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki enerji kaynakları kısıtlı ülkelerin enerji talebini azaltmak için binalarda ısı yalıtımı ile ilgili standartların uygulanması kaçınılmazdır. Ülkemizde enerji tüketiminin %35'inden binalar sorumludur. Şekil 3.1 ülkemizdeki enerji tüketimi dağılımını göstermektedir.



Şekil 3.1 : Türkiye'de enerji tüketimi dağılımı (ETKB, 2010).

Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma, soğutma ve havalandırma için kullanılmaktadır. Şekil 3.2 binalarda tüketilen enerjinin dağılımını göstermektedir.



Şekil 3.2 : Binalarda enerji tüketimi dağılımı (ETKB, 2010).

Binalarda ısı yalıtımı, bina içerisindeki termal konforun sağlanarak dış ortam ve iç ortam arasındaki ısı alışverişini minimum seviyeye indirilmesidir. Isı yalıtımı, aynı zamanda binaların işletme maliyetlerini azaltmak için de uygulanmaktadır. Isı yalıtımının amacı, enerji maliyetlerini azaltmak ve bina dış kabuğunu oluşturan malzemelerin yoğuşmanın oluşturacağı olumsuz etkileri en aza indirmesini sağlayarak binanın işletme maliyetlerinin azaltılmasıdır. Nihai etkisi ise enerji tüketiminin azalması ile birlikte çevrenin daha az kirlenmesidir. Ülkemizde binalarda ısı yalıtım kuralları TS 825 tarafından belirlenmiştir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları binalarda ısı kaybının olduğu yapı bileşenlerini dış ortama bitişik duvar, bina tabanı, bina tavanı, pencereler ve dış kapı olarak belirlemiştir.

Binalarda yaşam ortamını konfor sıcaklığına ulaştırmak ve bu sıcaklığı muhafaza etmek için gereken minimum enerji ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanır. Binanın yıllık enerji tüketiminin binanın ısıtılan alanına bölünmesiyle binanın yıllık enerji tüketimi hesaplanır. Isı yalıtımının niteliği ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını doğrudan etkilemektedir.

Ülkemizde ısı yalıtım uygulamaları için atılan ilk adım "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardının TSE tarafından yayınlanması olmuştur. 1977 yılında "Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği" Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca tebliğ edilmiştir. 1999 yılında TS 825 Standardı zorunlu hale getirelerek ısı yalıtım projelerinde uyulması gereken kuralları belirlemiştir (Şenkal Sezer, 2005). 2008 tarihinde yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ise binalarda Enerji Kimlik Belgesi alınmasını zorunlu kılmıştır. Bu yönetmelik binaların ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su temini ve aydınlatma için gerekli birincil enerji tüketim değerlerini hesaplamaktadır. Bununla birlikte enerji tüketiminin sonucu olarak ortaya çıkan sera gazı emisyon değerlerindeki hesaplanmasını sağlamaktadır.

Binalarda ısıtma enerjisini hesaplamanın iki yöntemi vardır. Bunlar TS 825 Binalar Isı Yalıtım Kuralları Standardının kullandığı statik yöntem ve dinamik yöntemdir. Statik metodlar aylık veya sezonluk, dinamik metodlar ise basit saatlik metod ve detaylı saatlik metod olarak gruplanabilmektedir. TS 825'in kullanmakta olduğu statik metod Türkiye'yi iklim bölgelerine ayırmıştır. Gruplara ayrılan iklim bölgeleri için aylık ortalama meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Dinamik metodlar ise ısı

kütlenin ihmal edilmediği fiziksel duruma en yakın değerlerin kullanıldığı ve kabullerin en aza indirildiği metodlardır (Yaman ve Gökçen, 2009).

Binalarda ısı kayıplarının büyük bir kısmı duvar, döşeme, çatı, pencere ve kapı gibi yapı bileşenlerinden meydana gelmektedir. Isı kayıplarını minimuma indirebilmek yapı bileşenlerinin yalıtımıyla mümkün görülmektedir. Binalarda dış duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, pencerelerde ısı yalıtımı, tesisatlarda ısı yalıtımı ve döşeme yapı elemanlarında ısı yalıtımı yapılmaktadır.

3.1 Binalarda Isı Yalıtımı için Kullanılan Malzemeler

Isı yalıtım malzemeleri ısı iletkenlik katsayıları düşük olan malzemelerdir. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısının düşük olması ısı geçişine karşı yüksek direnç göstermesi demektir. ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik katsayısı 0,065W/mK'den küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemeleri sınıfına girmektedir (Yaman ve ark., 2015).

3.1.1 Ekstrüde polistren köpük (XPS)

Buhar geçirmezlik özelliği yüksek, basınç kuvvetine karşı mukavemeti fazla, içinde ateş almayı engelleyici katkıları bulunduğu için yangına karşı dayanıklı günümüzde oldukça sık kullanılan ısı yalıtım malzemesidir (Ulaş, 2010). Hammaddesi polistrendir. Polistrenin haddelenmesi sonucunda üretilir. Haddelenme işleminden dolayı ekstrüde polistren köpük ismini almıştır. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,030 ile 0,040W/mK arasında değişmektedir. Yoğunluğu 25 kg/m³'den büyük ve 50kg/m³'den küçüktür ve bu yoğunluk aralığında farklı değerlerde kullanılabilir (Yaman ve ark., 2015). Ekstrüde polistren köpük şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Ekstrüde polistren köpük (XPS).

3.1.2 Ekspande polistren köpük (EPS)

Ekstrüde polistren köpük gibi hammaddesi polistrendir. Polistren hammadesinin şişirilmesiyle üretilmektedir. Polistrenin şişirilmesiyle birlikte malzeme içerisinde küçük boşluklar meydana gelir ve bu şekilde levhalar ısı yalıtım özelliği kazanmış olur (Ulaş, 2010). Şişirilen levhaların %95-98'i hava boşluklarıdır. Yoğunluğu 10 kg/m^3 ile 40 kg/m^3 arasında değişmektedir. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,035-0,040 \text{ W/mK}$ arasında değişmektedir (Yaman ve ark., 2015). Ekspande polistren köpük şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Ekspande polistren köpük (EPS).

3.1.3 Cam yünü

Silis kumunun $1200^{\circ}\text{C}-1400^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ergitilmesi sonucunda elyaf haline getirilmesi ile meydana gelmektedir. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,040 \text{ W/mK}$ 'dan küçüktür. Yoğunlukları kullanım yerine göre değişmektedir. Silis kumundan meydana getirilen cam yününün lifleri arasında hava boşlukları bulunmaktadır. Cam yününün su ile temas etmesi lifleri arasında bulunan hava boşluklarına su dolmasına ve ısı yalıtım özelliğini kaybetmesine neden olur. Cam yününün su ile temas ettirilmemesi gerekmektedir. Şekil 3.5 cam yünü göstermektedir.



Şekil 3.5 : Cam yünü.

3.1.4 Taş yünü

Bazalt, diabez, kireçtaşı, dolomit gibi taş ve minerallerin 1300°C-1400°C sıcaklıkta cam yününün üretiminde olduğu gibi elyaf haline getirilmesitle oluşmaktadır. Basınç dayanımı cam yününe göre daha fazladır. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,030-0,050W/mK arasındadır. Yoğunlukları değişkenlik göstermekle birlikte en çok kullanılan taş yünü malzemelerinininki 30kg/m³ ile 100kg/m³ arasında değişmektedir. Şekil 3.6 taş yünü göstermektedir.



Şekil 3.6 : Taş yünü.

3.1.5 Gazbeton

Gazbeton TS 453'de ince öğütölmüş silisli agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde olan kireç ile hazırlanan ve buhar kücü ile sertleştirilen hafif beton olarak tanımlanmıştır (TS 453, 1988). Gazbetonun hammaddesi kuvarsittir ve gazbeton gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözenekli yapı ısı iletkenlik değeri sağlamakta ve yalıtım özelliğı kazandırmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan gazbeton ısı iletkenlik hesap değeri 0,29W/mK olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.7 gazbetonu göstermektedir.



Şekil 3.7 : Gazbeton duvar malzemesi.

3.1.6 Tuğla

TS 705 tuğlayı killi toprağın kül, kiremit tozu ve benzerleri ile birlikte makine yardımıyla karıştırılmasından sonra şekillendirilip fırınlarda pişirilmesiyle oluşan madde olarak tanımlanmıştır (TS 705, 1985). Tuğlalar dona dayanıklı ve delik oranı gibi özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Tez çalışmasında kullanılan tuğlaların ısı iletkenlik hesap değeri 0,39W/mK olarak kabul edilmiştir. Tuğla şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Tuğla duvar malzemesi.

3.1.7 Bims

Volkanik bir madde olan bims boşluklu, silikat esaslı ve camsı dokuda olan bir malzemedir (TS 3234, 1978). Yapısında fazla sayıda gözenek olması ısı ve ses yalıtım değerlerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Tez çalışmasında kullanılan bims malzemesinin ısıl iletkenlik hesap değeri $0,36\text{W/mK}$ olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.9 bims malzemesini göstermektedir. Birim hacim ağırlığının düşük olmasından dolayı son yıllarda kullanımında artış gözükmemektedir.



Şekil 3.9 : Bims duvar malzemesi.

3.2 Binalarda Isı Yalıtımı Optimizasyonu ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Pylsy ve Kalema toplam işletme maliyetleri hassasiyeti analizi yaparak dört adet yalıtım malzemesi kalınlığı, güneşe karşı konumlarına göre dört farklı durumu, üç adet ısı geri kazanımlı havalandırma tipini ve dokuz adet ısıtma enerjisi üreten sistem içerisinden düşük maliyetli ve aynı zamanda düşük enerji tüketen çözüm kümesini bulmaya çalışmıştı. Çalışmaya göre binanın ısıtma enerjisinin azalmasında en etkili seçeneğin yalıtım sisteminin geliştirilmesi olduğu görülmüştür (Pylsy ve Kalema, 2008).

Georges ve ark. Belçika'da müstakil bir konut için onaltı adet ısıtma sistemi ve beş adet bina tasarımı arasından toplam enerji tüketim ve buna karşılık gelen karbondioksit salınım bilgilerini kullanarak bina tasarımının ve ısıtma sisteminin çevresel etkilerini karşılaştırdılar. Ekonomik açıdan ise ısıtma sistemlerinin ve bina tasarımlarının toplam indirgenmiş maliyetlerini göz önünde bulundurarak sistemlerin performans analizlerini gerçekleştirdiler (Georges ve ark., 2012).

Wang ve ark. çok amaçlı optimizasyon modelini geliştirerek tasarımcılara yeşil bina tasarımında yardımcı olmaya çalışmışlardır. Bina konumunu, üstyapı ve pencere tipini, toplam pencere alanlarını bina tasarımında toplam maliyete olan etkilerini ve çevreye verdikleri zararları göz önünde bulundurarak belirlemeye çalışmışlardır. Optimum sonuçların bulunması aşamasında genetik algoritma kullanılmıştır (Wang ve ark., 2004)

Wright ve ark. tarafından benzer bir çok amaçlı optimizasyon problemi mekanik sistem dizaynının bina termal konforu üzerindeki etkileri incelenerek uygulanmıştır. Çalışmanın en önemli sonucu çok amaçlı genetik algoritma metodu enerji maliyetleri ile termal konfor arasındaki etkileşimi net bir şekilde gösterebilmekte tasarıma yardımcı olabilmektedir (Wright ve ark., 2002).

Quarghi ve Krarti ofis binası için bina şeklinin, bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerini ve bu bileşenlere ait özellikleri ve güneş enerjisi kazanım katsayılarını, kullanılan enerjinin maliyeti ve bina ilk yatırım maliyetlerini karşılaştırarak genetik algoritma yardımıyla optimizasyon yapmışlardır. Bina şeklinin belirlenmesinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Sonuç olarak enerji maliyet optimizasyonunun yapı ölçülerine duyarlı olduğu açığa çıkmıştır (Quarghi ve Krarti, 2006).

Özel ve Pıhtılı ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamaya çalışmışlardır. Dış duvarda kullanılan ekstrüde polistren köpük yalıtımının kalınlığını arttırarak enerji tasarrufu miktarını ve geri ödeme süresini hesaplamaya çalışmışlar, optimum yalıtım kalınlığını bulmuşlardır (Özel ve Pıhtılı, 2007).

Kürekçi, Türkiye'nin enerji ithalatı sorununa değinerek binalarda yalıtım yapılmasının önemine dikkat çekmiştir. Çalışmasında Türkiye'nin 81 ilinde beş farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını, geri ödeme sürelerini ve enerji tasarruf miktarlarını karşılaştırarak hesaplamaya çalışmıştır. Yalıtımdan dolayı oluşan maliyetlerin geri ödeme sürelerinin kısa olduğuna dikkat çekerek, doğal gaz kullanılan binalarda yalıtım kalınlığının daha az olduğunu belirtmiştir (Kürekçi, 2016).

Baniassadi ve ark., genetik algoritma yardımıyla İran'ın dört farklı iklim koşullarına sahip şehrindeki optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Güney bölgelerde yalıtım kalınlığını sıfıra yakın kuzey bölgelerde ise 6cm'den fazla olması gerektiğini ortaya koymuşlardır (Baniassadi ve ark., 2016).

3.3 Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Verimliliğine Etkisi

Binalarda enerji kullanımının en az %50'si ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere harcanmaktadır. Çalışmamızda ısı kaybını önlemek için bina dış kabuğunun ısı iletkenlik katsayısını düşürecek parametrelerin analizi yapılmaya çalışılmıştır. Bina dış kabuğu, ısıtılan ve soğutulan bölümlerin dış hava ile temas eden yüzeylerinden yani dış duvarlar, toprakla veya ısıtılmayan iç ortamlarla temas eden döşemeler, çatılar, pencereler ve kapılardan meydana gelmektedir. Binalarda kullanılan enerjinin büyük kısmı ısıtma enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere harcandığı için binalarda ısı kayıplarını önlemenin ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltacağı ve dolayısı ile binanın enerji verimliliğine olumlu katkı yapacağı gayet açıktır.

Dünyadaki karbondioksit salınımının ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'inden inşaat sektörü sorumludur. Binaların enerji talebini azaltmak tüm ülkeler için önemli bir hedef olmalıdır. Binaların enerji talebinin ise binaların ısıtılması ve soğutulması için harcanan enerjilerden kaynaklandığı bilinmektedir. Isı yalıtımı, binaların enerji talebini azaltmanın birinci ve en etkili yoludur (Spiru ve ark., 2017). Uluslararası

Enerji Ajansı, dünyanın enerji tüketiminin önümüzdeki 10 yıl içerisinde %53 artacağı öngörüsünde bulunmuştur. İnşaat sektörü etkili ve standartlara uygun ısı yalıtımı stratejilerini kullanarak enerji tüketimini azaltabilir. Binalarda ısı yalıtımı uygulamaları konutlarda, ticari binalarda ve sanayi yapılarında kullanılabilir. Doğal kaynakların daha verimli kullanılması sera gazı emisyonlarının da azalmasını sağlayacağından ısı yalıtımının zincirleme tepki etkisinden söz edilebilir (Aditya ve ark., 2017).

3.4 TS 825'e göre Isı Yalıtım Hesapları

TS 825 Binalarda Isı yalıtım Kuralları Standardı, binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını belirlemiş, seçilmesi gereken yapı malzemelerinin ısı iletim özelliklerini ve yoğuşma parametrelerini belirtmiştir. Standardın kabul ettiği hesaplamalar ilerleyen bölümlerde detaylıca anlatılmaktadır. Derece gün hesap metoduna dayanmakta olan TS 825 ülkemizi 5 derece gün bölgesine ayırmıştır. Çizelge 3.1 illerimizin derece gün bölgelerini göstermektedir.

Çizelge 3.1 : İllere göre derece gün bölgeleri.

1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
ADANA	HATAY	MERSİN		
ANTALYA	İZMİR			
2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AYDIN	ÇANAKKALE	İSTANBUL	MUĞLA	SİNOP
ADİYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	OSMANİYE	ŞIRNAK
AMASYA	DİYARBAKIR	KOCAELİ	ORDU	ŞANLIURFA
BALIKESİR	DÜZCE	MARAŞ	RİZE	TEKİRDAĞ
BARTIN	EDİRNE	MANİSA	SAMSUN	TRABZON
BATMAN	GAZİANTEP	MARDİN	SAKARYA	YALOVA
BURSA	GİRESUN	KARAMAN	SIĞIRCI	ZONGULDAK
3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA	
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR	
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE	
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT	
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNCELİ	
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK	
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA		

Çizelge 3.1 (devam) : İllere göre derece gün bölgeleri.

4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
BAYBURT	GÜMÜŞHANE	HAKKARİ	VAN
BİTLİS	KASTAMONU	MUŞ	YOZGAT
ERZİNCAN	KAYSERİ	SİVAS	

5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS

Farklı derece gün bölgeleri için ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Farklı derece gün bölgeleri için ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri ($\theta_{e,ay}$).

AYLAR	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
OCAK	8,4	2,9	-0,3	-5,4	-10,5
ŞUBAT	9	4,4	0,1	-4,7	-9,1
MART	11,6	7,3	4,1	0,3	-2,9
NISAN	15,8	12,8	10,1	7,9	5,3
MAYIS	21,2	18	14,4	12,8	10,6
HAZİRAN	26,3	22,5	18,5	17,3	14,6
TEMMUZ	28,7	24,9	21,7	21,4	18,6
AĞUSTOS	27,6	24,3	21,2	21,1	18,6
EYLÜL	23,5	19,9	17,2	16,5	14,1
EKİM	18,5	14,1	11,6	10,3	7,8
KASIM	13	8,5	5,6	3,1	0,6
ARALIK	9,3	3,8	1,3	-2,8	-6,7

TS 825, binaları kullanım amaçlarına göre gruplara ayırmış ve hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerlerini çizelge 3.3'te olduğu gibi belirlemiştir.

Çizelge 3.3 : Farklı kullanım amaçlarına göre ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri ($\theta_{i,ay}$).

Isıtılacak bina		Sıcaklık
1	Konutlar	
2	Yönetim binaları	19
3	İş ve hizmet binaları	
4	Otel, motel ve lookantalar	
5	Öğretim binaları	
6	Tiyatro ve konser salonları	20
7	Kışlalar	
8	Ceza ve tutuk evleri	

Çizelge 3.3 (devam) : Farklı kullanım amaçlarına göre ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri ($\theta_{i,ay}$).

	Isıtılacak bina	Sıcaklık
9	Müze ve galeriler	20
10	Hava limanları	22
11	Hastaneler	26
12	Kapalı yüzme havuzları	16
13	İmalat ve atölye mahalleri	

Tez çalışmasına konu olan bina Trabzon ilimizde yer almaktadır. Trabzon'un 2. bölge derece gün illerinden olduğu çizelge 3.1'de görülmektedir.

3.4.1 Isıl geçirgenlik direncinin (R) hesaplanması

Birden fazla tabakadan oluşan yapı bileşenlerine ait ısı geçirgenlik direnci aşağıdaki formüle göre hesaplanır. Tez çalışmasına konu olan bina kabuğunu oluşturan tüm yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik direnci denklem 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.1)$$

R : Isıl geçirgenlik direnci (m^2K/W)

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m)

λ_h : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/mK)

Yapı elemanlarının kendilerine ait ısı tranfer direnç değerlerinin yanında iç ve dış yüzeylerindeki yüzyesel ısı transfer değerlerindeki hesaplarda kullanılması gerekmektedir. Yüzyesel ısı transfer değerleri için çizelge 3.4 kullanılmaktadır.

Çizelge 3.4 : Yüzyesel ısı transfer değerleri.

Yapı bileşeni bina üzerindeki konumlar		Yüzyesel ısı dirençler	
		Rsi (m2K/W)	Rse (m2K/W)
1	Dış duvar (sıra no 2'de verilenin dışındaki dış duvarlar)		0,04
2	Arkadan havalandırılan girdirme cephe dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar	0,13	0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekanlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar	0.13	NOT
4	Toprak temaslı dış duvar		0

Çizelge 3.4 (devam) : Yüzeysel ısı transfer değerleri.

	Yapı bileşeni bina üzerindeki konumlar	Yüzeysel ısı dirençler	
		R _{si} (m ² K/W)	R _{se} (m ² K/W)
5	Bir yaşama mekanının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekan altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması halinde	0,13	NOT
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması halinde	0,17	NOT
8	Bodrum tavanı		NOT
9	Bir yaşama mekanının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları	0,17	0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekanının zemine oturan tabanı		0
NOT	Yapı bileşeninin iç mekanda yer alması durumunda, hesaplamalarda iç ve dış yüzey ısı transfer direnç değerleri aynı kabul edilir		

3.4.2 Toplam ısı geçirgenlik katsayısının (U) hesaplanması

Toplam ısı geçirgenlik katsayısı denklem 3.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (3.2)$$

U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

R_i : İç yüzey yüzeysel ısı transfer direnç değeri (m²K/W)

R_e : Dış yüzey yüzeysel ısı transfer direnç değeri (m²K/W)

(R_i ve R_e değerleri için çizelge 3.4'deki değerler kullanılmalıdır.)

3.4.3 Isı kaybı hesabı

Tez çalışmasına konu olan binada ısı kaybının iletim, taşınım ve havalandırma yollarıyla gerçekleştiği kabul edilecektir. Toplam ısı kaybı denklem 3.3'deki gibi iletim, taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı ile havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplanmasıyla hesaplanır.

$$H = H_T + H_V \quad (3.3)$$

3.4.3.1 İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı hesabı

İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı denklem 3.4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_T = \sum AU \quad (3.4)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (3.4a)$$

U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_P : Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_K : Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_T : Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_t : Zemine oturan tabanın/döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

U_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

A_D : Dış duvarın alanı (m²)

A_P : Pencerenin alanı (m²)

A_K : Dış kapının alanı (m²)

A_T : Tavan alanı (m²)

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı (m²)

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı (m²)

A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı (m²)

3.4.3.2 Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

Tez çalışmasına konu olan binanın doğal havalandırma kullanacağı dikkate alındığında havalandırma yoluyla gerçekleşmesini beklediğimiz ısı kaybının hesapları denklem 3.5'deki gibi olacaktır.

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V' = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (3.5)$$

ρ : Havanın birim hacim kütlesi (kg/m³)

c : Havanın özgül ısısı (J/kgK)

V' : Hacimce hava değişim debisi (m^3/h)

n_h : Hava değişim oranı (h^{-1})

V_h : Havalandırılan hacim ($V_h=0,7.V_{brüt}$) (m^3)

TS 825'e göre sıcaklık ve basınca göre değişim gösteren " ρ " ve " c " değerlerinin değişmediği kabul edilerek; 20 °C ve 100 kPa durumlarına göre ve giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı ihmal edilerek hesaplar yapılmıştır. Havalandırma yoluyla kaybedilen ısı kaybının hesaplanmasında kullanılan formüldeki "0,33" katsayısı denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\frac{\rho.c}{3600} = \frac{1,184,1006}{3600} = 0,33 Jh/m^3 (Ks) = 0,33 Wh/m^3 K \quad (3.6)$$

TS 825 doğal havalandırma kullanılan binalarda hava değişim oranı sayısı " n_h " değerinin 0,7 (h^{-1}) alınması gerektiğini belirtmektedir (TS 825, 2013).

3.4.4 Aylık ortalama iç kazançlar ($\Phi_{i,ay}$)

TS 825 tüm yapılarda birim kullanım alanı başına yapı sınıfına ve kullanım alanına göre ortalama iç kazanç değerleri belirlemiştir. İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları, sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları, yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları, aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları ve binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları iç kazançların kapsadığı kaynaklardır (TS 825, 2013).

Konutlarda alınması gereken maksimum iç kazanç değeri 5 W/m²'dir. Denklem 3.7 konutlarda alınması gereken iç kazanç değerini hesaplamaktadır.

$$\Phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n (W) \quad (3.7)$$

A_n : Bina kullanım alanı (m^2)

A_n : $0,32 \times V_{brüt}$

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

3.4.5 Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\Phi_{s,ay}$)

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları konutların konumlarına göre pencerelerden sağlanan güneş ışınlamından elde edilen kazançlardır ve denklem 3.8'de gösterilmiştir (TS 825, 2013).

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (3.8)$$

$r_{i,ay}$: "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü

" $r_{i,ay}$ " değeri çizelge 3.5'den alınır.

Çizelge 3.5 : Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü.

Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

$g_{i,ay}$: "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü denklem 3.9'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$I_{i,ay}$: "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlamı şiddeti (W/m^2)

A_i : "i" yönündeki toplam pencere alanı (m^2)

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp} \quad (3.9)$$

F_w : Camlar için düzeltme faktörüdür. F_w : 0,8 alınır.

$g_{\perp}$: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Çizelge 3.6'dan alınır.

Çizelge 3.6 : Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü.

Cam türü	$g_{\perp}$
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
Isıl geçirgenlik katsayısı $2W/m^2K$ 'den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,50

3.4.6 Kazanç kullanım faktörü (η)

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne ve binanın ısıl kütlesine bağlıdır ve denklem 3.10'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (TS 825, 2013).

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (3.10)$$

$$KKO_{ay} = \frac{\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}}{H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})} \quad (3.10a)$$

$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı (°C)

$\theta_{e,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı (°C)

$\Phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (W)

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzeri olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir (TS 825, 2013).

3.4.7 Isıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması

TS 825'e göre ısıtma enerjisi ihtiyacı denklem 3.11'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (3.11)$$

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \cdot t \quad (3.11a)$$

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

H : Binanın özgül ısı kaybı (W/K)

θ_i : Aylık ortalama iç sıcaklık (°C)

θ_e : Aylık ortalama dış sıcaklık (°C)

η_{ay} : Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz)

$\phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (W)

$\phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

t : Zaman (saniye olarak bir ay = 86400×30 (s))

3.5 TS 825'e göre Yıllık Isıtma Enerjisi Sınır Değerleri

TS 825 binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanabilmesi için bir metod belirlemiştir. Tez çalışmasına konu olan bina için hesaplanmış olan $A_{top}/V_{brüt}$ oranına göre çizelge 3.7 veya çizelge 3.8'de hesaplanan değerler aşılmamalıdır.

Yeni binaların tasarımı aşamasında, TS 825'de verilen hesap metodu kullanılarak, binanın enerji ihtiyacı bu standartta verilen sınırları aşmayacak şekilde hesaplanmalı; malzeme seçimlerinin ve eleman boyutlandırmalarının belirtildiği bir ısı yalıtım projesi hazırlanmalıdır (TS 825, 2013).

Çizelge 3.7 : En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için sınırlandırılan ısıtma enerjisi değerleri.

BÖLGE	$A_n/V_{brüt}$	$A/V < 0,2$	$A/V < 1,5$	Birim
1.	$A_n - Q'$	13,8	44,9	kWh/m ² ,yıl
BÖLGE	$V_{brüt} - Q'$	4,4	14,4	kWh/m ³ ,yıl
2.	$A_n - Q'$	28,5	82,3	kWh/m ² ,yıl
BÖLGE	$V_{brüt} - Q'$	9,1	26,3	kWh/m ³ ,yıl
3.	$A_n - Q'$	38,4	100,9	kWh/m ² ,yıl
BÖLGE	$V_{brüt} - Q'$	12,3	32,3	kWh/m ³ ,yıl
4.	$A_n - Q'$	50,4	122,3	kWh/m ² ,yıl
BÖLGE	$V_{brüt} - Q'$	16,0	38,8	kWh/m ³ ,yıl
5.	$A_n - Q'$	62,8	148,2	kWh/m ² ,yıl
BÖLGE	$V_{brüt} - Q'$	20,0	47,4	kWh/m ³ ,yıl

Çizelge 3.8 : Ara değerler ($A/V > 0,2$ ile $A/V < 1,5$ arasındaki değerler) için sınırlandırılan ısıtma enerjisi değerleri.

Ara değerler ($A/V > 0,2$ ile $A/V < 1,5$ arasındaki değerler) için			
1. BÖLGE	A_n	$Q = 36,7 \times A/V + 6,0$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$	$Q = 11,9 \times A/V + 1,9$	kWh/m ³ ,yıl
2. BÖLGE	A_n	$Q = 63,7 \times A/V + 14,9$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$	$Q = 20,3 \times A/V + 4,7$	kWh/m ³ ,yıl
3. BÖLGE	A_n	$Q = 74,2 \times A/V + 22,4$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$	$Q = 23,2 \times A/V + 7,4$	kWh/m ³ ,yıl
4. BÖLGE	A_n	$Q = 83,4 \times A/V + 31,0$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$	$Q = 27,1 \times A/V + 9,8$	kWh/m ³ ,yıl

Çizelge 3.8 (devam) : Ara değerler ($A/V > 0,2$ ile $A/V < 1,5$ arasındaki değerler) için sınırlandırılan ısıtma enerjisi değerleri.

Ara değerler ($A/V > 0,2$ ile $A/V < 1,5$ arasındaki değerler) için			
5. BÖLGE	An	$Q = 88,7 \times A/V + 30,6$	kWh/m ² ,yıl
	Vbrüt	$Q = 24,5 \times A/V + 12,1$	kWh/m ³ ,yıl

3.6 Malzeme Seçimi ve Eleman Boyutlandırılması

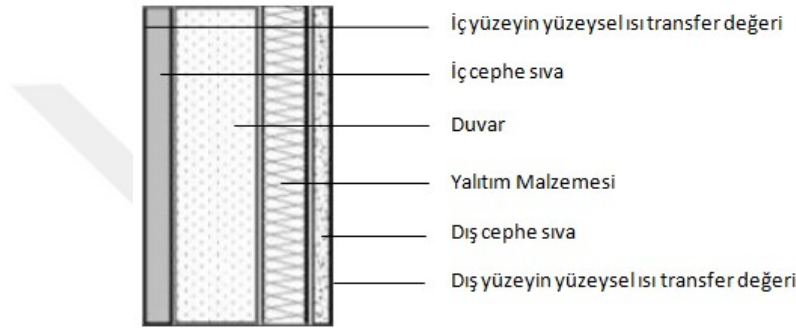
Tez çalışması için seçilmiş binanın dış kabuğunun tasarımında kullanılabilecek malzemeler ve bunların boyutlandırılması için genetik algoritma kullanılarak, katmanların ısıl iletkenlik dirençleriyle birlikte malzemelere ait fiyatlar göz önünde bulundurulduğu optimizasyon problemi uygulanmıştır. Optimizasyon esnasında bölüm 3.5'de belirtilen ısıtma enerjisi sınır değerlerinin dışında kalan sonuçlar dikkate alınmamıştır.

Bina dış kabuğu; duvar, betonarme kolon, perde ve kirişler, ısıtılmayan iç ortama bitişik ve toprağa temas eden taban, tavan, pencere ve kapı elemanlarından oluşmaktadır. TS 825 ısı yalıtım malzemeleri ve bina kabuğunu oluşturan elemanlar için ısıl iletkenlik hesap değerleri belirlemiştir. Çalışmamızda TS 825'in belirlemiş olduğu ısıl iletkenlik hesap değerleri dikkate alınmıştır. Isı yalıtım malzemelerinin ve bina kabuğunu oluşturan elemanların ısıl iletkenlik dirençleri, ısıl iletkenlik hesap değerlerinin malzeme veya elemanın kalınlığına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Birden fazla tabakadan meydana gelen yapı bileşenlerinde toplam ısıl geçirgenlik direnci hesaplanır. Isı yalıtımı yapılırken malzemenin özellikleri kadar boyutları da oldukça önem arz etmektedir. Isı yalıtımında kullanılacak malzemelerin ve elemanların ve boyutlarının seçiminde ilk yatırım maliyetlerini göz önünde bulundurmak gerekir.

3.6.1 Duvar

Duvar yapı bileşenin içten dışa doğru katmanları iç cephe sıva, duvar, ısı yalıtım malzemesi ve ısı yalıtım malzemesi üstü sıva olarak belirlenmiştir. Burada alçı sıva için iki farklı malzeme ve her malzeme için üç farklı kalınlık belirlenmiştir. Her durum için ısıl iletkenlik değeri hesaplanmış ve her duruma göre ayrı maliyet analizi yapılmıştır. Duvar malzemesi için tuğla duvar, gazbeton ve bims uygun görülmüştür. Malzeme kalınlıkları tuğla duvarda 13,5cm ve 25cm, gazbeton ve bims duvarlarda

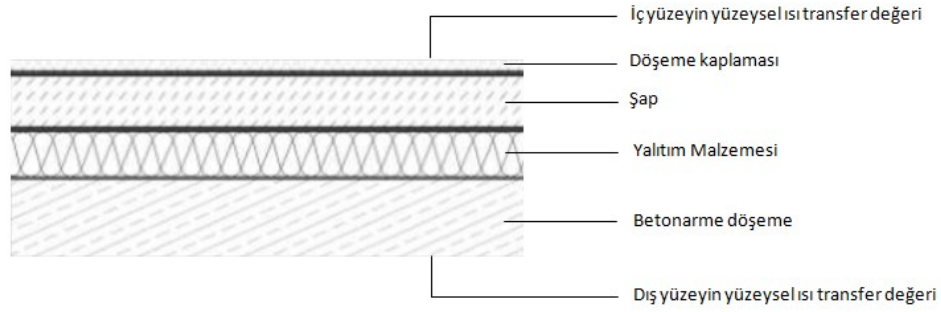
15cm ve 25cm olarak verilmiştir. Duvarın üzerine ısı yalıtım malzemesi uygulanmıştır. Cam yünü, polistren köpük ve taş yünü malzemelerinin hepsi 40kg/m^3 yoğunluğa sahiptir. Herbiri için kalınlıklar 7cm ve 10cm olarak belirlenmiştir. Isı yalıtım malzemesinin üzerine duvar yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direncini etkileyecek son katman olan yalıtım malzemesi üzeri sıva uygulanmıştır. Tek malzeme seçeneği bulunan dış cephe sıvasına ait 1cm ve 2cm olmak üzere iki farklı kalınlık bilgisi mevcuttur. Duvar yapı bileşeninin kesiti şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Duvar yapı bileşeni kesiti.

3.6.2 Taban

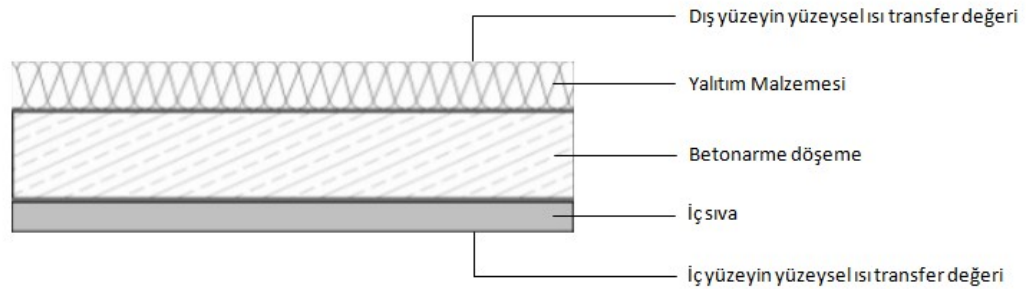
Taban yapı bileşeni, tez çalışmasına konu olan binada iki farklı bölümden oluşmaktadır. Kademeli bir temel sistemine sahip binada bodrum kat garaj olarak kullanılacaktır. Garaj katının ısıtılmasına gerek duyulmadığı için, garaj katının üzerindeki zemin katın bir kısmı ısıtılmayan iç ortama bitişik tabandan meydana gelmektedir. Zemin katın kalan kısmı ise toprağa temas eden taban olarak kabul edilmiştir. İki taban bölümünde aynı katmanlardan meydana gelmektedir. Yer döşemesi için linolyum, mantarlı linolyum ve pvc kaplama seçenekleri mevcuttur. Yer döşemesi kalınlıkları sırasıyla 2cm, 2,5cm ve 3cm'dir. Ardından 30cm kalınlığında betonarme döşeme vardır. Betonarme döşemenin üzerinde 3cm ve 5cm kalınlıklarında taş yünü, ekstrüde polistren köpük ve ekspande polistren köpük malzemeleri yer almaktadır. Yalıtım malzemesi üzerinde ise 5cm ve 7cm kalınlığında çimento harçlı şap vardır. Şekil 3.11 taban yapı bileşeninin kesitini göstermektedir.



Şekil 3.11 : Taban yapı bileşeni kesiti.

3.6.3 Tavan

Tavan yapı bileşeni sıva, betonarme döşeme ve yalıtım malzemelerinden meydana gelmektedir. Binamızda kullanılmayan çatı arası bulunduğu için tavan yapı bileşeninden dolayı oluşan ısı kayıpları 0,8 katsayısı ile çarpılarak hesaplanmaktadır (TS 825, 2013). Alçı sıva katmanı 1cm ve 2cm'den oluşmaktadır. Betonarme döşemenin kalınlığı 30cm'dir. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, ekstrüde polistren köpük ve ekspande polistren köpük kullanılacaktır. Yalıtım malzemelerinin kalınlık seçenekleri ise 3cm ve 5cm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.12 tavan yapı bileşeninin kesitini göstermektedir.



Şekil 3.12 : Tavan yapı bileşeni kesiti.

3.6.4 Pencere

Pencereler PVC doğrama olarak düşünülmüştür. 2 odacıklı, 3 odacıklı, 4 odacıklı, 5 odacıklı ve 6 odacıklı olan PVC doğramalar tek veya çift camlı ve kaplamalıdır. Camlar arası boşluklar 12mm ve 16mm olarak belirlenmiş olup fiyat analizi bu özelliklere göre yapılmıştır.

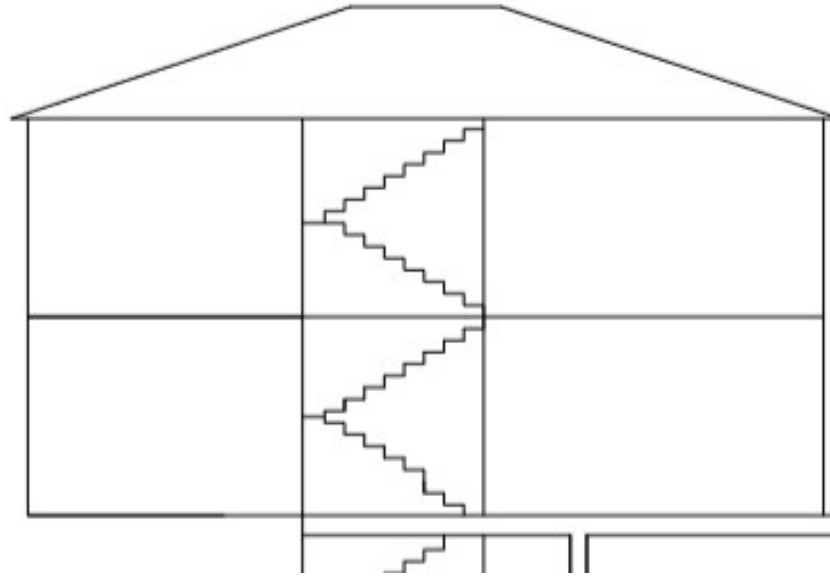
3.6.5 Kapı

Binanın dış kapısı için 3 farklı seçenek belirlenmiştir. Ağaç veya plastik kapıların fiyatları ve ısıl geçirkenlik değerleri birbirlerine yakın oldukları için tek bir seçenek olarak kabul edilmiştir. Metal ısı yalıtımlı ve metal ısı yalıtımsız olarak ilave iki seçenekle birlikte kapıların fiyatları ve ısıl geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır.

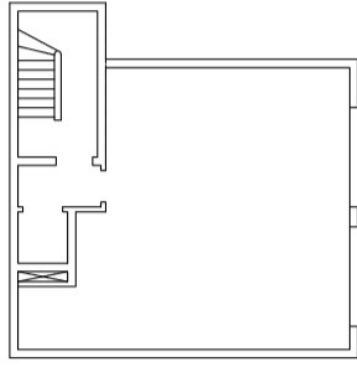


4. VAKA ÇALIŞMASI

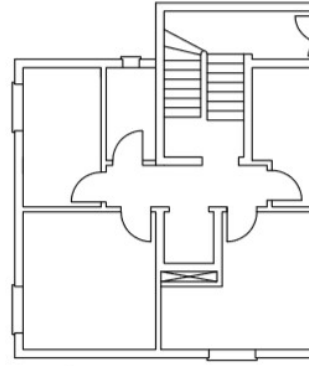
Bina sektöründeki enerji kullanımını enerji verimliliği yüksek konutlar inşa ederek makul seviyelere indirebilmek mümkün gözükmemektedir. Türkiye'de enerjinin yaklaşık %40'ı binalarda tüketilmekte olup bunun %80-85'i binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Üç katlı, müstakil, giriş katında garajı ve dolayısı ile ısıtılmayan iç hacme sahip aile evi vaka çalışması için seçilmiştir. 4 oda, 1 salon, 1 mutfak, 3 adet banyo ve garaj mahallerinden oluşan bina Trabzon'da bulunmaktadır. Binanın garaj katı 90m², zemin ve 1. katları ise 125m² oturuma sahiptir. Binanın bütün katları merdiven tarafından birbirlerine bağlanmaktadır. Binanın iç yüksekliği tüm katlarda 2,7m'dir. Binanın profil görüntüsü ve kat planları şekil 4.1 ve şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bina kabuğunu oluşturan katmanlar ve yalıtım seviyeleri önceki bölümlerde anlatılmıştır. Bina doğal havalandırmaya sahip olacak şekilde tasarlanmış, ısı köprüleri ihmal edilmiştir. Dış havadaki sıcaklık etkilerinden bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin yeterince korunacağı varsayılarak yoğuşma hesapları dikkate alınmamıştır.



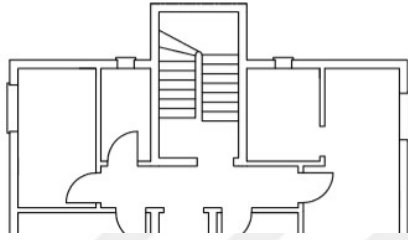
Şekil 4.1 : Bina iskeletinin yan görünüşü.



GARAJ KATI PLANI



ZEMİN KAT PLANI



Şekil 4.2 : Garaj katı, zemin kat ve 1. kat planları.

4.1 Örnek Hesaplamalar

Tez çalışmasında çözüm kümeleri arasından genetik algoritma yöntemiyle optimum çözüm aranmıştır. Araştırma alanının geniş olması ve çok sayıda çözüm içerisinde en uygun olanını belirlemenin zorluğu göz önünde bulundurularak optimizasyon algoritması belirlenmiştir. Hesaplamaların excel yardımıyla yapılmış olmasının yanında bu bölümde hesapların içeriğine ve örnek hesaplamalara yer verilmiştir. Tüm yapı bileşenlerinde 1 numaralı katman seçeneklerinin tercih edildiği varsayımında bulunularak örnek hesaplama yapılmıştır.

4.1.1 Isıl geçirgenlik direncinin hesaplanması

Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanların ısıl geçirgenlik dirençleri çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1 : Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanlar ve katmanlara ait bilgiler.

Katman	Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam Maliyet
İç Sıva	Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış harçlar	341,4	0,01	0,2	0,05	₺ 5.950,11
Duvar	Tuğla Duvar	241,8	0,25	0,39	0,64	₺ 12.016,71
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	99,6	0,25	2,2	0,11	₺ 14.388,00
Yalıtım Malzemesi	Cam Yünü (040)	357	0,07	0,04	1,75	₺ 10.019,21
Sıva	Yalıtım Malz. Üstü Sıva (Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları)	357	0,01	0,35	0,03	₺ 5.236,00

Sırasıyla toprağa temas eden ve ısıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşenlerini oluşturan katmanların ısı iletkenlik dirençleri ve fiyat bilgileri çizelge 4.2 ve 4.3'deki gibidir.

Çizelge 4.2 : Toprağa temas eden taban yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler.

Katman	Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam Maliyet
Yer Döşemesi	Linolyum	34	0.02	0.17	0.12	₺ 2,380.00
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	34	0.3	2.2	0.14	₺ 4,964.00
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	34	0.03	0.04	0.75	₺ 663.00
Şap	Çimento Harçlı Şap	34	0.05	1.4	0.04	₺ 360.40

Çizelge 4.3 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler.

Katman	Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam Maliyet
Yer Döşemesi	Linolyum	50.5	0.02	0.17	0.12	₺ 3,535.00
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	50.5	0.3	2.2	0.14	₺ 6,413.50
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	50.5	0.03	0.04	0.75	₺ 984.75
Şap	Çimento Harçlı Şap	50.5	0.05	1.4	0.04	₺ 535.30

Tavan yapı bileşenini oluşturan katmanların ısı iletkenlik dirençleri çizelge 4.4'deki gibidir.

Çizelge 4.4 : Tavan yapı bileşeninin katmanları ve katmanlara ait bilgiler.

Katman	Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam Maliyet
Sıva	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	89,2	0,01	0,7	0,01	₺ 1.456,93
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	89,2	0,3	2,2	0,14	₺ 11.328,40
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	89,2	0,07	0,04	1,75	₺ 1.739,40

Pencere ısı geçirgenlik katsayıları çizelge 4.5'deki gibidir.

Çizelge 4.5 : Pencere tipine göre ısı geçirgenlik katsayıları.

Cam Tipi	Tek Cam	Çift Cam-Kaplamalı Ara Boşluk (mm)	
		12	16
PVC Doğrama (2 Odacıklı)	4,73	1,89	1,53
PVC Doğrama (3 Odacıklı)	4,63	1,8	1,59
PVC Doğrama (4 Odacıklı)	4,6	1,77	1,56
PVC Doğrama (5 Odacıklı)	4,57	1,74	1,53
PVC Doğrama (6 Odacıklı)	4,54	1,71	1,5

Pencere ısıl geçirgenlik katsayılarına göre fiyat bilgileri çizelge 4.6'daki gibidir.

Çizelge 4.6 : Pencere tipine göre fiyat bilgisi.

Cam Tipi	Tek Cam	Çift Cam-Kaplamalı Ara Boşluk (mm)	
		12	16
PVC Doğrama (2 Odacıklı)	₺ 5.000,00	₺ 6.250,00	₺ 7.500,00
PVC Doğrama (3 Odacıklı)	₺ 5.250,00	₺ 6.800,00	₺ 7.750,00
PVC Doğrama (4 Odacıklı)	₺ 6.000,00	₺ 7.350,00	₺ 8.150,00
PVC Doğrama (5 Odacıklı)	₺ 6.200,00	₺ 7.500,00	₺ 8.450,00
PVC Doğrama (6 Odacıklı)	₺ 7.500,00	₺ 7.700,00	₺ 8.750,00

Proje kapsamında seçilebilecek kapılar ve kapılara ait ısıl geçirgenlik katsayıları çizelge 4.7'deki gibidir.

Çizelge 4.7 :Kapı tiplerine göre ısıl geçirgenlik katsayıları ve fiyat bilgileri.

Kapı Tipi	U Değeri	Fiyat
Agac, Plastik	3,5	₺ 850,00
Metal (Isi Yalitimli)	4	₺ 1.350,00
Metal (Isi Yalitimsiz)	5,5	₺ 1.150,00

4.1.2 Toplam ısıl geçirgenlik katsayısının hesaplanması

Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı denklem 4.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (4.1)$$

Duvar için hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik katsayısı:

R_i : 0,13

R_e : 0,04 (R_i ve R_e değerleri çizelge 3.4'den alınmıştır.)

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,05 + 0,64 + 1,75 + 0,03 + 0,04} = 0,38$$

Betonarme kolon-perde için hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik katsayısı:

R_i : 0,13

R_e : 0,04 (R_i ve R_e değerleri çizelge 3.4'den alınmıştır.)

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,05 + 0,11 + 1,75 + 0,03 + 0,04} = 0,47$$

Toprağa temas eden tabanın toplam ısıl geçirgenlik katsayısı:

R_i : 0,17

R_e : 0 (R_i ve R_e değerleri çizelge 3.4'den alınmıştır.)

$$U = \frac{1}{0,17 + 0,12 + 0,14 + 0,75 + 0,04 + 0} = 0,82$$

Isıtılmayan iç ortama bitişik tabanın toplam ısıl geçirgenlik katsayısı:

R_i : 0,17

R_e : 0,04 (R_i ve R_e değerleri çizelge 3.4'den alınmıştır.)

$$U = \frac{1}{0,17 + 0,12 + 0,14 + 0,75 + 0,04 + 0,04} = 0,80$$

Tavan için hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik katsayısı:

R_i : 0,13

R_e : 0,08 (R_i ve R_e değerleri çizelge 3.4'den alınmıştır.)

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,01 + 0,12 + 1,75 + 0,08} = 0,48$$

Pencere ve kapılar tek katmandan oluşan yapı bileşenleri oldukları için her ikisinde hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik katsayıları sırasıyla 4,73 ve 3,5 olarak alınmıştır.

4.1.3 Isı kaybı hesabı

Binadaki ısı kayıpları iletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybından meydana gelmektedir.

4.1.3.1 İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı

İletim ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kaybı denklem 4.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_T = \sum AU \quad (4.2)$$

$$\sum AU = 0,38 \times 241,8 + 4,73 \times 31,22 + 3,5 \times 1,995 + 0,8 \times 0,48 \times 89,2 + 0,5 \times 0,82 \times 34 + 0,5 \times 0,80 \times 50,5 = 361,743$$

4.1.3.2 Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ve toplam ısı kaybı hesapları denklem 4.3 ve denklem 4.4'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_V = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (4.3)$$

$$H_V = 0,33 \times 0,7 \times 0,7 \times 972 = 157,1724$$

$$H = H_T + H_V \quad (4.4)$$

$$H = 361,743 + 157,1724 = 518,9154$$

4.1.4 Aylık ortalama iç kazançlar

Tez çalışmasına konu olan binamız konut sınıfında bulunduğu için aylık ortalama iç kazançlar denklem 4.5'teki gibi hesaplanır.

$$\phi_{i,ay} \leq 5 \times 0,32 \times 972 = 1555,2 \quad (4.5)$$

4.1.5 Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları binanın konumuna göre hesaplanmaktadır. Çizelge 4.8'de binanın güneş ışınlamına maruz kalan pencerelerinin m² bazlı doğrultuları verilmiştir.

Çizelge 4.8 :Güneş ışınlamına maruz kalan pencere doğrultuları

Agüney(m2)	Akuzey(m2)	Abatı(m2)	Adoğu(m2)
11,4	4,2	5,12	10,5

Denklem 4.1'de verilen $r_{i,ay}$ (gölgelenme faktörü), bina müstakil nizamda ve 3 katlı olduğu için çizelge 3.5'te belirtildiği gibi 0,8 olarak alınır.

Güneş enerjisi geçirme faktörü ($g_{i,ay}$) denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp} \quad (4.6)$$

Camlar için düzeltme faktörü olan " F_w " TS 825'te belirtildiği gibi 0,8 alınır.

Yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü olan " $g_{\perp}$ " ise çizelge 3.6'dan alınır.

Güneş enerjisi kazançlarını hesaplayabilmek için gerekli olan $g_{i,ay}$ değeri denklem 4.7'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp} = 0.8 \times 0.85 = 0,68 \quad (4.7)$$

olarak hesaplanır.

Güneş enerjisi kazançlarını hesaplayabilmek için dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddetinin bilinmesi gerekmektedir. " $I_{i,ay}$ " TS 825'de belirtildiği gibi çizelge 4.9'dan alınan güneş ışıınım şiddeti değerleri kullanılır.

Çizelge 4.9 : Aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri.

	Igüney	Ikuzey	Ibatı/doğu
OCAK	72	26	43
ŞUBAT	84	37	57
MART	87	52	77
NİSAN	90	66	90
MAYIS	92	79	114
HAZİRAN	95	83	122
TEMMUZ	93	81	118
AĞUSTOS	93	73	106
EYLÜL	89	57	81
EKİM	82	40	59
KASIM	67	27	41
ARALIK	64	22	37

Son olarak A_i değeri tablo 4.8'den alınarak güneş enerjisi kazançları her ay için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra bütün aylardan elde edilen kazançlar toplanır.

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{s,ocak} &= 0,8 \times 0,68 \times 72 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 26 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 43 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 43 \times 5,12 = 871,30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{s,şubat} &= 0,8 \times 0,68 \times 84 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 37 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 57 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 57 \times 5,12 = 1089,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{s,mart} &= 0,8 \times 0,68 \times 87 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 52 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 77 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 77 \times 5,12 = 1312,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{s,nisan} &= 0,8 \times 0,68 \times 90 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 66 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 90 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 90 \times 5,12 = 1473,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,may} &= 0,8 \times 0,68 \times 92 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 79 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 114 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 114 \times 5,12 = 1719,74\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,hazir} &= 0,8 \times 0,68 \times 95 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 83 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 122 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 122 \times 5,12 = 1815,46\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,temmuz} &= 0,8 \times 0,68 \times 93 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 81 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 118 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 118 \times 5,12 = 1764,49\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,ağustos} &= 0,8 \times 0,68 \times 93 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 73 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 106 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 106 \times 5,12 = 1644,25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,eylül} &= 0,8 \times 0,68 \times 89 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 57 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 81 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 81 \times 5,12 = 1370,45\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,ekim} &= 0,8 \times 0,68 \times 82 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 40 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 59 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 59 \times 5,12 = 1101,26\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,kasım} &= 0,8 \times 0,68 \times 67 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 27 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 41 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 41 \times 5,12 = 825,58\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_{s,aralık} &= 0,8 \times 0,68 \times 64 \times 11,4 + 0,8 \times 0,68 \times 22 \times 4,2 + 0,8 \times 0,68 \times 37 \\ &\times 5,12 + 0,8 \times 0,68 \times 37 \times 5,12 = 761,57\end{aligned}$$

4.1.6 Kazanç kullanım faktörü

Kazanç kullanım faktörünün hesaplanabilmesi için öncelikle " KKO_{ay} " değerinin hesaplanması gerekmektedir. " $\theta_{e,ay}$ " değerleri çizelge 3.2'den ve " $\theta_{i,ay}$ " değerleri çizelge 3.3'ten alınmaktadır. Toplam ısı kaybı değeri hesaplanmış olduğuna göre kazanç kullanım faktörü ve " KKO_{ay} " değerleri denklem 4.9 ve 4.10'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (4.9)$$

$$KKO_{ay} = \frac{\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}}{H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})} \quad (4.10)$$

$$KKO_{ocak} = \frac{1555,2 + 871,30}{518,91(19 - 2,9)} = 0,29$$

$$KKO_{şubat} = \frac{1555,2 + 1089,82}{518,91(19 - 4,4)} = 0,35$$

$$KKO_{mart} = \frac{1555,2 + 1312,64}{518,91(19 - 7,3)} = 0,47$$

$$KKO_{nisan} = \frac{1555,2 + 1473,69}{518,91(19 - 12,8)} = 0,94$$

$$KKO_{mayıs} = \frac{1555,2 + 1719,74}{518,91(19 - 18)} = 6,31$$

$KKO_{mayıs}$ değeri 2,5'dan büyük olduğu için mayıs ayında ısı kaybı olmadığı kabul edilecektir. Mayıs ayı için ısıtma enerjisi hesaplanmayacaktır.

$$KKO_{haziran} = \frac{1555,2 + 1815,46}{518,91(19 - 22,5)} = 0$$

$$KKO_{temmuz} = \frac{1555,2 + 1764,49}{518,91(19 - 24,9)} = 0$$

$$KKO_{ağustos} = \frac{1555,2 + 1644,25}{518,91(19 - 24,3)} = 0$$

$$KKO_{eylül} = \frac{1555,2 + 1370,45}{518,91(19 - 19,9)} = 0$$

Haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ısıtma enerjisi ihtiyacı olmadığından kazanç kullanım faktörü hesaplamaya gerek yoktur.

$$KKO_{ekim} = \frac{1555,2 + 1101,26}{518,91(19 - 14,1)} = 1,04$$

$$KKO_{kasım} = \frac{1555,2 + 825,58}{518,91(19 - 8,5)} = 0,44$$

$$KKO_{aralık} = \frac{1555,2 + 761,57}{518,91(19 - 3,8)} = 0,29$$

$$\eta_{ocak} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,29})} = 0,968$$

$$\eta_{şubat} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,35})} = 0,943$$

$$\eta_{mart} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,47})} = 0,880$$

$$\eta_{nisan} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,94})} = 0,654$$

$$\eta_{mayıs} = 0$$

$$\eta_{haziran} = 0$$

$$\eta_{temmuz} = 0$$

$$\eta_{ağustos} = 0$$

$$\eta_{eylül} = 0$$

$$\eta_{ekim} = 1 - e^{(-\frac{1}{1,04})} = 0,616$$

$$\eta_{kasım} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,44})} = 0,899$$

$$\eta_{aralık} = 1 - e^{(-\frac{1}{0,29})} = 0,967$$

4.1.7 Isıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması

Isıtma enerjisi ihtiyacı denklem 4.11'deki gibidir.

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'deki hesaplamalara göre her ay için gereken ısıtma enerjisi hesaplanmaktadır.

$$Q_{ocak} = [518,91 \times (19 - 2,9) - 0,968 \times (1555,2 + 871,30)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 15566539,42$$

$$Q_{şubat} = [518,91 \times (19 - 4,4) - 0,943 \times (1555,2 + 1089,82)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 13172484,34$$

$$Q_{mart} = [518,91 \times (19 - 7,3) - 0,880 \times (1555,2 + 1312,64)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 9198304,59$$

$$Q_{nisan} = [518,91 \times (19 - 12,8) - 0,654 \times (1555,2 + 1473,69)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 3202311,139$$

$$Q_{mayıs} = 0$$

$$Q_{hazir} = 0$$

$$Q_{temmuz} = 0$$

$$Q_{ağustos} = 0$$

$$Q_{eylül} = 0$$

$$Q_{ekim} = [518,91 \times (19 - 14,1) - 0,616 \times (1555,2 + 1101,26)] \times 86400 \\ \times 30 \times 10^{-3} = 2348993,238$$

$$Q_{kasım} = [518,91 \times (19 - 8,5) - 0,899 \times (1555,2 + 825,58)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 8577618,771$$

$$Q_{aralıs} = [518,91 \times (19 - 3,8) - 0,967 \times (1555,2 + 761,57)] \times 86400 \times 30 \\ \times 10^{-3} = 14638890,22$$

$$Q_{toplsm} = 15566539,42 + 13172484,34 + 9198304,59 + 3202311,139 \\ + 2348993,238 + 8577618,771 + 14638892,22 \\ = 66705143,72 \text{ kJ}$$

$$1\text{kJ} = 0,278 \times 10^{-3}\text{kWh}$$

$$66705143,72\text{kJ} = 18544,03\text{kWh}$$

Binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, hesaplanan ısıtma enerjisinin binanın ısıtılan brüt hacmine bölünmesiyle bulunur ve TS 825'de belirtilen birim hacim başına düşen maksimum ısıtma enerjisi ile karşılaştırılır.

$A_{top}/V_{brüt}$ oranı 0,2 ile 1,5 arasında olduğundan çizelge 3.8'deki formül kullanılarak denklem 4.12'de olduğu gibi birim hacim başına düşen maksimum ısıtma enerjisi hesaplanır.

$$Q' = 20,3 \times \frac{A_{top}}{V_{brüt}} + 4,7 \frac{kWh}{m^3}, yıl \quad (4.12)$$

$$Q = \frac{18544,03}{972} = 19,08 \frac{kWh}{m^3}, yıl$$

$Q > Q'$ olduğundan binada uygulanan ısı yalıtım sistemi yetersiz gözükmektedir. Tez çalışmasında, TS 825'de belirlenmiş olan maksimum ısıtma enerjisi değerinin üzerinde çıkan sonuçlar TS 825 tarafından yeterli görülmedikleri için dikkate alınmamıştır. Optimizasyon aşamasında yalnızca TS 825'e göre uygun olan ısı yalıtım projeleri üzerinde çalışılmıştır.

Örnek hesaplamalara göre her yalıtım malzemesi ve kalınlıkları arasından tercihler yapılarak optimizasyon problemi çözülmeye çalışılmıştır. Buna göre en düşük maliyetli ve yüksek ısı kayıp değerine sahip çözüm kümesi ile en yüksek maliyetli ve düşük ısı kayıp değerine sahip çözüm kümeleri ve ısı kaybı-maliyet değerlerinin

optimum olduğu üç adet toplamda beş adet çözüm kümesi üzerinde yorumlama yapılmıştır. Karar vericinin uygun ısı yalıtım projesini belirleyebilmesi için yıllık ısıtma ve işletme maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Genetik algoritma ile optimizasyon problemi çözülürken ısıtma ve işletme maliyetleri hesaba katılmamıştır ancak yakıt tipine göre üç farklı ısıtma sisteminin ısıtma ve işletme maliyetleri hesaplanarak karar vericinin dikkatine sunulmuştur. Tez çalışmasında yalıtım sistemi tercihi yapılırken ısıtma sisteminden dolayı meydana gelen maliyetler de ayrıca irdelenmiştir.

4.1.8 Isı kaybını önlemek için kullanılan yalıtım sisteminin maliyeti

Örnek hesaplamalarda tercih edilen ısı yalıtım sisteminin maliyetlerinin hesapları bu bölümde yapılmıştır. Seçilen her malzemeye ve malzemelerin kullanım miktarlarına göre piyasa araştırması yapılarak malzemelerin ve işçiliklerinin fiyat bilgileri edinilmiştir. Malzemelerin cinsine ve kalınlığına göre yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları değişmekte ve bu farklılıklar maliyetlere yansımaktadır.

4.1.8.1 Duvar

Duvar yapı bileşenini oluşturan her katman için işçilik ve malzeme fiyatları hesaplanmıştır. Çizelge 4.10'da duvar yapı bileşeninin toplam fiyatı bulunmaktadır.

Çizelge 4.10 : Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları

Katman	Malzeme	Maliyet
İç Sıva	Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış harçlar	₺ 5.950,11
Duvar	Tuğla Duvar	₺ 12.016,71
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	₺ 14.388,00
Yalıtım Malzemesi	Cam Yünü (040)	₺ 10.019,21
Sıva	Yalıtım Malz. Üstü Sıva (Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları)	₺ 5.236,00
Toplam Maliyet		₺ 47.610,03

4.1.8.2 Taban

Taban yapı bileşenini oluşturan katmanların işçilik ve malzeme fiyatları toplamaları çizelge 4.11 ve 4.12'deki gibidir.

Çizelge 4.11 : Toprağa temas eden taban yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları

Katman	Malzeme	Toplam Maliyet
Yer Döşemesi	Linolyum	₺ 2,380.00
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	₺ 4,964.00
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	₺ 663.00
Şap	Çimento Harçlı Şap	₺ 360.40
Toplam Maliyet		₺ 8,367.40

Çizelge 4.12 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları

Katman	Malzeme	Toplam Maliyet
Yer Döşemesi	Linolyum	₺ 3,535.00
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	₺ 6,413.50
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	₺ 984.75
Şap	Çimento Harçlı Şap	₺ 535.30
Toplam Maliyet		₺ 11,468.55

4.1.8.3 Tavan

Tavan yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları çizelge 4.13'deki gibidir.

Çizelge 4.13 : Tavan yapı bileşenini oluşturan katmanların fiyatları

Katman	Malzeme	Toplam Maliyet
Sıva	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	₺ 1.456,93
Betonarme	Betonarme Kolon-Perde	₺ 11.328,40

Çizelge 4.13 (devam) : Tavan yapı bileşenini oluşturan katanların fiyatları

Katman	Malzeme	Toplam Maliyet
Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü (040)	₺ 1.739,40
Toplam Maliyet		₺ 14.524,73

4.1.8.4 Pencere

Örnek hesaplamalarda tek camlı ve 2 odacıklı PVC doğrama seçilmiştir. Binanın tüm pencere ve doğramalarının maliyeti 5,000.00 TL'dir.

4.1.8.5 Kapı

Örnek hesaplamalarda ağaç kapı seçilmiştir. Kapının maliyeti 850.00 TL'dir.

Isı yalıtım sistemini meydana getiren yapı bileşenlerinin toplam maliyeti çizelge 4.14'deki gibidir.

Çizelge 4.14 : Örnek hesaplamalar için yapı bileşenlerinin toplam maliyeti

Yapı Bileşeni	Maliyet
Duvar	₺ 47.610,03
Taban-Toprağa Temas Eden	₺ 8.367,40
Taban-Isıtılmayan İç Ortama Bitişik	₺ 11.468,55
Tavan	₺ 14.524,73
Pencere	₺ 5.000,00
Kapı	₺ 850,00
Toplam Maliyet	₺ 87.820,71

Yapı bileşenlerinin toplam maliyeti 87,820.71 TL olarak hesaplanmıştır. Örnek hesaplamalarda yapı bileşeni katman seçimleri TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardında belirtilen kabul edilebilir ısıtma enerjisi değerlerini sağlayamamaktadır. Tez çalışmasında TS 825'in belirtmiş olduğu değerleri sağlayamayan seçenekler

dikkate alınmamıştır. Örnek hesapta yapıldığı gibi tüm seçenekler excel dosyasında yapılmış ısı kaybı ve maliyet analizi genetik algoritma yöntemiyle optimize edilmiştir.

4.2 Optimizasyon Modelinin Vaka Çalışmasına Uygulanması

Vaka çalışmasında birincil amaç, çalışmaya konu olan binanın ısı kaybını optimum seviyeye indiren ısı yalıtım sistemini bulmaktır.

4.2.1 Genetik Algoritma Yöntemi

Genetik algoritma 1970'li yılların başında ilk olarak John Holland tarafından geliştirilmiştir (Winter ve ark., 1996). Genetik algoritmalar, kullanıldıkları problem için bir dizi çözüm ortaya sunmaktadır. Ortaya sunulan çözümlerin elde edilmesi aşamasında genetik algoritmalar ilk buldukları çözümleri geliştirmek için biyolojik evrime benzer bir süreç kullanmaktadır (Rahimi ve Iranmanesh, 2008). Problemin çözümü için başlangıç popülasyonu yaratılarak sürece başlanılmış olur. Genetik algoritmada her çözüm adayı kromozom olarak adlandırılmaktadır. Kromozomları oluşturan değişkenlere ise gen adı verilir. Kısacası problemdeki karar değişkenleri gen olarak adlandırılmaktadır ve genlerin birleşimiyle çözüm adayı olan kromozomlar oluşmaktadır. Genetik algoritmalarda dört ana adım kullanılmaktadır. Bu adımların ilki başlangıç popülasyonu yaratmaktır. Başlangıç popülasyonu yaratıldıktan sonra popülasyonun uygunluğunun belirli kurallara bağlı kalarak maksimize veya minimize edilmesi ikinci adımı oluşturmaktadır. Minimizasyon veya maksimizasyon amaç fonksiyonu kullanılarak yapılmaktadır. Üçüncü adım ise amaç fonksiyonu kullanılarak oluşturulan genlerden rastgele seçim yapılması ve bu işlemi takiben yeni bireylerin (kromozomların) oluşturulmasıdır. Dördüncü ve son adım, bireyler üzerinde mutasyon uygulanarak üretilen yeni nesil bireyler için çeşitliliğin sağlanmasıdır (Tavakolan ve Ashuri, 2012).

Tez çalışmasında genetik algoritma yönteminin tercih edilmesinin en önemli nedeni çözüm için oluşturulması gereken çok amaçlı optimizasyon modeli ve problemi oluşturan amaç fonksiyonlarının birbirleriyle çelişmesidir. Bunun yanında çözüm kümesinin çok sayıda kombinasyondan meydana gelmesi ve problemdeki değişkenlerin farklı hiyerarşik seviyelerden oluşması genetik algoritmanın tercih edilmesini pekiştiren nedenlerden olmuştur.

Çözüm sayısının fazla olmasından dolayı tekrar eden işlemlerden kaçınmak ve zamandan tasarruf sağlamak için modifiye edilmiş genetik algoritma kullanılmıştır (NSGA 2). Tez çalışmasında oluşturulan çok amaçlı optimizasyon modelinin popülasyon boyutu 50 olarak tercih edilmiştir. Çaprazlama için simple one point ve mutator için simple by gene uygun görülmüştür. Çaprazlama ve mutasyon için oranlar sırasıyla 0,95 ve 0,05 olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Vaka çalışması uygulaması

Vaka çalışmasında kullanılan bina, üç katlı, müstakil, giriş katında garajı ve dolayısı ile ısıtılmayan iç hacime sahip aile evi olarak kullanılacaktır. Dört adet oda, bir adet salon, bir adet mutfak, üç adet banyo ve garaj mahallerinden oluşan bina Trabzon'da bulunmaktadır. Binanın garaj katı 90m², zemin ve 1. katları ise 125m² oturma sahiptir. Binanın bütün katları merdiven tarafından birbirlerine bağlanmaktadır. Binanın iç yüksekliği tüm katlarda 2,7m'dir. Bina kabuğunu oluşturan katmanlar ve yalıtım seviyeleri önceki bölümlerde anlatılmıştır. Bina doğal havalandırmaya sahip olacak şekilde tasarlanmış, ısı köprüleri ihmal edilmiştir. Dış havadaki sıcaklık etkilerinden bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin yeterince korunacağı varsayılarak yoğunlaşma hesapları dikkate alınmamıştır.

Tez çalışmasında amaç ısı kaybını minimuma indiren optimum bina dış kabuğu yapı bileşenlerinin bulunmasıdır. Denklem 4.13 optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunu belirtmektedir.

$$f \rightarrow \text{Minimizasyon } (f_{\text{ısı kaybı}}, f_{\text{maliyet}}) \quad (4.13)$$

Tez çalışmasındaki duvar yapı bileşeni çizelge A.1, çizelge A.2, çizelge A.3 ve çizelge A.4'te belirtildiği gibi dört adet katmandan meydana gelmektedir. Sırasıyla iç sıva için altı adet seçenek, duvar için altı adet seçenek, yalıtım malzemesi için altı adet seçenek ve dış cephe sıvası için altı adet seçenek vardır. Betonarme kolon-perde elemanlarının alternatifi olmadığı ve duvarda kullanılan yalıtım sisteminin kolon-perde elemanlarında da kullanılması gerektiği için betonarme elemanların yalıtım sistemleriyle ilgili seçim yapma durumu yoktur.

Taban yapı bileşeni toprak temaslı ve ısıtılmayan iç ortama bitişik olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. İki taban yapı bileşeni içinde farklı yalıtım sistemleri düşünülebileceğinden ve dış yüzey ısı transfer değerleri farklı olduğundan iki ayrı yapı bileşeni olarak düşünülmüşlerdir. Çizelge A.5, çizelge A.6, çizelge A.7 ve

Çizelge A.8'de belirtildiği gibi toprağa temas eden taban yapı bileşeni dört katmandan oluşmaktadır. Yer döşemesi için üç adet, betonarme döşeme için bir adet, yalıtım malzemesi için altı adet ve şap için iki adet seçenek mevcuttur. Çizelge A.9, çizelge A.10, çizelge A.11 ve çizelge A.12'de ise ısıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni katmanlarıyla ilgili bilgi verilmiştir. Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin ilk katmanı olan yer döşemesi için üç adet, betonarme döşeme için 30cm kalınlığında bir adet, yalıtım malzemesi için altı adet ve şap imlatları için iki adet seçenek mevcuttur.

Tavan yapı bileşeninin katmanları çizelge A.13, çizelge A.14 ve çizelge A.15'te belirtilmiştir. Sıva için iki adet, betonarme döşeme için bir adet, yalıtım malzemesi için ise altı adet seçenek vardır.

Pencere sistemleri doğrama ve camdan oluşmaktadır. Her doğrama için üç adet seçenek belirtilmiştir. 2, 3, 4, 5 ve 6 odacıklı PVC doğramalar tek cam, çift cam camlar arası boşluk 12mm ve çift cam camlar arası boşluk 16mm olmak üzere toplam onbeş adet seçenek vardır. Pencere sistemleri çizelge 4.5'te belirtilmiştir.

Tez çalışması için seçilen binanın bir adet giriş kapısı vardır. Kapı için ahşap-plastik, metal ısı yalıtımlı ve metal ısı yalıtımsız olmak üzere üç seçenek belirlenmiştir. Çizelge 4.7 kapı sistemleri ile ilgili bilgileri içermektedir.

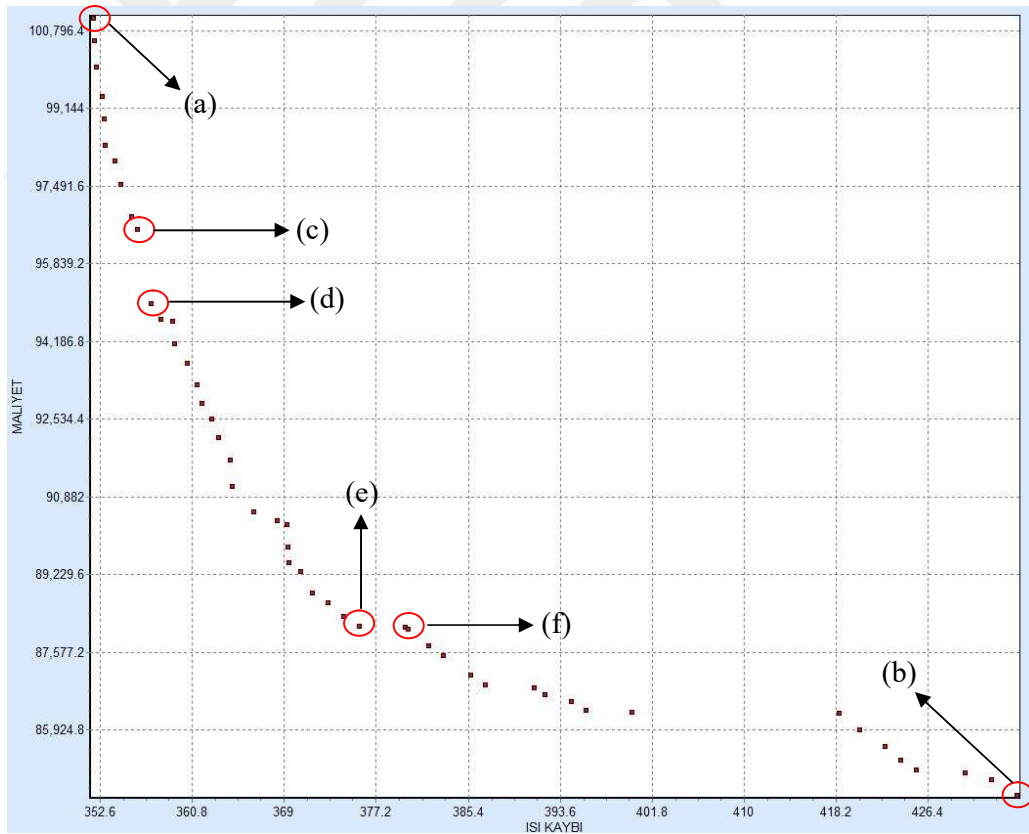
Yukarıda belirtilen tüm seçenekler optimizasyon probleminde kullanılmıştır. Çok sayıda çözüm içerisinde en yakını olan seçenekler belirlenmiştir. Bilgisayar yardımı ve genetik algoritma olmadan yapılması mümkün olmayan çalışmalar neticesinde yalıtım sistemlerinin ısı kaybı hesapları ve aynı anda maliyet analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.15 vaka çalışmasında ele alınan optimal çözüm kümelerini belirten kromozom ve genleri göstermektedir.

Çizelge 4.15 : Vaka çalışmasında ele alınan potansiyel çözüm kümeleri

Isı Yalıtım Sistemleri													
Kromozom	Duvar				Toprağa temas eden taban		İç ortama bitişik taban		Tavan	Pencere	Kapı		
a	3	3	2	2	2	1	6	2	2	1	6	3	1
b	4	2	1	1	1	1	4	1	1	1	3	2	1
c	1	3	2	1	2	1	6	2	2	1	6	3	1
d	4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	3	1
e	4	2	2	1	1	1	3	1	1	1	4	3	1
f	4	3	2	1	2	1	6	1	2	1	6	3	1

Şekil 4.3 genetik algoritma ile bulunmuş optimum çözüm kümesi sonuçlarını vermektedir. Şekil 4.3'te işaretlenmiş noktalar sonuç bölümünde yorumlanacaktır.



Şekil 4.3 : Genetik algoritma çözüm kümesi

Genetik algoritmadaki optimizasyon modeline göre 50 adet ısı yalıtım projesi belirlenmiştir. Isı kaybının en az olduğu durumda toplam ısı kaybı 352,00W/K'dır.

Bu durumda ısıtma sisteminin maliyeti 101.063,51TL'dir (a). En az ısı kaybının elde edildiği durumda duvar yapı bileşeninin iç sıva katmanı 3cm kalınlığında genişleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış sıva harcından, duvar katmanı 25cm kalınlığında gazbetondan, yalıtım malzemesi 10cm kalınlığında cam yünü ve dış sıva katmanı 2cm kalınlığında anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harcından meydana gelmektedir. Toprağa temas eden taban yapı bileşeninin yer döşemesi katmanı 2,5cm kalınlığında mantarlı linolyum, yalıtım malzemesi katmanı 5cm kalınlığında ekspande polistren köpük ve şap katmanı 7cm kalınlığında çimento esaslı şap olarak seçilmiştir. Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin yer döşeme katmanı mantarlı linolyum, yalıtım malzemesi kalınlığı 5cm olan ekspande polistren köpük ve şap katmanı 7cm kalınlığında çimento esaslı şap olarak belirlenmiştir. Tavan yapı bileşeninin iç sıva katmanı için 2cm kalınlığında kireçli alçı sıva, yalıtım malzemesi için 10cm kalınlığında ekspande polistren köpük seçilmiştir. Pencere 2 odacıklı PVC doğrama ve ara boşlukları 16mm olan kaplamalı çift camlardan seçilmiştir. Kapılar ise ağaç veya plastik kapı olarak belirlenmiştir. En az ısı kaybı için yalıtım sistemi maliyetlerinin maksimum olması gerçekleşmesi beklenen bir sonuç olarak yorumlanmıştır.

Maliyetin minimum olduğu durumda ise ısı kaybının maksimum olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ısı kaybının maksimum değeri 434,29W/K olduğu durumda maliyet 84.539,26TL'dir (b). Bu durumda duvar yapı bileşenini oluşturan katmanlardan iç sıva 1cm kalınlığında kireçli alçı harcı olarak seçilmiştir. Duvar 13,5cm kalınlığında tuğladan örülmüş, yalıtım malzemesi için 7cm kalınlığında cam yünü uygun görülmüştür. Duvar yapı bileşeninin son katmanı olan dış cephe sıvası için ise 1cm kalınlığında anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harcı uygulanmıştır. Bu durumda duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı 0,43W/mK'dır. Duvar yapı bileşeninin minimum ısı kayıplı çözüm kümesindeki değeri 0,267W/mK olarak hesaplanmıştır. Toprağa temas eden taban yapı bileşeninin yer döşemesi katmanı 2cm linolyumdan meydana gelmektedir. Linolyumun ısıl iletkenlik hesap değeri 0.17W/mK, kalınlığı 2cm'dir. Yalıtım malzemesi olarak 5cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük tercih edilmiştir. Betonarme döşeme 40cm kalınlığındadır ve tek seçenektir. Şap ise 5cm kalınlığında ve çimento harçlıdır. Bu durumda toprağa temas eden taban yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik katsayısı 0,58W/m²K'dır. Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin toprağa temas

eden taban yapı bileşeni ile farkı yüzeysel ısı transfer dirençlerinden kaynaklanmıştır. Tüm katman seçimleri aynı olan iki taban yapı bileşeninin dış yüzeyleri farklı ortamlarla etkileşim halinde olduğu için ısı geçirgenlik katsayıları farklı çıkmıştır. Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,57\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Tavan yapı bileşeninin ilk katmanı 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Betonarme döşeme tek seçenek olduğu için alternatifi bulunmamaktadır. Yalıtım malzemesi olarak 7cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük tercih edilmiştir. Bu durumda tavan yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,48\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi tez çalışmasına konu olan bina kullanılmayan çatı arasına sahiptir dolayısı ile ısı kaybı hesaplarında tavan yapı bileşeninden oluşan ısı kaybı hesaplanırken tavan yapı bileşeninin ısı geçirgenlik değeri 0,8 katsayısı ile çarpılarak bulunur. Pencere için 2 odacıklı PVC doğrama ve ara boşluğu 12mm olan kaplamalı çift cam seçilmiştir. Kapı ise ahşap kapı olarak belirlenmiştir.

Isı kaybının maksimum ve minimum olduğu iki durumda yapı bileşenleri ve yapı bileşenlerini oluşturan katmanlar ile ilgili bilgilendirme bir önceki paragrafta yapılmıştır. Isı kaybı ve maliyetin optimum değerlere daha yakın olduğu dört adet ısı yalıtım sistemi ile ilgili bilgiler bir sonraki paragrafta verilmiştir.

İlk olarak ısı kaybının $355,90\text{W/K}$ ve aynı yalıtım sistemine ait maliyetin $96.850,74\text{TL}$ olduğu durumu incelenecektir (c). Duvar yapı bileşenini oluşturan iç sıva katmanı için 1cm kalınlığında genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış sıva harcı seçilmiştir. Duvar için ise 25cm kalınlığında gazbeton uygun görülmüştür. Yalıtım malzemesi 10cm kalınlığında cam yünü ve yalıtım malzemesi üzerine uygulanan sıva ise iç sıva katmanında olduğu gibi 1cm kalınlığındadır. Duvar yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,277\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Duvar yapı bileşeni için ısı yalıtım sistemi için seçilen genlerin bu şekilde olduğu durumda kolon ve perdelerden hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı $0,35\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmaktadır. Isı geçirgenlik katsayıları arasındaki fark betonarme elemanın ısı iletkenlik hesap değerinden kaynaklanmaktadır. Gazbeton ile kıyaslandığında betonarme elemanın ısı iletkenlik hesap değeri oldukça yüksektir. Toprağa temas eden taban ve ısıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşenleri için aynı genler seçilmiştir. Her iki yapı bileşeninde de yer döşemeleri için mantarlı linolyum, yalıtım malzemeleri için 5cm kalınlığında ekspande polistren köpük seçilmiştir ve şap

ımlatlarının kalınlıkları 7cm olarak tercih edilmiştir. Isıl geçirgenlik katsayıları ise sırasıyla $0,48\text{W/m}^2\text{K}$ ve $0,47\text{W/m}^2\text{K}$ 'dır. Tavan yapı bileşeninin ilk katmanı olan iç sıva kireçli alçı harcıdır ve 1cm kalınlığındadır. Yalıtım malzemesi ise 10cm kalınlığında ekspande polistren köpüktür. Doğramalar 2 odacıklı, camlar ise kaplamalı çift camdır. Camlar arası boşluk 16mm'dir. Kapı ahşap veya plastik olarak belirlenmiştir.

Isı kayıp miktarının $355,90\text{W/K}$ değerine yakın olduğu ısı yalıtım sisteminin maliyeti $94.995,5\text{TL}$ ve ısı kaybı $357,141\text{W/K}$ 'dır (d). Duvar yapı bileşeninin ilk katmanı iç sıva 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Duvar katmanı 25cm kalınlığında gazbeton olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemesi ise 10cm kalınlığında cam yünüdür. Duvar yapı bileşeninin son katmanı yalıtım malzemesi üzerine anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış dış sıva harcıdır ve kalınlığı 1cm'dir. Duvar yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik katsayısı $0,279\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Betonarme için ısıl geçirgenlik katsayısı ise $0,35\text{W/m}^2\text{K}$ 'dır. Bir önceki çözüm kümesinde olduğu gibi toprağa temas eden ve ısıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşenlerinin ikisinde katmanları aynı kalınlıkta malzemelerden meydana gelmiştir. Buna göre taban yapı bileşeninin ilk katmanı olan yer döşemesi mantarlı linolyumdur. Yalıtım malzemesi olarak 5cm kalınlığında ekspande polistren köpük seçilmiştir. Şap imalatı ise 5cm kalınlığında ve çimento harçlıdır. Taban yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları sırasıyla $0,48\text{W/m}^2\text{K}$ ve $0,47\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Tavan yapı bileşeninin iç sıva katmanı 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Yalıtım malzemesi 10cm kalınlığında ekspande polistren köpüktür. Doğramalar iki odacıklı PVC doğramalardan seçilmiştir ve kaplamalı çift camların arasındaki boşluk 16mm'dir. Kapılar ağaç veya plastik olarak seçilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü optimal çözüm kümeleri birinci ve ikinci çözüm kümeleri gibi birbirine yakın ısı kaybı değerlerinden oluşmaktadır. Üçüncü çözüm kümesinin sonucuna göre ısı kaybı $375,66\text{W/K}$ ve ısı yalıtım sisteminin maliyeti $88.135,2\text{TL}$ 'dir (e). Bu sistemde duvar yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik katsayısı $0,327\text{W/m}^2\text{K}$ 'dır. İlk katman olan iç sıva 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Duvar katmanı için 13,5cm kalınlığında tuğla duvar seçilmiştir. Yalıtım malzemesi 10cm kalınlığında cam yünüdür. Cam yünü üzerinde ise 1cm kalınlığında yalıtım malzemesi üstü sıva vardır. Toprağa temas eden ve ısıtılmayan iç ortama bitişik tabanların genleri aynıdır. Her ikisi içinde yer döşemeleri 2cm kalınlığında linolyum olarak belirlenmiştir.

Yalıtım malzemeleri için 5cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük seçilmiştir. Yalıtım malzemesinin üzerinde 5cm kalınlığında çimento harçlı şap vardır. Taban yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayıları sırasıyla $0,58\text{W/m}^2\text{K}$ ve $0,57\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Tüm katmanlar aynı malzemelerden oluşmalarına rağmen ısı geçirgenlik katsayıları arasındaki farkın nedeni dış taban yapı bileşenlerinin yüzeylerinin farklı ortamlara temas etmesidir. Çizelge 3.4'ten toprağa temas eden taban için dış yüzey ısı direnci $0\text{m}^2\text{K/W}$, ısıtılmayan iç ortama bitişik taban için ise dış yüzey ısı direnci $0,04\text{m}^2\text{K/W}$ olarak alınmıştır. Tavan yapı bileşeninin iç sıva katmanı 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Yalıtım malzemesi ise 7cm kalınlığında ekstrüde polistren köpüktür. Tavan yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,35\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Doğramalar 2 odacıklı PCV doğrama, camlar ise kaplamalı çift camdır. Camlar arası boşluk 16mm'dir. Kapı, çözüm kümelerinin büyük bir bölümünde olduğu gibi ağaç veya plastik olarak seçilmiştir.

Isı kaybının $379,77\text{W/K}$ ve ısı yalıtım sistemi maliyetinin 88.108,00TL olduğu kromozom ortalama değerlerin elde edildiği dördüncü çözüm kümesidir (f). Bu bireyde duvar yapı bileşeninin iç sıva katmanı 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Duvar için 13,5cm kalınlığında tuğla seçilmiştir. Yalıtım malzemesi 10cm kalınlığında cam yünüdür ve yalıtım malzemesi üzerine 1cm kalınlığında anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harcı uygulanmıştır. Duvar yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,327\text{W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Toprağa temas eden yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,83\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Toprağa temas eden taban yapı bileşeninin ilk katmanı yer döşemesi 2cm kalınlığında linolyumdan meydana gelmektedir. Yalıtım malzemesi 3cm kalınlığında ekstrüde polistren köpüktür. Şap imalatı ise 5cm kalınlığında ve çimento esaslıdır. Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,57\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Yer döşemesi için 2cm kalınlığında linolyum tercih edilmiştir. Yalıtım malzemesi 5cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük olarak belirlenmiştir. Çimento esaslı şap imalatı 5cm kalınlığında uygulanmıştır. Tavan yapı bileşeninin iç sıva katmanı 1cm kalınlığında kireçli alçı harcıdır. Yalıtım malzemesi için ise 10cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük seçilmiştir. Bu durumda tavan yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı $0,35\text{W/m}^2\text{K}$ olmuştur. Doğramalar 2 odacıklı PVC doğrama, camlar kaplamalı çift cam ve camlar arası boşluk 16mm olarak belirlenmiştir. Kapı ağaç veya plastik olarak seçilmiştir.

4.3 Binanın Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti

Bina için ısıtma sistemi maliyetinin yanında yıllık ısıtma enerjisi giderleri de hesaplanmalıdır. Isıtma enerjisi giderleri göz önünde bulundurulduğunda ısı yalıtım sisteminin belirlenmesi daha doğru olacaktır. Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti hesaplanırken yapının ömür boyu maliyetinin analizi yapılmıştır. İşletme maliyetlerinin hesaplanmasında gelecekte oluşması beklenen maliyetlerin indirgenme faktörü kullanılarak günümüzdeki değerleri hesaplanmıştır.

Yapının kullanım ömrü boyunca oluşacak ısıtma giderlerinin günümüzdeki değerlerinin hesaplanmasında bugünkü değer analizi kullanılmıştır. Bugünkü değer faktörü faiz ve enflasyon oranlarını içererek enflasyona göre belirlenmiştir. Bugünkü değer faktörünün faiz ve enflasyon oranına göre hesaplanabilmesi için denklem 4.13 kullanılmaktadır. Bina'nın kullanım ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir.

$$BD = YIG \times \frac{(1+i^*)^{y\ddot{o}} - 1}{i^* \cdot (1+i^*)^{y\ddot{o}}} \quad (4.13)$$

BD : Gelecekte oluşacak maliyetlerin bugünkü değeri

YIG : Yıllık ısıtma gideri

i^* : $(i-g)/(1+g)$, eğer $(i>g)$ veya

i^* : $(g-i)/(1+i)$, eğer $(g<i)$,

i : Faiz oranı,

g : Enflasyon oranı,

$y\ddot{o}$: Yapı ömrü (Mearig ve ark.)

Isı yalıtım sistemlerinin yıllık ısıtma maliyetlerinin hesabında üç farklı yakıt tipi kullanan ısıtma sistemleri kullanılmıştır. Bunlar fuel oil, elektrik ve kömürdür. Isıtma enerjisinin üretilmesi için gereken yakıt miktarı denklem 4.14'deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$B_y = \frac{Q_{toplam} \times 1,3}{2 \times H_u \times \eta_k} \quad (4.14)$$

B_y : Isıtma enerjisi üretmek için gereken yakıt miktarı

Q_{toplam} : Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

H_u : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri

η_k : Kazan (yakıt tipine göre) verimi (Bostancıoğlu, 2011)

Çizelge 4.16 kullanılan yakıt tipine göre ısıtma sistemi özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.16 : Yakıt tipine göre ısıtma sistemi özellikleri

Kullanılan Yakıt Özellikleri	Birim	Birim Fiyat	Hu (Kj/b.Yakıt)	Kazan Verimi (η)
Doğal Gaz	m3	1.374	34450	0.85
Fuel Oil	kg	2.78	40500	0.65
Kömür	kg	0.65	25000	0.6
Elektrik	kwh	0.41	3600	1

Bölüm 4.2.2'de uygulanan optimizasyon modelinin sonucuna göre elde edilen altı adet ısıtma sisteminin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı çizelge 4.17'deki gibidir.

Çizelge 4.17 : Yalıtım sistemlerine göre ısıtma enerjisi ihtiyacı

Birey	Isı Kaybı	Isıtma Sistemi Maliyeti (TL)	Isıtma Enerjisi (kJ)
a	352	₺101,063.51	41011540.11
b	434.294	₺84,539.30	55776313.9
c	355.9	₺96,850.74	41691888.93
d	357.14	₺94,995.50	41909450.85
e	375.66	₺88,135.20	45175012.22
f	379.77	₺88,108.00	45905442.71

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre yalıtım sistemlerinin yıllık ve yapı kullanım ömrü boyunca ısıtma enerjisi üretmek için oluşacak yakıt giderleri çizelge 4.18'deki gibidir.

Çizelge 4.18 : Yakıt tipine göre oluşacak ısıtma giderleri

Birey	Yıllık Gider (TL)			Kullanım Ömrü Boyunca Toplam Gider (25 yıl) (TL)		
	Kömür	Fuel Oil	Elektrik	Kömür	Fuel Oil	Elektrik
a	₺1,688.31	₺2,815.11	₺3,035.99	₺10,913.48	₺18,197.31	₺19,625.11
b	₺2,296.12	₺3,828.60	₺4,129.00	₺14,842.49	₺24,748.62	₺26,690.45

Çizelge 4.18 (devam) : Yakıt tipine göre oluşacak ısıtma giderleri

Birey	Yıllık Gider (TL)			Kullanım Ömrü Boyunca Toplam Gider (25 yıl) (TL)		
	Kömür	Fuel Oil	Elektrik	Kömür	Fuel Oil	Elektrik
c	1,716.32	2,861.81	3,086.36	11,094.52	18,499.19	19,950.68
d	1,725.27	2,876.75	3,102.46	11,152.42	18,595.72	20,054.79
e	1,859.70	3,100.90	3,344.21	12,021.41	20,044.69	21,617.44
f	1,889.77	3,151.04	3,398.28	12,215.78	20,368.79	21,966.98

Çizelge 4.19 ise yakıt tipine göre ısıtma sistemlerinin yıllık bakım maliyetlerini göstermektedir.

Çizelge 4.19 : Yakıt tipine göre oluşacak bakım maliyetleri

Yıllık Bakım Maliyeti (TL)			Kullanım Ömrü Boyunca Toplam Bakım Maliyeti (25 yıl) (TL)		
Kömür	Fuel Oil	Elektrik	Kömür	Fuel Oil	Elektrik
1,200.00	800.00	200.00	7,756.98	5,171.32	1,292.83

Çizelge 4.20'de yıllık ve yapı kullanım ömrü boyunca ısıtma enerjisi ihtiyacını karşılamak için oluşacak yakıt ve bakım maliyetleri toplamı gösterilmiştir.

Çizelge 4.20 : Yakıt ve bakım giderleri toplamı

Birey	Yıllık Toplam Gider (Yakıt + Bakım) (TL)			Kullanım Ömrü Boyunca Toplam Gider (Yakıt + Bakım) (25 yıl) (TL)		
	Kömür	Fuel Oil	Elektrik	Kömür	Fuel Oil	Elektrik
a	2,888.31	3,615.11	3,235.99	18,670.46	23,368.63	20,917.94
b	3,496.12	4,628.60	4,329.00	22,599.47	29,919.94	27,983.28
c	2,916.32	3,661.81	3,286.36	18,851.50	23,670.51	21,243.51
d	2,925.27	3,676.75	3,302.46	18,909.40	23,767.04	21,347.62
e	3,059.70	3,900.90	3,544.21	19,778.39	25,216.01	22,910.27
f	3,089.77	3,951.04	3,598.28	19,972.76	25,540.11	23,259.81

Tüm yalıtım sistemleri için ısıtma sistemi giderleri toplamı hesaplanmıştır. Isı kaybıyla doğru orantılı bir şekilde ısıtma sistemi maliyetleri artmaktadır. Kömürün yakıt olarak kullanıldığı ısıtma sistemlerinin fuel oil ve elektrikli yakıt sistemlerine

göre maliyetlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Uluslararası Finans Kurumu tarafından Türkiye'deki projelere ülke ve proje riskleri dikkate alınarak ortalama %15 faiz uygulanmaktadır. Bugünkü değer analizinde kullanılan iskonto oranı %15 olarak kabul edilmiştir.





5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bina sektöründeki enerji kullanımını enerji verimliliği yüksek konutlar inşa ederek azaltabilmek mümkün gözükmemektedir. Türkiye'de kullanılan enerjinin yaklaşık %40'ı binalarda tüketilmekte olup bunun yaklaşık %55-65'i binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Ülkemiz ve gelişmiş ülkeler enerji verimliliğini enerji arzı olarak kabul etmektedirler. Enerji üretiminin verimli hale getirilmesi çevre kirliliği sorunlarının çözümüne de önemli katkılar sağlamaktadır. Binaların enerji tüketimindeki payı göz önünde bulundurulduğunda, binalarda tüketilen enerjinin verimli kullanılmasının önemi daha açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Ülkeler enerji verimliliği ile ilgili yasalar ve uyulması gereken standartlar geliştirerek enerji bağımlılıklarını azaltmaya ve bireylerin yaşam konforlarını arttırmaya çalışmaktadırlar.

Tez çalışmasında, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında belirlenmiş hesaplama metodu kullanılarak Trabzon'da bulunan yapım aşamasındaki binanın farklı dış kabuk tasarımlarına göre ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bina dış kabuğunu oluşturan duvar, taban, tavan, pencere ve kapı yapı bileşenlerini oluşturan tüm katmanlar göz önünde bulundurularak katmanları oluşturan malzemeler ve malzemelerin kalınlıklarına göre maliyetleri piyasa araştırması yapılarak elde edilmiştir. Buna göre her katmanın binanın ısı kaybına olan etkisi araştırılmıştır ve ısı kaybını azaltmak için optimum yalıtım sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Her yapı bileşeni ve yapı bileşenini oluşturan katmanlar dikkate alındığı için çözüm kümesi milyonlarca opsiyona sahiptir. Bu aşamada bilgisayar destekli karar verme yöntemlerinden genetik algoritmanın kullanılması uygun görülmüştür. Isı yalıtım sistemini oluştururken iki adet amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonlarından ilki ısı kaybını minimize etmeye çalışmaktadır. İkincisi ise yalıtım sistemi maliyetini minimize etmektedir. Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonucunda 50 adet ısı yalıtım sisteminin ısı kaybı-maliyet ilişkisi şekil 4.3'te gösterilmiştir. Isı yalıtım sistemleri arasından optimuma en yakın durumlar seçilerek üzerlerinde dikkatle durulmuş, karar vericinin seçim yapabilmesi için

yorumlanmıştır. Optimizasyon aşamasında ısıtma enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyaçtan dolayı oluşacak giderler dikkate alınmamıştır. Optimizasyon sonrasında kullanılacak yakıt tipine göre ısı yalıtım sistemlerinin yıllık ve yapı ömrü boyunca oluşacak ısıtma ve bakım giderleri hesaplanmıştır. Yapı ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir. Gelecekte oluşması beklenen giderlerin günümüzdeki değerleri belirlenirken iskonto oranı %15 olarak kabul edilmiş, yakıt cinsine göre oluşabilecek ilave zamlar dikkate alınmamıştır.

Çalışma neticesinde yapı bileşenlerinin alan büyüklüklerinin ısı kaybı hesaplarında etkili olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında ısı kaybı hesaplarında etkisi en fazla olan yapı bileşeninin duvar olduğu anlaşılmıştır. Duvar yapı bileşenini oluşturan katmanların yalıtım seviyesinin artırılması maliyet-ısı kaybı optimizasyonunda verimliliği en yüksek opsiyonlar olarak ortaya çıkmıştır. Alan büyüklüğünde duvar yapı bileşenini sırasıyla tavan ve taban yapı bileşenleri takip etmektedir. Tavan ve taban yapı bileşenlerinin ısıl iletkenlik katsayılarının artırılması bina ısı kaybının azaltılmasında önemli rol oynayacaktır.

Tez çalışması, binaların ısı yalıtım sistemlerinin TS 825'de belirtilen kurallara uyabilmeleri için pencere yapı bileşenlerinin çift camlı olmaları gerektiğini göstermektedir. Tez çalışmasında genetik algoritma ile elde edilen elli adet ısı yalıtım sisteminin tamamında çift camlı pencere sistemleri tercih edilmiştir. Tek camlı pencere sistemlerinin TS 825'de belirtilen ısıtma enerjisi sınır değerlerini sağlayamadığı anlaşılmıştır. PVC doğramalarda odacık sayısının ısı kaybına etkisi ise görece daha azdır. Yapılan araştırmalar neticesinde orta kalite PVC doğramaların odacık sayılarının yeterli olacağını göstermiştir.

Tez çalışması neticesinde elde edilen bir diğer sonuç ise binalarda ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmasının önemidir. Isı kaybını azaltmak için alınması gereken en öncelikli tedbir ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmasıdır. Yapı bileşenlerini oluşturan her katman için kullanılan malzemelerin ısı kaybına etkisi tespit edilmiştir bunun yanında enerji verimliliği yüksek binalar inşa etmek için mutlaka ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır. Tez çalışmasında örnek binanın ısı kaybını azaltmak için sıva, şap, döşeme ve hatta duvar malzemelerinin ve kalınlıklarının iyileştirilmesinden önce yalıtım malzemelerinin kalitesinin ve kalınlığının artırılmasının daha verimli olduğu anlaşılmıştır.

Isı kaybının minimum ve maksimum değerleri arasında geniş bir aralık söz konusudur. Isı yalıtım sistemi maliyetinin en yüksek olduğu durumda yapı ömrü süresince oluşacak yıllık ısıtma ve bakım giderlerinin net bugünkü değerler toplamı yakıt tipi elektrik olduğunda 20.917,94TL olarak hesaplanmıştır. Aynı ısı yalıtım sisteminde yakıt tipi olarak kömür kullanılması durumunda ise bu tutar 18.670,46TL, fuel oil kullanılması durumunda ise 23.368,63TL olarak hesaplanmaktadır. Isı yalıtım sistemi maliyetinin en düşük olduğu durumda ısı kaybı en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu durumda yıllık ısıtma ve bakım giderlerinin net bugünkü değerler toplamı ise elektrikli ısıtma sisteminde 27.983,28TL olarak hesaplanmıştır. Eğer yakıt tipi kömür olarak tercih edilseydi toplam ısıtma ve bakım giderleri 22.599,47TL, fuel oil olarak tercih edilseydi 29.919,94TL olarak meydana gelecekti. Isı kaybının minimum ve ısı kaybının maksimum olduğu iki ısı yalıtım sistemi arasındaki ısı kaybı farkının en önemli sebebi duvar yapı bileşenini oluşturan katmanlardır. Duvar yapı bileşeninin katmanlarından duvar ve yalıtım malzemesi kalınlıkları iki yalıtım sisteminin ısı kaybı hesaplarındaki farkın nedeni olmuştur. Vaka çalışmasına konu olan binanın dış ortamı ile iç ortamını ayıran en büyük alana sahip yapı bileşeninin duvar olduğu anlaşılmıştır. Ülkemizdeki bina envanteri dikkate alındığında binaların büyük kısmının duvar yapı bileşenlerinin alanlarının diğer yapı bileşenlerine göre fazla olduğu gözükmemektedir. Bu sebeple ısı kaybı hesaplarında duvar yapı bileşeninin ısıl iletkenlik katsayısı oldukça önemlidir. Isı kaybının minimize edilebilmesi için tüm katmanlardaki malzeme seçeneklerinden ısıl iletkenlik direnci en yüksek olanlar seçilmiştir. Isı kaybını minimuma indirmek için duvar 25cm kalınlığında gazbeton olarak tercih edilmiştir. Üzerinde ise 10cm kalınlığında cam yünü kullanılmıştır. Bununla birlikte iç sıva 3cm kalınlığında, dış sıva ise 2cm kalınlığında uygulanmıştır. Bu değerler iç ve dış sıvalar için maksimum kalınlık değerleridir. Isı kaybının en fazla olduğu ısı yalıtım sisteminde ise duvar için 13,5cm kalınlığında tuğla duvar ve üzerinde 7cm kalınlığında cam yünü uygulanmıştır. Sıva kalınlıkları ise minimumda tutulmuştur.

Binaların TS 825 tarafından belirlenmiş olan yıllık ısıtma enerjisi sınır değerlerini geçmemesi için pencerelerin ısıl iletkenlik katsayılarının yüksek olmaları gerekmektedir. Üzerinde durulan tüm ısı yalıtım sistemlerinde kullanılan pencereler çift camlıdır ve büyük bir kısmında camlar arası boşluk 16mm olarak seçilmiştir. Isı kaybının maksimum olduğu durumda bile kullanılan pencere sistemi çift camlıdır

fakat maliyetinin daha uygun olması için camlar arası boşluk 12mm olarak belirlenmiştir. Isı kaybının minimum olduğu yalıtım sisteminde ise camlar arası boşluk 16mm olarak tercih edilmiştir. Doğramalardaki odacık sayısının ısı iletkenlik katsayısına olan etkisinin oldukça az olduğu gözlenmiştir. Dolayısı ile en çok tercih edilen doğrama tipi 2 odacıklı olanlardır. Bunun yanında günümüzde binalarda en çok tercih edilen PVC doğramalarının 4 veya 5 odacıklı oldukları bilinmektedir.

Isı kayıp miktarlarının 355,90W/K ve 357,14W/K olduğu iki yalıtım sistemi bu paragrafta yorumlanmıştır. Isı kayıp miktarı minimum olduğu durumda 351,99W/K ve maksimum olduğu durumda 434,29W/K değerlerini almıştır. Dolayısı ile bu paragrafta incelenen yalıtım sistemlerindeki ısı kayıp miktarlarının minimum değere daha yakın olduğu gözükmemektedir. Bu iki yalıtım sistemi karşılaştırıldığında duvar yapı bileşenlerinin iç sıva katmanı hariç diğer katmanların aynı malzemelerden meydana geldiği görülmüştür. Isı kayıp miktarındaki fark duvar yapı bileşenindeki iç sıva malzemesi ve bu malzemenin kalınlığından dolayı oluşmuştur. Bunun yanında taban yapı bileşenindeki şap kalınlıklarında ısı kaybının farklı hesaplanmasında etkili olmuştur. İki sistemin maliyetleri arasındaki fark 1.855,24TL'dir. Yapı ömrü boyunca oluşacak ısıtma ve bakım giderlerinin ısıtma sisteminin elektrikli olduğu durumda günümüzdeki değeri ise sırasıyla 21.243,51TL ve 21.347,62TL'dir. Tüm bu veriler incelendiğinde ısı kaybının 357,14W/K olduğu yalıtım sistemi daha uygulanabilir gözükmemektedir. İki sistemde de duvar kalınlıkları 25cm olarak belirlenmiş, duvar malzemesi için ise gazbeton tercih edilmiştir. Duvar üzerine uygulanan yalıtım malzemesi ise cam yünüdür ve kalınlığı 10cm'dir. Duvar sistemleri içerisinde ısı kaybını minimuma indiren çözümün 25cm kalınlığında gazbeton üzerine 10cm kalınlığında cam yünü uygulaması olduğu tespit edilmiştir. İç ve dış sıva kalınlıklarının ısı geçirgenlik katsayısına etkidiği görülmüşse de ısı kaybını azaltmak için sıva kalınlığını arttırmak uygulanabilir gözükmemektedir.

Isı kayıplarının 375,66W/K ve 379,77W/K olduğu ısı yalıtım sistemleri bu paragrafta yorumlanacaktır. İlk yalıtım sisteminde ısı kaybı 375,66W/K ve bina dış kabuk maliyeti 88.135,2TL'dir. İkinci yalıtım sisteminde ısı kaybı 379,77W/K ve bina dış kabuk maliyeti ise 88.108,00TL'dir. İki sistemin ısıtma ve bakım giderlerinin ısıtma sisteminin elektrikli olduğu durumda günümüzdeki değerleri sırasıyla 22.910,27TL ve 23.259,81TL'dir. İki sistem arasındaki fiyat farkının sebebi toprağa temas eden taban yapı bileşenlerinin yalıtım malzemeleri katmanlarındaki farklı seçimlerdir. İki

yalıtım sistemide ekstrüde polistren köpüğü farklı kalınlıklarda kullanmıştır. Isı kaybının daha az olduğu sistemde ekstrüde polistren köpüğün kalınlığı 5cm, diğer sistemde ise 3cm olarak belirlenmiştir. Taban yapı bileşeninde yalıtım malzemesinin daha kalın olması imalat aşamasında maliyetleri çok değiştirmemiş fakat gelecekte oluşacak ısıtma giderlerinin azalmasını sağlamıştır. Taban yapı bileşeninde kullanılacak yalıtım malzemesini 5cm olarak belirlemek daha verimli olacaktır.

Bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin tüm katmanları binalarda oluşan ısı kayıplarında etkilidir. Binaların hacimleri büyüdükçe yapı bileşenleri oluşturan katmanların ısı kayıplarına olan etkileri artmaktadır. Vaka çalışmasında kullanılan örnek bina gibi daha küçük hacimli yapılarda ise ısı kaybı hesaplarında kullanılacak yalıtım malzemesi ve kalınlığı, pencerelerin ısı iletkenlik katsayıları ve duvar malzemesi ve kalınlıkları kritik öneme sahiptir. Isı yalıtım sisteminin malzeme kalitesinin ve kalınlığının artırılması ısıtma giderlerini azaltarak enerji verimli binalar inşa edilmesini sağlamaktadır. Yeni yapılacak binalarda pencere sistemlerinin çift camlı olması gerekmektedir. Duvarlarda yalıtım malzemesinin kalınlığını arttırmak imalat aşamasında maliyetleri arttırsada ısıtma giderleri düşünüldüğünde oldukça verimli ve makul gözükmektedir. Bunun dışında bina dış kabuğunu oluşturan yapı bileşenlerinin tüm katmanlarının ısı kayıplarına doğrudan etkidiği tespit edilmiştir. Binalarda ısı kayıplarını azaltmak için öncelikle duvar yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısını artırmanın enerji verimliliğini arttırmadaki etkinliği daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte binalarda ısı yalıtım sistemleri belirlenirken bina dış kabuğunu oluşturan bütün yapı bileşenlerinin ve katmanların göz önünde bulundurulması ve malzeme seçiminde ısı iletkenlik hesap değeri düşük olanların seçilmesi binalarda enerji verimliliğini arttıracaktır.

Tez çalışmasına konu olan binanın ısıtılmasında ekonomik açıdan en avantajlı yakıt tipinin kömür olduğu gözükmektedir. Yakıt olarak kömürü kullanan ısıtma sistemlerinin kazan verimleri diğer yakıt tiplerine göre daha düşük olsada gelecekte oluşması beklenen toplam ısıtma ve bakım giderleri toplamının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Kullanım kolaylığı ve konfor öğelerinin değerlendirmeye katılmaması ısıtma sistemlerinin yalnızca ekonomik açıdan değerlendirilmesine neden olmuştur. Binalarda ısıtma sistemleri belirlenirken konfor ve kullanım kolaylıklarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Günümüzde binalarda enerji verimliliğini arttırmak için alınması gereken tedbirler ve uygulamaların sayısı oldukça fazladır. Gelişmiş ülkelerde binaların tükettikleri enerjinin bir kısmını veya tamamını kendilerinin üretmesini sağlayacak teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Binalarda tüketilen enerjinin yarısından fazlasının ısıtma için harcandığı bilindiğine göre binalarda ısı kaybını önleyici tedbirlerin alınması, ülkelerin sürdürülebilir ekonomilere sahip olabilmeleri için kritik öneme sahip stratejik bir konudur. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı binalarda ısı kaybının azaltmaya yönelik oldukça etkili sınır değerler belirlemiştir. Isı yalıtım projelerinde standartta belirlenmiş kurallara uyulması durumunda enerji verimliliği yüksek binalara sahip olmak için ilk yapılması gerekenin yerine getirildiği gözükmektedir. Binalarda ısı kaybını azaltmak için dış ortam ile temas yüzeyi en fazla olan yapı bileşenlerinin yalıtımının doğru yapılması oldukça önemlidir. Binalarda ısı kaybına ve enerji verimliliğinin düşük olmasına bina dış kabuğunu oluşturan tüm yapı bileşenlerini oluşturan her katmanın etkisi vardır. Binalarda uygulanacak ısı yalıtımının veriminin artırılması için ise öncelikle yalıtım malzemelerinin kalitelerinin ve kalınlıklarının artırılması daha doğru olacaktır.

REFERANSLAR

- Aditya L., Mahlia T.M.I., Rismanchi B., Ng H.M., Hasan M.H., Metselaar H.S.C., Muraza O., Aditiya H.B.,** (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352-1365.
- Anders R.,** (1980). *The Federal Energy Administration, United States Department of Energy*, <http://energy.gov/sites/prod/files/FEA%20History.pdf>.
- Aytaç, A. ve Aksoy, U.T.,** (2006). Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyet ilişkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 *arketing Intelligence & Planning*, 21, 753-758.
- Balaban O., Puppim de Oliveira J.A.,** (2017). Sustainable buildings for healthier cities: assessing co-benefits of green buildings in Japan, 163, 568-578.
- Baniassadi A., Sajadi B., Amidpour M., Noori N.,** (2016). Economic optimization of PCM and insulation layer thickness in residential buildings, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 92-99.
- Bostancıoğlu E.,** (2011). Residential Building Envelope Alternatives with Equivalent Cost, *Gazi University Journal of Science*, 24(2), 355-363.
- British Standard 8211,** (1995). Energy efficiency in housing part 1-code of practice for energy efficient refurbishment of housing, *British Standards Institution*.
- Costello A., Abbas M., Allen A., Ball S., Bell S., Bellamy R., Friel S., Groce N., Johnson A., Kett M., Lee M., Levy C., Maslin M., McCoy D., McGuire B., Montgomery H., Napier D., Pagel C., Patel J., Puppim de Oliveira J.A., ve ark.,** (2009). Managing the health effects of climate change, *Lancet University College London Institute for Global Health Commission*, 373, 1693-1733.
- Economist,** (2004). The rise of the green building, 373.
- Energy Performance Certificates for Buildings, 1st Ed,** (2014). South African Bureau of Standards, SANS 1544.
- Fan Y. ve Xia X.,** (2010). Energy efficiency and control systems-from a poet perspective, *Conference on Control Methodologies and Technology for Energy Efficiency*, 43, 255-260.
- Georges L, Massart C., Moeseke G.V., Herde A.D.,** (2011). Environmental and economic performance of heating systems for energy-efficient dwellings: Case of passive and low-energy single-family houses, *Energy Policy*, 40, 456-464.

- Griffin L.**, (2005). Articulating the business and ethical arguments for sustainable construction, *Master of Science Thesis, The Graduate School of the University of Florida*, 6-7, 87.
- Hamdy M., Hasan A., Siren K.**, (2013). A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPDB-recast 2010, *Energy and Buildings*, 56, 189-203.
- Helm D.**, (2014). The European framework for energy and climate policies, *Energy Policy*, 64, 29-35.
- Küreği N. A.**, (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers, *Energy and Buildings*, 118, 197-213.
- Laitner J., Nadel S., Elliott R. N., Sachs H., Khan A. S.**, (2012). The Long-Term Energy Efficiency Potential: What the Evidence Suggests, *American Council for Energy-Efficient Economy*.
- Lizica Simona P., Spiru P., Ion V.I.**, (2017). Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation, *Energy Procedia*, 128, 393-399.
- Mearig T., Coffee N., Morgan M.**, (1999). Life Cycle Cost Analysis Handbook, *State of Alaska - Department of Education and Early Development, 1st edition*.
- National Resources Canada (NCR)**, (1999). Performance compliance for houses specifications for calculation procedures for demonstrating compliance to the model national energy code of Canada for houses 1997 using whole house performance, *Canadian Commission on Building and Fire Codes*.
- Ouarghi R. ve Krarti M.**, (2006). Building shape optimization using neural network and genetic algorithm approach, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 112, 6, 484-491.
- Özel M. ve Pıhtılı K.**, (2007). Bina duvarlarına uygulanan yalıtımın farklı konumlarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkisinin araştırılması, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7, 1, 87-97.
- Öztürk M.**, (2014). Yeşil binalarda enerji verimliliğinin incelenmesi ve bina enerji modelleri, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-2, 83.
- Pylsy P. ve Kalema T.**, (2008). Concepts for Low-Energy Single-Family Houses, *Master of Science Thesis, Tampere University of Technology Mechanics and Design Dept.*
- Rode P., Burdett R., Soares Goncalves J.C.**, (2011). Buildings: investing in energy and resource efficiency, *United Nations Environment Programme (UNEP), towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, 331-374.

- Rahimi M., Iranmanesh H.,** (2008). Multi objective particle swarm optimization for a discrete time, cost and quality trade-off problem, *World Applied Sciences Journal*, 4(2), 270-276.
- Strand S. M. ve Fossdal S.,** (2003). Do standards and regulations supply the necessary incentive for sustainable building?, *Industry and environment: sustainable building and construction, United Nations Environment Programme*, 26 (2-3), 33-36.
- Şenkal Sezer F.,** (2005). Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85.
- Tavakolan M., Ashuri B.,** (2012). Stochastic Optimization of Construction Projects Planning with Genetic Algorithm, *Construction Research Congress*, 1590-1599.
- TS 453 Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları (1985),** *Türk Standardları Enstitüsü.*
- TS 705 Fabrika Tuğlaları-Duvarlar için Dolu ve Düşey Delikli (1985),** *Türk Standardları Enstitüsü.*
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (2013),** *Türk Standardları Enstitüsü*, 1-79.
- TS 3234 Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları (1978),** *Türk Standardları Enstitüsü.*
- Ulaş A.,** (2010). Binalarda TS 825 Hesap Yöntemine Göre Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu Hesabı ve Maliyet Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 9-15.
- Wang W., Zmeureanu R., Rivard H.,** (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization, *Building and Environment*, 40, 1512-1525.
- Winter G., Periaux M., Galan M., Cuesta P.,** (1996). Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science , *John Wiley and Sons, New York.*
- Wright J. A., Loosemore H.A., Farmani R.,** (2002). Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm, *Energy and Buildings*, 34, 959-972.
- Yaman M. C., Gökçen G.,** (2009). Statik ve Dinamik Hesaplama Metodları ile Binalarda Enerji Performans Değerlendirmesi, Ölçüm Değerleri ile Karşılaştırılması, *9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 509-525.
- Yaman Ö., Şengül Ö., Selçuk H., Çalikuş O., Kara İ., Erdem Ş., Özgür D.,** (2015). Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 487, 62-75.



EKLER

EK A : Yapı bileşenleri ve katmanları





Çizelge A.1 : Duvar yapı bileşeni iç sıva katmanı

İç Sıva için Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam (m3)	Torba 35Kg-30Kg Adet	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış harçlar	341.4	0.01	0.2	0.05	3.414	98	₺ 1,170.51	₺ 4,779.60	₺ 5,950.11
Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış harçlar	341.4	0.02	0.2	0.1	6.828	195	₺ 2,341.03	₺ 4,779.60	₺ 7,120.63
Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılmış harçlar	341.4	0.03	0.2	0.15	10.242	293	₺ 3,511.54	₺ 4,779.60	₺ 8,291.14
Alçı harcı, kireçli alçı harcı	341.4	0.01	0.7	0.014	3.414	98	₺ 829.11	₺ 4,096.80	₺ 4,925.91
Alçı harcı, kireçli alçı harcı	341.4	0.02	0.7	0.029	6.828	195	₺ 1,658.23	₺ 4,096.80	₺ 5,755.03
Alçı harcı, kireçli alçı harcı	341.4	0.03	0.7	0.043	10.242	293	₺ 2,487.34	₺ 4,096.80	₺ 6,584.14

Çizelge A.2 : Duvar yapı bileşeni duvar malzemesi katmanı

Duvar için Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Birim adet m2 veya m3	Toplam Adet	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Tuğla Duvar	241.8	0.25	0.39	0.641	22	5319.3	₺ 7,181.01	₺ 4,835.70	₺ 12,016.71
Tuğla Duvar	241.8	0.135	0.39	0.346	25	6044.6	₺ 4,049.90	₺ 3,384.99	₺ 7,434.89
Gazbeton	241.8	0.25	0.29	0.862	6.7	1610.3	₺ 8,502.32	₺ 4,110.35	₺ 12,612.67
Gazbeton	241.8	0.15	0.29	0.517	6.7	1610.3	₺ 5,104.61	₺ 3,626.78	₺ 8,731.39
Bims	241.8	0.25	0.36	0.694	12.5	3022.3	₺ 6,649.09	₺ 4,352.13	₺ 11,001.22
Bims	241.8	0.15	0.36	0.417	12.5	3022.3	₺ 4,533.47	₺ 3,868.56	₺ 8,402.03
Betonarme Kolon-Perde	99.6	0.25	2.2	0.114	24.0		₺ 4,560.00	₺ 9,828.00	₺ 14,388.00

Çizelge A.3 : Duvar yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı

Yalıtım Malzemeleri	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Paket Adedi	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Cam Yünü (040)	357.0	0.07	0.04	1.750	357.0	63	₺ 3,150.00	₺ 8,211.00	₺ 11,361.00
Cam Yünü (040)	357.0	0.1	0.04	2.500	357.0	90	₺ 4,950.00	₺ 8,211.00	₺ 13,161.00
Polistren Köpüğü (040)	357.0	0.07	0.04	1.750	357.0	51	₺ 5,202.00	₺ 6,783.00	₺ 11,985.00
Polistren Köpüğü (040)	357.0	0.1	0.04	2.500	357.0	72	₺ 7,920.00	₺ 6,783.00	₺ 14,703.00
Taş Yünü (040)	357.0	0.07	0.04	1.750	357.0	36	₺ 4,284.00	₺ 8,925.00	₺ 13,209.00
Taş Yünü (040)	357.0	0.1	0.04	2.500	357.0	36	₺ 4,783.80	₺ 8,925.00	₺ 13,708.80

Çizelge A.4 : Duvar yapı bileşeni dış sıva katmanı

Dış Sıva için Malzeme	Metraj Alanı (m2)	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Toplam (m3)	Torba (30Kg) Adet	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Yalıtım Malz. Üstü Sıva (Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları)	357.0	0.01	0.35	0.03	3.57	119	₺ 1,666.00	₺ 3,570.00	₺ 5,236.00
Yalıtım Malz. Üstü Sıva (Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları)	357.0	0.02	0.35	0.06	7.14	238	₺ 3,332.00	₺ 3,570.00	₺ 6,902.00

Çizelge A.5 : Toprağa temas eden taban yapı bileşeni yer döşemesi katmanı

Yer Döşemesi için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Linolyum	0.02	0.17	0.118	34	₺ 2,040.00	₺ 340.00	₺ 2,380.00
Mantarli Linolyum	0.025	0.08	0.313	34	₺ 2,380.00	₺ 340.00	₺ 2,720.00

Çizelge A.5 (devam) : Toprağa temas eden taban yapı bileşeni yer döşemesi katmanı

Yer Döşemesi için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Sentetik Malzemedan Kaplamalar (PVC)	0.03	0.23	0.130	34	₺ 2,890.00	₺ 272.00	₺ 3,162.00

Çizelge A.6 : Toprağa temas eden taban yapı bileşeni döşeme katmanı

Yer Döşemesi için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Betonarme Döşeme	0.3	2.2	0.136	34	₺ 2,584.00	₺ 2,380.00	₺ 4,964.00



Çizelge A.7 :Toprağa temas eden taban yapı bileşeniyalıtım malzemesi katmanı

Yalıtım Malzemeleri	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Taş Yünü (040)	0.03	0.04	0.750	34	₺ 408.00	₺ 255.00	₺ 663.00
Taş Yünü (040)	0.05	0.04	1.250	34	₺ 455.60	₺ 255.00	₺ 710.60
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0.03	0.04	0.750	34	₺ 346.80	₺ 153.00	₺ 499.80
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0.05	0.04	1.250	34	₺ 374.00	₺ 153.00	₺ 527.00
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0.03	0.035	0.857	34	₺ 442.00	₺ 153.00	₺ 595.00
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0.05	0.035	1.429	34	₺ 510.00	₺ 153.00	₺ 663.00

Çizelge A.8 :Toprağa temas eden taban yapı bileşeni şap katmanı

Şap	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Cimento Harcli Sap	0.05	1.4	0.036	34	₺ 224.40	₺ 136.00	₺ 360.40
Cimento Harcli Sap	0.07	1.4	0.050	34	₺ 314.16	₺ 272.00	₺ 586.16

Çizelge A.9 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni yer döşemesi katmanı

Yer Döşemesi için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Linolyum	0.02	0.17	0.118	50.5	₺ 3,030.00	₺ 505.00	₺ 3,535.00
Mantarlı Linolyum	0.025	0.08	0.313	50.5	₺ 3,535.00	₺ 505.00	₺ 4,040.00
Sentetik Malzemeden Kaplamalar (PVC)	0.03	0.23	0.130	50.5	₺ 4,292.50	₺ 404.00	₺ 4,696.50

Çizelge A.10 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni döşeme katmanı

Yer Döşemesi için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Betonarme Döşeme	0.3	2.2	0.136	50.5	₺ 2,878.50	₺ 3,535.00	₺ 6,413.50

Çizelge A.11 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı

Yalıtım Malzemeleri	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Taş Yünü (040)	0.03	0.04	0.750	50.5	₺ 606.00	₺ 378.75	₺ 984.75
Taş Yünü (040)	0.05	0.04	1.250	50.5	₺ 676.70	₺ 378.75	₺ 1,055.45
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0.03	0.04	0.750	50.5	₺ 515.10	₺ 227.25	₺ 742.35
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0.05	0.04	1.250	50.5	₺ 555.50	₺ 227.25	₺ 782.75
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0.03	0.035	0.857	50.5	₺ 656.50	₺ 227.25	₺ 883.75
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0.05	0.035	1.429	50.5	₺ 757.50	₺ 227.25	₺ 984.75

Çizelge A.12 : Isıtılmayan iç ortama bitişik taban yapı bileşeni şap katmanı

Şap	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Cimento Harcli Sap	0.05	1.4	0.036	50.5	₺ 333.30	₺ 202.00	₺ 535.30
Cimento Harcli Sap	0.07	1.4	0.050	50.5	₺ 466.62	₺ 404.00	₺ 870.62

Çizelge A.13 : Tavan yapı bileşeni iç sıva katmanı

Sıva için Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Torba (30Kg) Adet	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.01	0.7	0.014	89.2	29.7	₺ 386.53	₺ 1,070.40	₺ 1,456.93
Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.02	0.7	0.029	89.2	59.5	₺ 773.07	₺ 1,159.60	₺ 1,932.67

Çizelge A.14 : Tavan yapı bileşeni döşeme katmanı

Döşeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Betonarme Döşeme	0.3	2.2	0.136	89.2	₺ 5,084.40	₺ 6,244.00	₺ 11,328.40

Çizelge A.15 : Tavan yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı

Yalıtım Malzemesi	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Taş Yünü (040)	0,07	0,04	1,750	89,2	₺1.498,56	₺ 669,00	₺ 2.167,56
Taş Yünü (040)	0,1	0,04	2,500	89,2	₺2.140,80	₺ 669,00	₺ 2.809,80
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0,07	0,04	1,750	89,2	₺1.273,78	₺ 401,40	₺ 1.675,18

Çizelge A.15 (devam) : Tavan yapı bileşeni yalıtım malzemesi katmanı

Yalıtım Malzemesi	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	m2	Maliyet (Malzeme)	Maliyet (İşçilik)	Toplam Maliyet
Ekstrüde Polistren Köpüğü (040)	0,1	0,04	2,500	89,2	₺ 1.819,68	₺ 401,40	₺ 2.221,08
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0,07	0,035	2,000	89,2	₺ 1.623,44	₺ 401,40	₺ 2.024,84
Ekspande Polistren Köpüğü (040)	0,1	0,035	2,857	89,2	₺ 2.319,20	₺ 401,40	₺ 2.720,60

EKLER

EK B : Genetik algoritma optimizasyon sonucu çözüm kümeleri





Çizelge B.1 : Genetik algoritma optimizasyon sonucu çözüm kümeleri

G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	ISI KAYBI	MALİYET
3	3	2	2	2	1	6	2	2	1	6	2	2	1	6	3	1	351,9992805	101063,5057
3	3	2	2	2	1	6	2	2	1	6	2	1	1	6	3	1	352,0983033	100587,7724
3	3	2	2	2	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	352,2333722	100026,6924
3	3	2	1	2	1	6	2	2	1	6	2	2	1	6	3	1	352,8184119	99397,50569
3	3	2	1	2	1	6	2	2	1	6	2	1	1	6	3	1	352,9174348	98921,77236
3	3	2	1	2	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	353,0525037	98360,69236
3	3	2	1	1	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	353,8946068	98020,69236
2	3	2	1	2	1	6	1	2	1	6	2	1	1	6	3	1	354,4403666	97525,49807
2	3	2	1	1	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	355,3619556	96850,17807
1	3	2	1	2	1	6	2	2	1	6	2	1	1	6	3	1	355,8969528	96580,74379
4	3	2	1	2	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	357,1407494	94995,46379
4	3	2	1	1	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	357,9828525	94655,46379
4	3	2	1	1	1	6	1	1	1	6	1	2	1	6	3	1	359,0855793	94626,19712
4	3	2	1	1	1	6	1	1	1	6	1	1	1	6	3	1	359,1846022	94150,46379
4	5	2	1	2	1	6	1	2	1	6	2	1	1	6	3	1	360,3887492	93719,33512
4	5	2	1	1	1	6	2	2	1	6	1	1	1	6	3	1	361,2427397	93269,77512
4	5	2	1	2	1	6	1	1	1	6	1	1	1	6	3	1	361,6699848	92879,01512
4	5	2	1	1	1	6	1	1	1	6	1	1	1	6	3	1	362,5120879	92539,01512
1	4	2	1	2	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	363,1030532	92138,3859
4	4	2	1	2	1	6	2	2	1	6	2	1	1	6	3	1	364,2263166	91675,2659
4	4	2	1	2	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	364,3613855	91114,1859
4	4	2	1	1	1	6	1	2	1	4	1	1	1	6	3	1	366,2956014	90572,1859
4	2	2	1	2	1	6	2	2	1	6	2	1	1	6	3	1	368,4130746	90378,76637
4	2	2	1	1	1	6	1	2	1	6	2	2	1	6	3	1	369,2117379	90288,7397
4	2	2	1	1	1	6	1	2	1	6	2	1	1	6	3	1	369,3107608	89813,00637

Çizelge B.1 (devam) : Genetik algoritma optimizasyon sonucu çözüm kümeleri

G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	ISI KAYBI	MALİYET
4	2	2	1	1	1	6	1	2	1	6	1	1	1	6	3	1	369,3902466	89477,68637
4	2	2	1	1	1	6	1	1	1	6	2	1	1	6	3	1	370,4956999	89308,00637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	6	1	1	1	6	3	1	371,532292	88836,68637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	6	3	1	372,8686714	88634,68637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	6	1	1	1	4	3	1	374,331143	88337,16637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	4	3	1	375,6675224	88135,16637
4	2	2	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	1	4	3	1	379,7771836	88107,96637
4	2	2	1	1	1	6	1	1	1	4	1	1	1	5	3	1	380,0783022	88074,92637
4	2	2	1	1	1	6	1	1	1	6	1	1	1	6	2	1	381,8311963	87722,68637
4	2	2	1	1	1	6	1	1	1	4	1	1	1	6	2	1	383,1675757	87520,68637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	6	1	1	1	4	2	1	385,570343	87087,16637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	4	2	1	386,9067224	86885,16637
4	2	2	1	1	1	6	1	1	1	4	1	1	1	5	2	1	391,3175022	86824,92637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	5	2	1	392,257798	86688,92637
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	6	1	1	1	3	2	1	394,5551128	86541,26237
4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	3	2	1	395,8914922	86339,26237
4	2	2	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	1	3	2	1	400,0011534	86312,06237
4	2	1	1	1	1	6	1	1	1	4	1	1	1	5	3	1	418,480775	86274,92637
4	2	1	1	1	1	6	1	1	1	6	1	1	1	6	2	1	420,233669	85922,68637
4	2	1	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	6	2	1	422,5103442	85584,68637
4	2	1	1	1	1	4	1	1	1	6	1	1	1	4	2	1	423,9728157	85287,16637
4	2	1	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	4	2	1	425,3091951	85085,16637
4	2	1	1	1	1	6	1	1	1	4	1	1	1	5	2	1	429,719975	85024,92637
4	2	1	1	1	1	6	1	1	1	6	1	1	1	3	2	1	432,0172898	84877,26237
4	2	1	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	3	2	1	434,2939649	84539,26237

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Alp Eren Sanisoğlu
Place and Date of Birth : İstanbul / 30.01.1990
E-Mail : alperensanisoglu@gmail.com

EĞİTİM

- **Lisans** :2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **M.Sc.** :2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı İşletmesi

MESLEKİ DENEYİM

- (2016 -devam ediyor) Genel Müdür - YİFA Proje İnşaat Taahhüt Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi
- (2015-2016) Saha Mühendisi - Özyazıcı İnşaat Havaalanı Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanı 2. Etap Konut İnşaatları ile Altyapı ve Çevre Düzenleme İşi
- (2013-2015) Köprü Mühendisi - EMAY Uluslararası Mühendislik Müşavirlik A.Ş.