

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNALARDA YÖNLERE GÖRE YALITIM KALINLIĞININ EKONOMİKLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

CEM BAYKAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. DERYA BURCU ÖZKAN**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNALARDA YÖNLERE GÖRE YALITIM KALINLIĞININ EKONOMİKLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

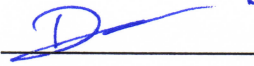
Cem BAYKAL tarafından hazırlanan tez çalışması 17.06.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Derya Burcu Özkan
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

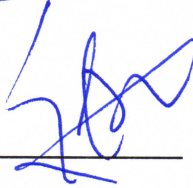
Doç. Dr. Derya Burcu Özkan
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Galip Temir
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Ebru Mançuhan
Marmara Üniversitesi



Günümüzde, dünyada ve ülkemizde fosil yakıtlar en önemli enerji kaynağıdır. Enerji kaynaklarının hızla azalması ve enerji kullanımına bağlı olarak atmosfere atılan CO₂ salınımının artması ile enerji kavramı çok önemli bir konuma gelmiştir. Ekonomik büyüme hızının artmasıyla beraber Türkiye’de enerji tüketimi de artmaya devam etmektedir. Ülkemizde yeterli enerji kaynakları bulunmadığından tüketilen enerjinin %70’i dışarıdan ithal edilmektedir.

Türkiye’nin hızla büyüyen enerji talebinin karşılanmasında doğalgazın payı ve önemi giderek artmaktadır. Sanayide, konut sektöründe ve elektrik üretiminde doğalgaz enerji girdisi olarak payını giderek arttırmakta ve Türkiye’nin her üç sektör itibari ile tercih edilen yakıt tipi haline gelmektedir. 2012 EPDK [18] raporuna göre doğalgazın sektörel bazda kullanılması konusunda yapılan araştırma sonuçlarında ülkemizde doğalgazın konutlarda kullanımı %20 oranındadır. Tüketilen bu enerjinin %80’inin ısıtma amaçlı kullanıldığı dikkate alındığında binalarda ısı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Bu tez kapsamında örnek olarak ele alınan binada ısıtma için tüketilen enerjiyi minimize eden optimum dış duvar yalıtım kalınlığı hesaplanmış ve ekonomik analiz yapılmıştır.

Çalışma konusunun tespitinden tamamlanması aşamasına kadar geçen süre zarfında desteklerinden dolayı Sayın Hocam Doç. Dr. Derya B. Tümer Özkan’a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2014

Cem BAYKAL

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| SİMGE LİSTESİ..... | vi |
| KISALTMA LİSTESİ..... | vii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | ix |
| ÖZET | x |
| ABSTRACT..... | xii |
| BÖLÜM 1 | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı | 3 |
| 1.3 Hipotez | 3 |
| BÖLÜM 2 | |
| TÜRKİYE’DE ENERJİ GÖRÜNÜMÜ..... | 5 |
| 2.1 Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketimi | 5 |
| 2.2 Türkiye’de Enerji İthalatı ve Doğalgazın Rolü | 8 |
| 2.3 Konutlarda Enerji Tüketimi | 10 |
| BÖLÜM 3 | |
| BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ | 12 |
| 3.1 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği | 12 |
| 3.1.1 Enerji Verimliliğinde Mimari Tasarımın Rolü | 14 |
| 3.1.2 Enerji Verimliliğinde Elektrik ve Aydınlatma Tesisatı | 15 |
| 3.1.3 Enerji Verimliliğinde Isı Yalıtım Esasları | 16 |
| 3.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı | 17 |
| 3.2.1 TS 825 Standardının Amacı | 18 |

| | | | |
|--|---|----|-----------|
| 3.2.2 | TS 825 Standardının Uygulama Alanları | 18 | |
| 3.2.3 | TS 825 Standardının Genel Esasları | 18 | |
| BÖLÜM 4 | | | |
| DENEYSEL MATERYAL VE HESAP METODU | | | 20 |
| 4.1 | Veri Kaydedici ile Yüzey Sıcaklık Ölçümü | 21 | |
| 4.2 | Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı | 25 | |
| 4.3 | Ekonomik Analiz Yöntemi | 25 | |
| 4.4 | Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi | 26 | |
| 4.5 | Geri Ödeme Süresi Tespiti | 27 | |
| BÖLÜM 5 | | | |
| YÖNLERE GÖRE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI HESAPLARI..... | | | 28 |
| 5.1 | Binanın Yalıtım Detaylarının Tespiti..... | 28 | |
| 5.2 | Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları | 30 | |
| 5.3 | Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı..... | 33 | |
| 5.4 | Enerji Tasarrufu Hesabı..... | 35 | |
| 5.5 | Geri Ödeme Süresi Hesabı | 36 | |
| BÖLÜM 6 | | | |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | | | 37 |
| KAYNAKLAR | | | 41 |
| ÖZGEÇMİŞ | | | 43 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|---------------|--|
| A_d | Dış duvar alanı (m^2) |
| C_f | Yakıt maliyeti (TL/Nm ³) |
| C_i | İzolasyon maliyeti (TL/m ³) |
| C_{izo} | Yalıtım maliyeti (TL) |
| C_{yf} | Yıllık yakıt maliyeti (TL) |
| d | Enflasyon oranı |
| H | Doğalgaz alt ısı değeri (kJ/Nm ³) |
| H_T | Özgül ısı kaybı (W/K) |
| i | Faiz oranı |
| L_i | Yalıtım Kalınlığı (m) |
| N | Yatırım ömrü (yıl) |
| Nm^3 | Normal metreküp (1bar ve 0°C'de) |
| $Q_{yıl}$ | Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (J) |
| R | Isıl geçirgenlik direnci (m^2K/W) |
| R_i | İç yüzey ısı iletim direnci (m^2K/W) |
| R_e | Dış yüzey ısı iletim direnci (m^2K/W) |
| Sm^3 | Standart metreküp (1bar ve 15°C'de) |
| T | Sıcaklık (°C) |
| t | Zaman (s) |
| U | Isıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) |
| U_d | Dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) |
| ΔE | İzolasyonlu ve izolasyonsuz durum arasındaki yakıt tüketim farkı |
| ΔT | Sıcaklık farkı (K) |
| k | Isıl iletkenlik değeri (W/mK) |
| k_i | İzolasyon malzemesi ısı iletkenlik değeri (W/mK) |
| \emptyset_i | İç ısı kazançları (W) |
| \emptyset_s | Güneşten gelen ısı kazançları (W) |
| η | Isıtma sistem verimi |
| Λ | İletimle toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K) |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---------|--|
| AB | Avrupa Birliği |
| Ach | Hava Değişim Oranı |
| BEP | Binalarda Enerji Performansı |
| BEP-Tr | Bina Enerji Performansı Yazılımı |
| BOTAŞ | Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi |
| EKB | Enerji Kimlik Belgesi |
| EN | Avrupa Standardı |
| EPS | Ekspande Polistren Köpük |
| ISO | Uluslararası Standartlar Teşkilatı |
| LNG | Sıvılaştırılmış Doğal Gaz |
| MISSIGP | Merkezi Isıtma ve Sıhhi Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılması |
| SHGC | Gölgeleme Katsayısı |
| TCMB | Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası |
| TEP | Ton Eşdeğer Petrol |
| TL | Türk Lirası |
| TND | Tunus Dinarı |
| TS | Türk Standardı |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü |
| XPS | Ekstrüde Polistren Köpük |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2. 1 Birincil Enerji kaynaklarının yerli üretimdeki yüzde dağılımı | 6 |
| Şekil 2. 2 Dünya’da ülkelere göre enerji tüketim oranları | 6 |
| Şekil 2. 3 Türkiye’de birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı | 7 |
| Şekil 2. 4 Kaynak ülkeler bazında 2012 yılında Türkiye’nin doğalgaz ithalatı | 10 |
| Şekil 2. 5 Birincil enerji tüketiminin 2012 yılında sektörlere göre dağılımı | 11 |
| Şekil 3. 1 Enerji Kimlik Belgesi | 14 |
| Şekil 4. 1 Mevcut normal kat planı | 20 |
| Şekil 4. 2 Mevcut bina görünüşü | 21 |
| Şekil 4. 3 Duvar kesit detayı | 22 |
| Şekil 4. 4 Veri kaydedici cihazı | 22 |
| Şekil 4. 5 Dış yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (10 Ocak) | 23 |
| Şekil 4. 6 İç yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (10 Ocak) | 23 |
| Şekil 4. 7 Dış yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (18 Ağustos) | 24 |
| Şekil 4. 8 İç yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (18 Ağustos) | 24 |
| Şekil 5. 1 Mevcut bina dış duvar detayı | 28 |
| Şekil 5. 2 Konut için aydınlatma profili | 31 |
| Şekil 5. 3 Dükkân aydınlatma profili | 31 |
| Şekil 5. 4 Dükkân insan sayısı profili | 32 |
| Şekil 5. 5 Yıllık ısıtma enerjisi dağılımı | 32 |
| Şekil 5. 6 Yıllık soğutma enerjisi dağılımı | 33 |
| Şekil 5. 7 Yönlere göre optimum yalıtım kalınlıkları | 34 |
| Şekil 5. 8 Enerji tasarrufu miktarları | 35 |
| Şekil 5. 9 Yönlere göre geri ödeme süreleri | 36 |
| Şekil 6. 1 Optimum yalıtımda yıllık ısıtma enerjisi dağılımı | 38 |
| Şekil 6. 2 Optimum yalıtımda yıllık soğutma enerjisi dağılımı | 38 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 2. 1 Dünyada Doğalgaz ithalatı | 8 |
| Çizelge 2. 2 2005-2012 yılları doğalgaz ithalat miktarları (milyon Sm ³) | 9 |
| Çizelge 5. 1 Dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı | 29 |
| Çizelge 5. 2 TS 825'e göre sınır olarak kullanılması tavsiye edilen U değerleri | 29 |
| Çizelge 5. 3 Isı kaybı ve ısı kazancı tasarım bilgileri | 30 |
| Çizelge 5. 4 Hesap Parametreleri | 33 |
| Çizelge 5. 5 Ekonomik Parametreler | 35 |
| Çizelge 6. 1 Yönlere göre optimum yalıtım kalınlığı hesap sonuçları | 39 |

BİNALARDA YÖNLERE GÖRE YALITIM KALINLIĞININ EKONOMİKLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Cem BAYKAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Günümüzde enerji ihtiyacı ve enerji kaynaklarına ulaşım konusu dünyada politik ve ekonomik anlamda önemli bir rol oynamaktadır. Enerji talep ve tüketiminin hızla artması, ülkemizin enerji konusunda yüksek oranda dışa bağımlılığı ve enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan çevresel faktörler sebebiyle, ülkemizde enerjinin kullanılması konusunda çeşitli düzenlemelerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde kış şartları göz önüne alındığında binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Binalarda enerji tüketimi, yapı elemanlarının optimum kalınlıkta ve uygun yalıtım malzemesi ile yalıtımı, cam ve doğramaların iyileştirilmesi, ve verimli ısıtma sistemleri kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Ülkemizde enerji tüketimini minimize eden doğrultuda çözümler sunmak amacıyla 2000 yılında “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” yürürlüğe konulmuştur. Isı yalıtımı, binalarda ilk yatırım giderlerini arttıran bir etken olmasına rağmen, enerji tüketiminde ve işletme maliyetlerinde sağlanan tasarruf ile kısa sürede geri dönüşümü sağlamaktadır. Bunun için ısı yalıtımında doğru malzeme seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi önemli bir konudur.

Bu tez kapsamında İstanbul Beykoz’da bulunan bir binada P1-P2 ekonomik analiz yöntemi esas alınarak yönlere göre optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Binanın dört yönünde dış duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları, dış ortam ve iç ortam sıcaklığı yıl boyunca veri kaydedici aracılığıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Yıllık dış duvar iç yüzey, dış duvar dış yüzey, dış ortam sıcaklıkları ölçüm değerleri grafik olarak verilmiştir. Bir sene

boyunca binanın tüm cepheler için ölçülen iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları kullanılarak TS 825 standardına uygun bir model geliştirilmiş ve yönlere göre optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ile beraber enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarına göre optimum yalıtım kalınlıkları kuzey, güney, batı doğu ve yönden bağımsız durum için sırasıyla; 6,47 cm, 3 cm, 6,92 cm, 7 cm, 5,25 cm olarak belirlenmiştir. Enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri ise kuzey, batı, doğu ve yönden bağımsız durum için sırasıyla; 89,38 TL/m² ve 1,64 yıl, 74,05 TL/m² ve 2,02 yıl, 73,91 TL/m² ve 2,04 yıl, 68,32 TL/m² ve 2,14 yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina dış duvar optimum yalıtım kalınlığı, Enerji tasarrufu, geri ödeme süresi.

**THE INVESTIGATION ECONOMICS OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS
ON DIFFERENT ORIENTATIONS IN BUILDINGS**

Cem BAYKAL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

In this day and time, energy need and reach the energy resources issue plays an important role in the political and economic sense in the world. The necessity of the various arrangements emerged for the use of energy in consequences of increasing the energy demand and energy consumption, high percentage of dependency on foreign sources and environmental factors caused by energy consumption in our country.

Considering the winter period, given a large part of the energy consumed in buildings used for heating purposes in our country. There are some significant point that buildings energy consumption can be dramatically reduced such as insulation with optimum insulation thickness and appropriate insulation material of building elements, improvement of glazing and joinery and with using of efficient heating systems. In our country, in order to provide solutions that minimize energy consumption, "TS 825 Thermal Insulation Rules in Buildings" was put in to effect in 2000. Thermal insulation in buildings is a factor that increases the initial investment cost although the saving in energy consumption and operation cost it's provide the recycling in a short term period. Thus, choose the right materials for the thermal insulation and the determination of the optimum insulation thickness is an important issue.

In this study, optimum insulation thickness is determined for different external wall orientation based on the P1-P2 economic analysis method in a building located in

İstanbul, Beykoz. In four aspects of the building, interior and exterior surface temperatures for the outer wall and the ambient and indoor temperatures has been measured by means of the data logger throughout the year. Annual inner surface and outer surface temperature of external wall and ambient-indoor temperature which measured throughout the year is shown as graphics. According to the TS 825 standard, a suitable model was developed using the measured inner surface and outer surface temperature of external wall. Then in developed model, optimum insulation thickness for different wall orientation, energy savings and pay back periods was calculated. As a result, optimum insulation thickness for the orientation of north, south, west, east and situation of independent from orientation were found 6,47 cm, 3 cm, 6,92 cm, 7 cm and 5,25 cm, respectively. Energy savings and pay back periods are also being calculated as 89,38 TL/m² and 1,64 year, 74,05 TL/m² and 2,02 year, 73,91 TL/m² and 2,04 year, 68,32 TL/m² and 2,14 year in north, west, east and situation of independent from orientation, respectively.

Keywords: Optimum insulation thickness for building external wall, energy saving, payback period.

1.1 Literatür Özeti

Literatürde binaların dış duvarında optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bina dış duvarında yönler göre optimum yalıtım kalınlığı üzerine yapılmış çalışmalar az sayıda bulunmaktadır. Özel [1], yaptığı çalışmada Elazığ ili için yalıtım kalınlığının farklı bina yönleri ile olan ilişkisini incelemiş ve 10 yıllık zaman periyodu için net bugünkü değer yöntemiyle yaptığı hesaplar sonucu yönler göre optimum yalıtım kalınlıklarını enerji kazanımlarını ve geri ödeme sürelerini belirlemiştir. Buna göre güney cephesi için 5,5cm, doğu batı ve kuzey cepheleri için 6 cm optimum yalıtım kalınlığı sonucuna ulaşmıştır. Daouas [2], çalışmasında Tunus iklim koşullarında bir bina için yönler göre yalıtımın önemini ve enerji tasarrufuna etkisi konusunda incelemede bulunmuştur. Binanın ortalama 30 yıllık yaşam süresi belirlenerek yapılan analiz sonuçlarına göre güney cephesi 10,1 cm optimum izolasyon kalınlığı, %71,33 enerji kazanımı ve 3,29 yıl geri ödeme süresi ile tasarrufun en çok meydana geldiği cephe sonucuna varmıştır. Ayrıca cephe yönünün enerji kazanımına olan etkisinin optimum izolasyon kalınlığına olan etkisinden çok daha fazla olduğunu ve doğu yönünde 23,78 TND/m² çıkan enerji kazanımı ile ortaya koymuştur. Özel [3], bir diğer çalışmasında sıcak iklim bölgesi olan Antalya'da yönler göre optimum yalıtım kalınlığını belirlemek amacıyla yalıtımın binanın soğutma ihtiyacı ile olan ilişkisini incelemiştir. Matlab programı yardımıyla soğutma karakteristik değerleri hesaplanmış ve tüm cepheler için 20 yıllık yaşam ömrü koşulunda maliyet analizi ile tüm cepheler için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Buna göre soğutma sezonu için en düşük yalıtım değeri ısı kazancınının kuzey cephesi için, maksimum yalıtım kalınlığı ise ısı

kazancının en fazla olduğu doğu ve batı cephelerinde ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak kuzey cephesi 3,1 cm optimum yalıtım kalınlığı ile ekonomikliğin en fazla gerçekleştiği cephe olarak belirlenmiştir. Axaopoulos vd. [4], çalışmalarında ısıtma ve soğutma sezonlarında yönler göre ve kullanılan yapı malzemelerine göre rüzgar hızı ve yönünü de hesaba katarak optimum yalıtım kalınlığı belirlenmesi konusunu incelemişlerdir. Bunun için ısıtma ve soğutma yükleri belirlenmiş, bina cephelerine etki eden mevcut rüzgar hızı ve yönü istatistiki olarak incelenmiş ve ömür maliyet analizi yöntemiyle cepheler için optimum yalıtım kalınlığı hesapları irdelenmiştir. Üç farklı yapı malzemesi kullanılarak ve farklı yönler için yapılan hesaplar sonucu optimum izolasyon kalınlığının 7,1 cm ile 10,1 cm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Özkan vd. [5], TS 825 standardına uygun bir yazılım geliştirerek Türkiye'nin 4 bölgesi için, farklı yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlığını veren grafikler belirlemişlerdir. Pencere ve dış duvar alanı değişiminin, bina ısıtma enerjisi ihtiyacına ve optimum yalıtım kalınlığına olan etkisi incelenmiştir. Özel ve Pıhtılı [6], ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak beş farklı şehir için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir. Özkan ve Onan [7], çalışmalarında Türkiye'nin dört farklı derece-gün bölgesi için P₁-P₂ ekonomik analiz metodunu esas alarak, iki farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı belirlemişlerdir. Ayrıca yakıt türüne bağlı olarak atmosfere salınan CO₂ ve SO₂ emisyonlarının optimum yalıtım kalınlığı ile ilişkisini hesaplarında incelemişlerdir. Kürekçi vd. [8], çalışmalarında ısıtma derece gün değerleri kullanarak ömür maliyet analizi yöntemi ile Türkiye'de 81 il'in 2 farklı yakıt ve 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Bolattürk [9], Türkiye'nin dört iklim bölgesindeki 16 il için beş farklı yakıt türü kullanarak optimum yalıtım kalınlığını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Diğer çalışmada [10], Türkiye'nin birinci iklim bölgesinde bulunan binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini göz önüne alarak hesaplamış ve P1-P2 metodu ile geri ödeme sürelerini belirlemiştir. Gürel ve Daşdemir [11], çalışmalarında farklı iklim bölgelerinden seçilen Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas illerinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarını hesaplamışlardır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak EPS ve XPS seçilmiştir. Sonuçlar yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum kalınlık

0,036 ile 0,1 m arasında enerji tasarruflarının ise 12,08 TL/m² ve 58,28 TL/m² arasında, geri ödeme sürelerinin 1,5 ile 2,52 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Dombaycı vd. [12], Denizli için iki farklı yalıtım malzemesi ve beş farklı yakıt türü kullanarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Kaynaklı [13], 1992-2005 yılları arasındaki dış hava sıcaklık değerlerini kullanarak, ısıtma mevsimi için derece-saat değerlerini hesaplamış ve bu değerler ile Bursa ili için optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir. Kaynaklı vd. [14], çalışmalarında dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığının tespiti yönünde incelemelerde bulunmuşlardır. Hesaplarda dış ortam sıcaklığına güneş ışınımının etkisi de ilave edilmiş ayrıca ısı yalıtım kalınlığı optimizasyonunda ısıtma ve soğutma enerji gereksinimlerini birlikte ele almışlardır. Enerji ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu için ömür maliyet analizini kullanmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Sınırlı fosil yakıt kaynakları ile enerji ihtiyacını uzun süre karşılayabilmek için enerjinin verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Konutlarda kullanılan enerjinin %80'nin ısıtma amaçlı kullanıldığı göz önüne alındığında, doğru malzeme seçimi ve optimum kalınlıkta ısı yalıtımı uygulamasının önemi ortaya çıkmaktadır. Tez kapsamında konut amaçlı kullanılan örnek bir binada yönlere göre dış duvar optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanarak, yalıtımın ekonomik olarak sağladığı tasarruf incelenmiştir. Bu kapsamda TS 825 standardına uygun model geliştirilmiş, dış duvar iç ve dış yüzey sıcaklık verileri bir yıl süresince sürekli ölçülerek hesaplar yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar bu konuda çalışan mühendis ve mimarlar için faydalı bir referans oluşturacaktır.

1.3 Hipotez

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde, malzemenin uygunluğu, ulaşılabilirliği ile beraber maliyet önemli bir konudur. Binalarda ısı yalıtım uygulamasının ilk yatırım giderlerini arttırması, optimum kalınlıkta ve malzemedeki seçim yapılmasını önemli kılar. İyi tasarlanan bir ısı yalıtımında amaç, sağlanacak enerji tasarrufu ile kısa sürede ilk yatırım giderlerinin geri dönüşümünü sağlamaktır. Güneş radyasyonunun ve rüzgârın etkisiyle binanın farklı yönlerdeki dış duvarlarında meydana gelen ısı geçişi farklı

miktarlarda olmaktadır. Bu çalışmada da binalarda cephelere göre optimum ısı yalıtımı uygulamasının ekonomik anlamda sağlayacağı yararlar irdelenmiştir.

TÜRKİYE'DE ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

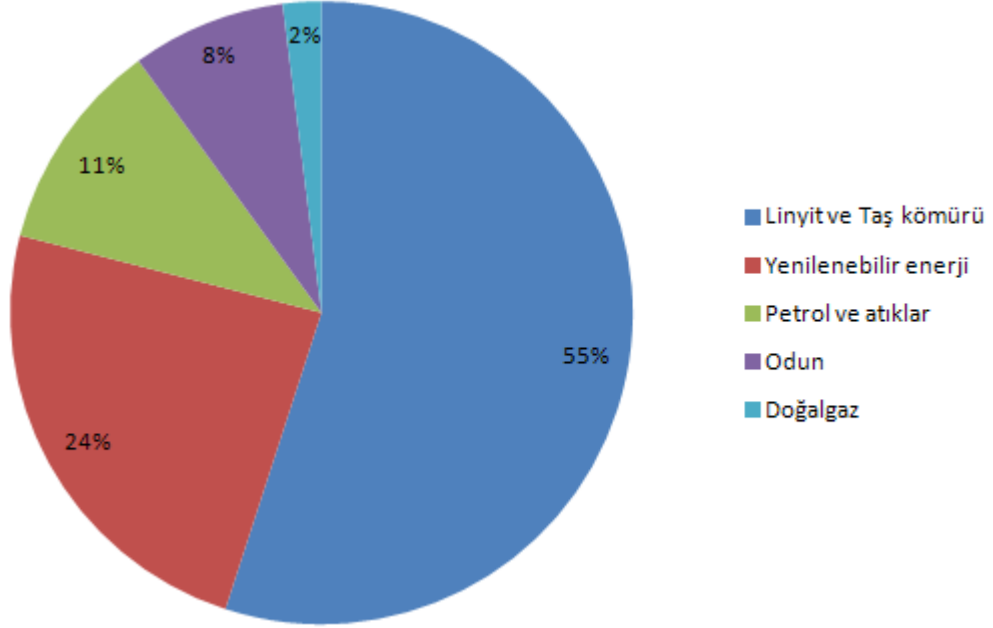
Türkiye ekonomisinin son on yıldır gerçekleştirdiği ekonomik performans ile birlikte üretimin temel girdisi olan enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Ekonomik büyüme hızının hızla artmasıyla beraber enerji tüketimi de artmaya devam etmektedir. Ülkemizde yeterli miktarda enerji kaynakları bulunmadığından dolayı enerjinin büyük bir kısmı zorunlu olarak dışarıdan ithal edilmektedir. Bu zorunluluk ekonomik büyüme artışıyla birlikte toplam ithalatı arttırırken, enerji ithalatının toplam ithalat içindeki oranını da arttırmaktadır. Bu durum cari dengenin enerji ithalatına bağlı olarak sürekli olarak açık vermesine neden olmaktadır.

2011 yılındaki %8,5'lik büyüme oranıyla beraber cari açık oranının da artması ve küresel ekonomideki belirsizlik nedeniyle 2012 yılında ekonomik büyümede yavaşlamaya gidilmesine yol açmıştır. Bu yavaşlama ekonomik hareketliliği sınırlarken, ekonomik büyümenin de hedeflenen değerin altında gerçekleşmesine neden olmuştur. Bu durum enerjide dışa bağımlılığın ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği açısından ne kadar önemli olduğunu açık bir kanıttır [15].

2.1 Türkiye'de Enerji Üretim ve Tüketimi

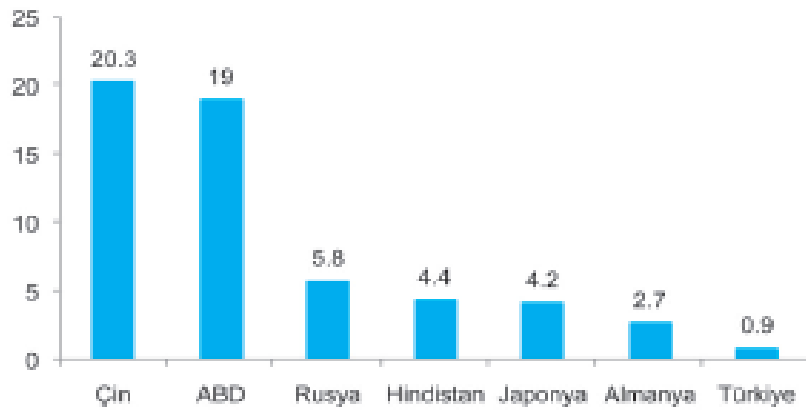
Dünya üzerinde dağıtımında denge sağlanamayan enerji kaynakları Türkiye'de de kendi ihtiyaçlarını karşılayacak durumda değildir. Türkiye'de 2011 yılı itibariyle enerji üretimi 32,2 MTEP iken enerji tüketimi ise 118,8 MTEP seviyesindedir [15]. Türkiye zengin kömür rezervlerine sahip olmasına rağmen yurt içi talebi karşılayacak ölçüde üretim yapılamamaktadır. Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir coğrafyaya sahip olan Türkiye'deki enerji üretiminin ancak dörtte biri yenilenebilir

enerjiden elde edilmektedir. Diğer yandan, dünyanın gelişmiş ülkelerinde var olan nükleer enerji santralleri Türkiye’de daha yeni kurulma aşamasındadır. 2023 yılında enerji tüketiminde nükleer enerji payının toplam enerji tüketiminde yüzde 10 seviyelerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2.1’de Türkiye’deki enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilmiştir.



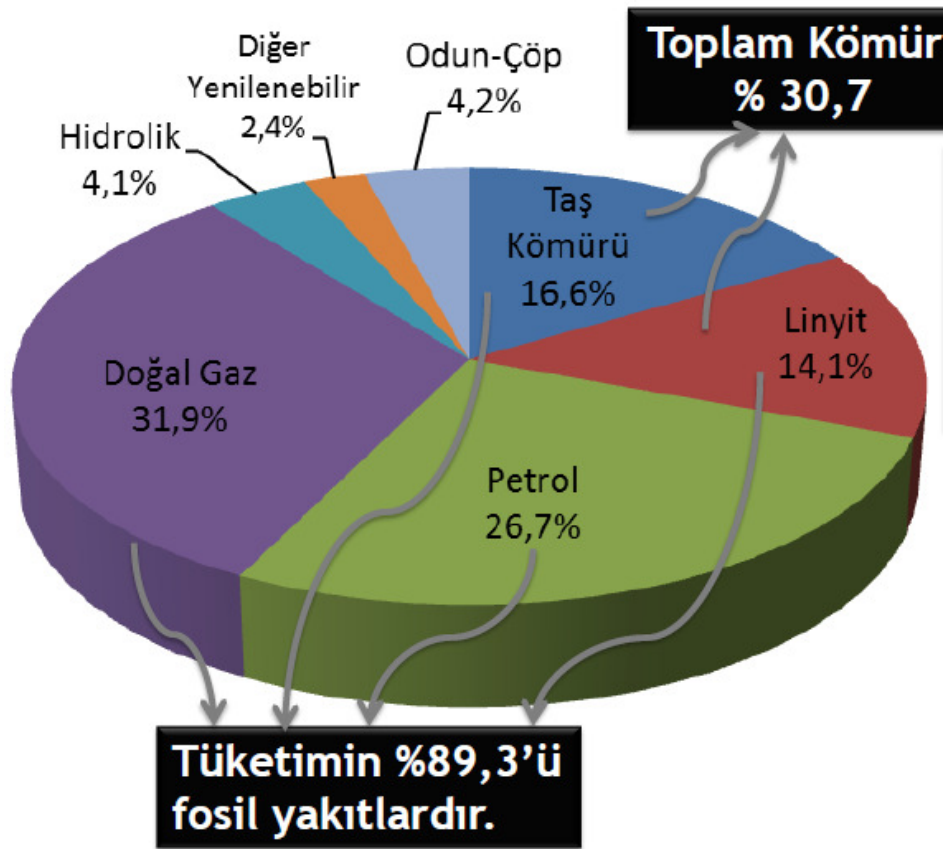
Şekil 2. 1 Birincil Enerji kaynaklarının yerli üretimdeki yüzde dağılımı [16]

Dünyada nüfusun artışı ve ekonomik büyüme ile beraber enerji tüketimi de artmaktadır. Dünya enerji tüketiminde en yüksek payı 2011 yılı verilerine göre sırası ile Çin, ABD ve Rusya almaktadır. Bu ülkeleri Hindistan, Japonya ve Almanya takip etmektedir. Türkiye’nin dünya enerji tüketimindeki payı ise yüzde 0,9’dur.



Şekil 2. 2 Dünya’da ülkelere göre enerji tüketim oranları [17]

Türkiye ekonomisinin büyüme hızı ve gelişmişlik düzeyi arttıkça enerji tüketimi de artmaktadır. Yerel kaynaklar ile enerji üretiminin yeterli seviyede sağlanamaması sebebiyle tüketimdeki artış ile birlikte dışa olan enerji bağımlılığı da artmaya devam etmektedir. Diğer yandan, ekonomik büyüme ile birlikte enerji tüketiminin de artışı ve buna bağlı olarak dışa bağımlılığın artması, aynı zamanda küresel ekonomideki belirsizlikler sebebiyle artan enerji fiyatları ile ekonomi üzerinde olumsuz bir etki meydana getirmektedir. Enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 90'ının fosil yakıtlardan karşılandığı gerçeği düşünüldüğünde enerjide dışa bağımlılığın önemi daha da artmaktadır.



Şekil 2. 3 Türkiye’de birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [16]

2.2 Türkiye’de Enerji İthalatı ve Doğalgazın Rolü

Türkiye’deki enerji tüketiminin yüzde 71’i ithalat yoluyla, yüzde 29’u ise yurt içi üretimden karşılanmaktadır [17]. 2012 yılı toplam ithalat miktarı olan 236,5 milyar dolar’ın 60,1 milyar doları enerji ithalatına ayrılmıştır. Ayrıca enerji ithalatının toplam ithalat içindeki payı yıllara göre artmaktadır. 2011 yılında enerji ithalatının toplam ithalat içindeki payı yüzde 22,5 iken 2012 yılında bu oran yüzde 25,1’e yükselmiştir. Türkiye kömür rezervleri bakımından zengin ve yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olsa da enerji talebinin karşılanmasında temel rol oynayan petrol ve doğalgaza sahip değildir. Bu sebeple, Türkiye dünyanın en çok doğalgaz ithal eden sekizinci, en çok petrol ithal eden on üçüncü ülkesidir.

Çizelge 2. 1 Dünyada Doğalgaz ithalatı [16]

| ÜLKE | BORUHATTI (Milyar m ³) | LNG (Milyar m ³) | TOPLAM (Milyar m ³) | RUSYA 'dan ithalat (Milyar m ³) | RUSYA 'dan ithalat (%) |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| ABD | 93,25 | 12,23 | 105,48 | | |
| Japonya | | 93,48 | 93,48 | 8,23 | 8,80 |
| Almanya | 92,82 | | 92,82 | 34,43 | 37,09 |
| İtalya | 66,26 | 9,08 | 75,34 | 14,20 | 18,85 |
| Büyük Britanya | 34,96 | 18,67 | 53,63 | | |
| Fransa | 34,95 | 13,94 | 48,89 | 8,05 | 16,47 |
| Güney Kore | | 44,44 | 44,44 | 3,90 | 8,78 |
| Türkiye | 28,76 | 7,92 | 36,68 | 16,64 | 45,37 |
| İspanya | 8,86 | 27,54 | 36,40 | | |
| Ukrayna | 33,03 | | 33,03 | 33,03 | 100,00 |
| Rusya | 32,67 | | 32,67 | | |
| Belçika | 18,13 | 6,43 | 24,56 | | |
| Kanada | 20,91 | 2,00 | 22,91 | | |
| Beyaz Rusya | 19,52 | | 19,52 | 19,52 | 100,00 |
| Birleşik Arap Emirlikleri | 17,25 | 0,16 | 17,41 | | |

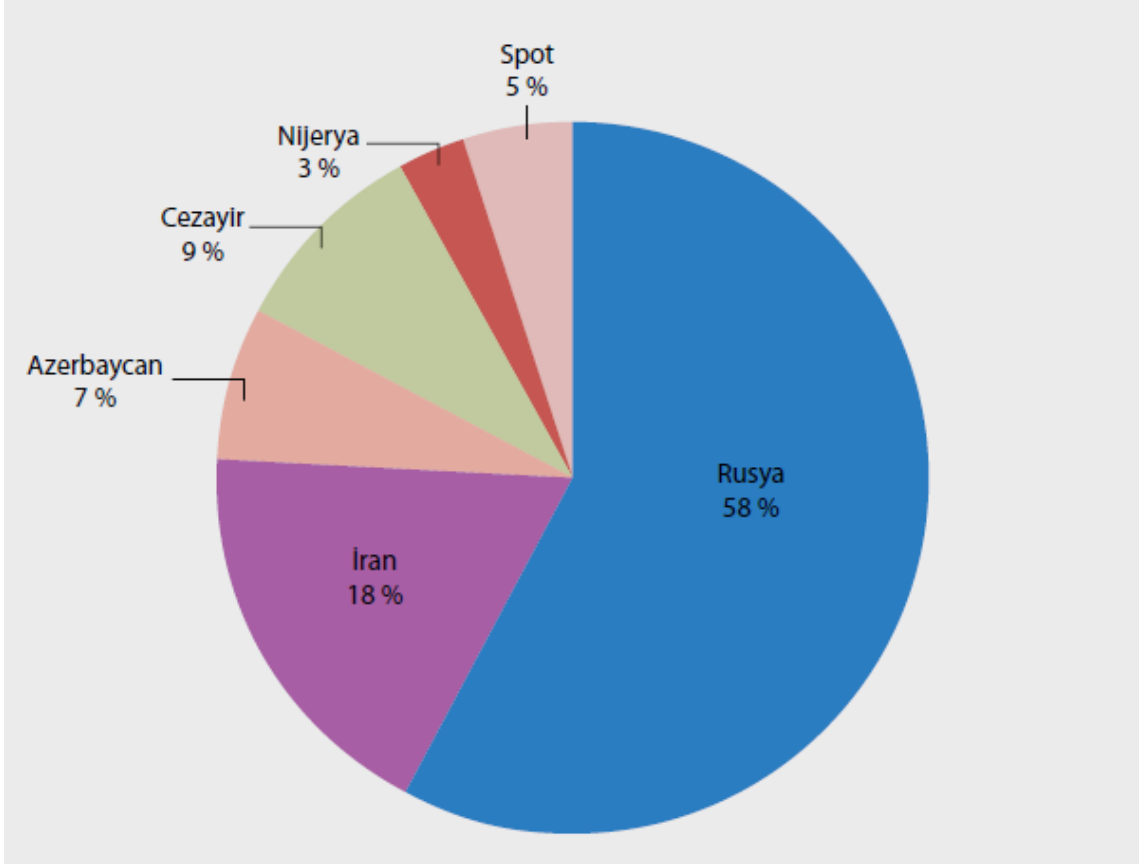
Dünya enerji kaynakları içindeki payı gittikçe artan bir enerji kaynağı olan doğalgaz, uluslararası alanda önemli ticaret akımlarına konu olmaktadır. Gelişmekte olan ve enerji ihtiyacı hızla artan bir ülke olarak Türkiye açısından hızlı ve sürdürülebilir ekonomik gelişmenin önemli unsurlarından birini teşkil etmektedir. [17]

Nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak artan enerji ihtiyacının karşılanmasında alternatif bir enerji kaynağı olarak doğalgazın payını arttırmak ve şehirlerde artarak yoğunlaşan hava kirliliğine bir çözüm bulmak amacıyla 18.09.1984 tarihinde Türkiye ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) arasında doğalgaz sevkiyatına ilişkin olarak imzalanan anlaşmanın ardından, Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) ile SSCB'nin doğalgaz ticareti konusunda yetkili kuruluşu Soyutgaz arasında 14.02.1986 tarihinde 25 yıl süreli ve plato değeri yıllık 6 milyar Cm³ olan bir doğalgaz alım satım anlaşması imzalanmıştır. SSCB ile yapılan ilk alım anlaşmasını, artan doğalgaz ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan diğer ülkeler ile alım anlaşmaları izlemiştir. [17]

Doğalgaz ihtiyacını karşılamada büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye, Rusya ile beraber İran ve Azerbaycan'dan boru hatları kanalı ile Nijerya ve Cezayir'den ise LNG(Sıvılaştırılmış Doğalgaz) formunda doğalgaz ithal etmektedir. Aşağıda Çizelge 2. 2 ve Şekil 2. 4'te ülkeler bazında Türkiye'nin doğalgaz ithalatı verilerinde de görüldüğü üzere ülkemizin doğalgaz ithalatında büyük ölçüde Rusya'ya bağımlılığı söz konusudur.

Çizelge 2. 2 2005-2012 yılları doğalgaz ithalat miktarları (milyon Sm³) [17]

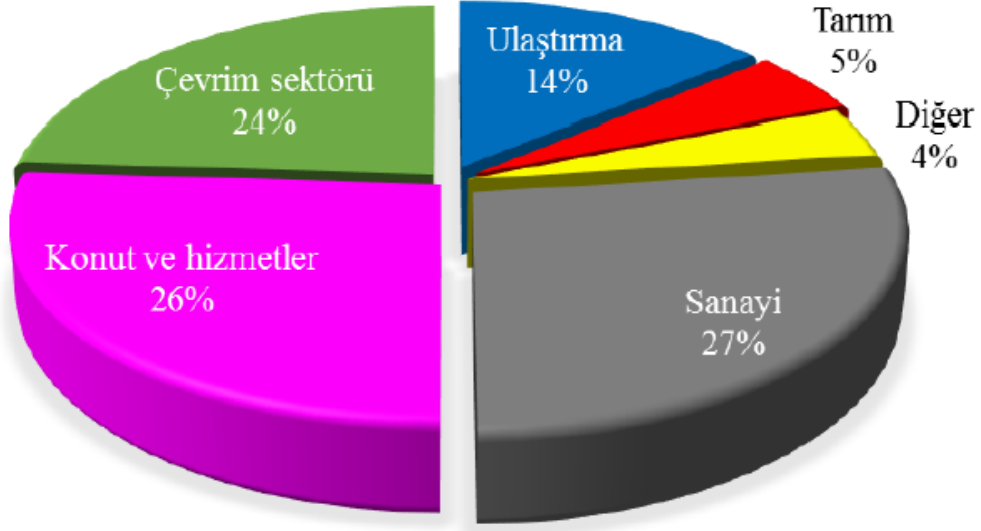
| Yıl | Rusya | İran | Azerbaycan | Cezayir | Nijerya | Spot LNG | Toplam |
|------|--------|-------|------------|---------|---------|----------|--------|
| 2005 | 17.524 | 4.248 | 0 | 3.786 | 1.013 | 0 | 26.571 |
| 2006 | 19.316 | 5.594 | 0 | 4.132 | 1.100 | 79 | 30.221 |
| 2007 | 22.762 | 6.054 | 1.258 | 4.205 | 1.396 | 167 | 35.842 |
| 2008 | 23.159 | 4.113 | 4.580 | 4.148 | 1.017 | 333 | 37.350 |
| 2009 | 19.473 | 5.252 | 4.960 | 4.487 | 903 | 781 | 35.856 |
| 2010 | 17.576 | 7.765 | 4.521 | 3.906 | 1.189 | 3.079 | 38.036 |
| 2011 | 25.406 | 8.190 | 3.806 | 4.156 | 1.248 | 1.069 | 43.874 |
| 2012 | 26.491 | 8.215 | 3.354 | 4.076 | 1.322 | 2.464 | 45.922 |



Şekil 2. 4 Kaynak ülkeler bazında 2012 yılında Türkiye'nin doğalgaz ithalatı [17]

2.3 Konutlarda Enerji Tüketimi

Günümüzde, enerji ihtiyacı ve enerji kaynaklarının kullanımı, insan faaliyetlerinin neredeyse her aşamasında yer almaktadır. 20. Yüzyılda dünya nüfusu dört kat artarken, tüketilen enerjinin on altı kata ulaştığı tespit edilmiştir [18]. Enerji tüketiminin önemli kaynaklarından biri olan konutlarda enerji tüketimi ise hızlı nüfus artışı, kentleşme, teknolojik gelişmeler ile yaşamda kalite ve konforun artması gibi etkenler nedeniyle artmaya devam etmektedir. Küresel enerji tüketiminin iki katına çıkması elektrik, sıcak su, ısıtma, ulaşım gibi günlük yaşamın vazgeçilmez unsurlarının enerjiyle bağlantılı olması enerji stratejisinde köklü değişimleri ve finansal teşvikleri gerektirmektedir. Gelişmiş ülkelerde enerjinin yarısından fazlasını tüketen ve iklim değişikliğine neden olan gazların yarıdan fazlasını üreten, en kirlenici öğeler olarak yapılar tanımlanmaktadır. Yapılar sınıfının içinde konutlar ise toplam enerjinin %26'lık tüketim oranına sahiptir (Şekil 2. 5).



Şekil 2. 5 Birincil enerji tüketiminin 2012 yılında sektörlere göre dağılımı [19]

Konutların çevreye zararlı etkilerini azaltmak için enerji tüketimlerini azaltmak gerekmektedir. Enerji etkinliğini sağlamada; çevresel sorunlara duyarlı, ekolojik dengeyi koruyan, insan yaşamı için gerekli konfor ve sağlık koşullarını yerine getiren konut tasarımları ön plana çıkmaktadır. Enerji etkin, çevresel duyarlı yapıların tasarımı, yapının uygulanacağı bölgenin özelliklerine ve fiziksel çevre koşullarına göre farklılaşabilir. Bu nedenle bölgenin değişen fiziksel çevre koşullarına uygun ölçütlerin seçilmesi ve önceliklerin belirlenmesinde, proje tasarım ekibinin ekonomik, işlevsel ve alana ilişkin kısıtları değerlendirmesi enerji tasarımı optimizasyonuna sistematik yaklaşımla mümkün olabilmektedir. [20]

BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji tüketiminin büyük bir kısmının binalardaki ısı ve elektrik tüketimiyle bağlantılı olduğu düşünüldüğünde, enerji tüketiminin ve çevreye olan etkilerinin azaltılmasında farklı stratejiler gözetilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Etkili bir müdahalenin enerji tüketiminin önemli bir kaynağı olan konut üretiminde ele alınması gerekmektedir. Bina sektörünün yüksek oranda verimlilik kazancı sağlama potansiyeli mevcuttur. Bu anlamda konut yaşam döngüsünde enerji tüketiminin en aza indirilmesi daha sürdürülebilir çözümler oluşturulmasına imkân verecektir.

3.1 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

“Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ile binaların birincil enerji ve karbondioksit emisyonu açısından sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması, çevrenin korunmasının düzenlenmesi hedeflenmektedir. Yönetmeliğin hazırlanmasında AB’nin 2002/91/EC sayılı “Binaların Enerji Performansı Direktifi” temel alınmıştır. 2008 yılı içerisinde hazırlanan iki temel yönetmelik (BEP ve MISSIGP) AB direktifi sertifikasyon uygulamasının da önemli aşamalarını oluşturmaktadır.

BEP yönetmeliğinin amacı; dış iklim şartlarını, iç mekân gereksinimlerini, yerel şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını,


binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir [21].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği mevcut ve yeni yapılacak binalarda;

- Mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi bilinen enerji kullanımını ilgilendiren konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin hesaplama metotlarına, standartlara, yöntemlere ve asgari performans kriterlerine,
- Enerji Kimlik Belgesi (EKB) (Şekil 3. 1) düzenlenmesi, bina kontrolleri ve denetim faaliyetleri için yetkilendirmelere,
- Enerji ihtiyacının, kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasına,
- Ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine,

İlişkin iş ve işlemleri kapsamaktadır [21].

BEP-TR ulusal yazılımın kullanılmasından sonra ilgili yazılımın veri bankası kullanılarak binanın kullanım amacına (otel, hastane, mesken, okul, AVM vb), bulunduğu bölgenin iklim koşullarına (sıcaklık, rüzgâr etkisi vb), mimari tasarımına, (yönlendirme vb) ve yürürlükteki zorunlu standartlara (TS 825 Isı Yalıtım Standardı, vb) uygun inşa edilme durumuna göre ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma gibi konuları kapsayan azami yıllık enerji talebi belirlenmekte, söz konusu enerji talebinin enerji verimli ve/veya temiz enerji kaynaklarından ve teknolojilerinden karşılanması esas alınmak suretiyle atmosfere salınımına müsaade edilecek azami CO₂ salınım miktarı belirlenerek bu sınır değerleri aşan yeni bina yapımına izin verilmemektedir. BEP-TR veri bankasındaki istatistikî bilgiler kullanılarak yıllar bazında müsaade edilen enerji tüketim sınıfı ve CO₂ salınım sınıfı değerlerinin yıllar bazında iyileştirilmesi yapılmaktadır.



ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın

Tipi :

İnşaat Yılı :

Kapalı Kullanım Alanı :

Adres, Parseli :

Adresi :

Bina Sahibinin

Adı Soyadı :


Adresi :

Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse)

Adı Soyadı :


Adresi :

Binanın Resmi



Enerji Performansı

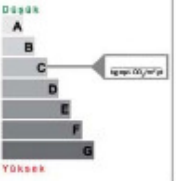
Yüksek



Düşük

SEG Emisyonu


Düşük



Yüksek

Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı

%



| Enerji Kullanım Alanı | Kullanılan Sistem | Yıllık Enerji Tüketimleri | | | Sınıfı |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|---------|
| | | Nispeti (kWh/m ² /yıl) | Birimine (kWh/m ² /yıl) | Kullanım Alanı Başına (kWh/m ² /yıl) | |
| TOPLAM | | | | | ABCDEFG |
| ISITMA | | | | | ABCDEFG |
| SIRHI SICAK SU | | | | | ABCDEFG |
| SOĞUTMA | | | | | ABCDEFG |
| HAVLANDIRMA | | | | | ABCDEFG |
| AYDINLATMA | | | | | ABCDEFG |

Açıklamalar

Belgenin

Numarası :

Veriliş Tarihi :

Son Geçerlilik Tarihi :

Belgeyi Düzenleyenin

Adı Soyadı :

Firması :

Öde Sicil No'su :

İmza

Şekil 3. 1 Enerji Kimlik Belgesi

3.1.1 Enerji Verimliliğinde Mimari Tasarımın Rolü

Enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için önemli olan bir diğer etken de konutlar ve yaşam alanlarının tasarımı ve yapılışında, doğru ve akılcı yöntemlere dayanarak çözümler üretmektir. Bina tasarımı ve yapımına ilişkin yöntemlerin temel amacı yaşam alanlarının enerji bütçesinin insanın yaşayabilmesi için uygun olan ortama göre oluşturulmasını sağlamaktır [22]. Bunun için uygulanması gerekli akılcı tasarım doğrultusunda gereken ölçütler; yapı formu, yapı malzemesi ve yapı kabuğunun tasarlanmasının enerji etkinliği yönünden ele alınmasıdır [23]. Binaların yönlenmesinde bölgenin iklim koşullarının durumuna göre güneş ışınımının ve rüzgârın etkisinden yararlanmada binanın yönü önemli bir etkindir. Binalarda iklimsel konfor gereksinimlerine ve binaların yönüne bağlı olarak farklı miktarda doğal aydınlatma ve ısı kazancı oluşabilmektedir [24].

Enerji korunumunda etkili olan tasarım parametrelerinden bir diğeri yapının formudur. Yapı formu; bina yüksekliği, çatı türü ve eğimi, cephe yüzeyinin eğimi gibi binaya ilişkin geometrik değişkenler aracılığı ile tanımlanabilir. Yapı formu, binanın yüzeyleri arasında meydana gelen ısı transferini korumak açısından önem taşımaktadır. Yapı formunu oluşturan bina yüzeyinin bina hacmine oranı, enerji kayıp ve kazançlarda büyük rol oynamaktadır [23] [24]. Bu oranın yüksek değerde olduğu yapılar iklim ve dış çevre koşulları ile daha fazla etkileşim halinde olmakta, yüzey hacim oranı arttığında ısı kayıpları çoğalmakta, aynı hacmi kaplayan en basit geometrik şekillerde ısı kaybı en aza inmektedir. Bu kapsamda binanın yapılacağı alanın iklimsel ve çevresel özellikleri de ele alınarak enerji etkinliğini sağlayacak en uygun yapı formunun belirlenmesi olanaklı görölmektedir [25].

Enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için yapı kabuğunu oluşturan yapı malzemeleri ve bu malzemelerin tasarımının doğru şekilde belirlenmesi ve analiz edilmesi, malzeme türü belirlenirken amaca uygunluk, sağlanabilme kolaylığı, maliyet, dayanıklılık, vb. ölçütlerin yanı sıra doğal çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de göz önüne alınmalıdır [23].

3.1.2 Enerji Verimliliğinde Elektrik ve Aydınlatma Tesisatı

Binalarda enerji verimliliği önlemleri bina yalıtımı, kaplamaları, camlar vb. gibi ısı sorunlarının göz önüne alınması ve verimli ekipmanların kullanılmasıdır. Diğer sistemler içinde düşük enerji ihtiyacı olan aydınlatma sistemlerinin kullanılmasıdır. Mimari tasarımda doğal aydınlanma kullanımının mümkün olduğunca esas alınması enerji tasarrufu sağlanması açısından önemli bir noktadır. Enerji verimliliği açısından temel amaç enerji tüketimi az olup daha fazla ışık akısı üreten etkinlik faktörü yüksek lambaların kullanılması ve aydınlanma ekipmanlarının kullanım sürelerinin minimuma indirilmesidir. Tüm bunlar enerji verimliliği yönünden gereklidir. Aktif enerji verimliliği, yalnızca enerji tasarruflu cihazlar ve donanımın tesis edildiği yerler ile ilişkili değildir. Enerjinin gerektiğinde kullanımının kontrol edilmesi ile sağlanabilir.

3.1.3 Enerji Verimliliğinde Isı Yalıtım Esasları

Isı yalıtımını, çevresel etkilerle birlikte sağlıklı ve konforlu yaşam için minimum enerji ihtiyacı ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile beraber sağlıklı ve konforu yüksek ortamlarda yaşama isteğinin artmasına karşılık sadece ülkemizde değil, bütün dünyada enerji kaynaklarının tükenmesi enerji verimliliği konusundaki çalışmalara hız vermiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar bir yandan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yolunu açarken diğer taraftan enerjinin verimli kullanılması ile enerji tüketimini azaltacak yöntemleri kullanmanın zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğine öncelik verilmesi, enerjinin verimli kullanımına yönelik özellikle binalarda ısı yalıtım teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasının sağlanması çok önemlidir.

Konutların ısıtma ve soğutmada tüketilen enerji miktarını azaltmanın en etkili yolu ısı yalıtımı uygulamasıdır. Isı yalıtımı ile binanın ısı kaybı ve ısı kazancı azaltılarak, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji miktarı ve atmosfere salınan sera etkisine ve hava kirliliğine neden olan yanma ürünleri de azalacaktır. Binalarda enerji performansı yönetmeliği gereğince binalarda ısı yalıtımı uygulamasında aşağıda belirtilen hususlara uyulması gerekmektedir.

- Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen sınır değerden küçük olması gerekir.
- Binaları dış havadan, topraktan veya düşük iç hava sıcaklığına sahip ortamlardan ayıran yapı bileşenlerinin yüzeyleri, TS 825 standardında belirtilen asgari ısı yalıtım şartlarına uygun şekilde yalıtılması gerekmektedir.
- Bina kabuğunu oluşturan, duvar, döşeme, balkon, konsol, taban, tavan, çatı ve pencere/duvar birleşimleri ısı köprüsü oluşmayacak şekilde yalıtılmalıdır. Mevcut binalarda ısı köprülerinin önlenememesi durumunda, ısıyı nakleden kaplama yüzeylerinde oluşan ısı köprüleri sebebiyle gerçekleşen ısı kaybı hesabı TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2, TS EN ISO 14683 veya TS EN ISO 6946 standardına göre yapılır ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında dikkate alınır.

- Isı yalıtım projesinde Isı kayıpları, ısı kazançları, kazanç/kayıp oranı, kazanç kullanım faktörü ve aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının büyüklüklerinin, TS 825 standardında verilen “Binanın Özgül Isı Kaybı” ve “Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı” çizelgelerindeki örneklerde olduğu gibi çizelgeler halinde verilmesi ve hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, TS 825 standardında verilen yıllık ısıtma enerjisi formülünden elde edilecek olan sınır değerden büyük olmadığı gösterilmesi gerekmektedir [26].

3.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı ülkemizde enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlanması konusunda çözümler getirmektedir.

Ülkemizdeki binaların yalıtılması ile ilgili standart, TS 825 numaralı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardıdır. Bu standardın AB standartlarına uyarlanan ilk hali 29 Nisan 1998 tarihinde yürürlüğe konulmuştur. 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren tüm binalarda uygulanmak üzere zorunlu standart halini alan standardın en yeni hali 24 Mayıs 2008 tarihinde TSE teknik kurulunda kabul edilerek yürürlüğe girmiş ve 26 Ağustos 2008 tarihinde Resmi Gazete’de tebliğ olarak yayımlanmıştır. Tebliğ’de; “14/6/1999 tarihli ve 23725 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Mecburi Standard Tebliği” ile mecburi uygulamaya konulan TS 825/Nisan 1999 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardının Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurul’ca değiştirilmesi sebebiyle yürürlükten kaldırılmış olup, yerine revize edilen ekli TS 825/Mayıs 2008 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı mecburi olarak uygulanacaktır” denilmektedir. Burada özetle; günümüzde geçerli olan TS 825 Standardının da bir önceki gibi zorunlu standart kapsamında olduğu ve ilgili kişi/kurum/kuruluşların uymak ve uygulamakla yükümlü oldukları belirtilmektedir. Özetle, TS 825 standardı, bir binanın tasarım aşamasından başlayarak enerjinin verimli kullanılması için gerekli yalıtımların yapılmasını zorunlu hale getirmektedir [27].

3.2.1 TS 825 Standardının Amacı

TS 825 ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak Standard hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Bu standart ayrıca aşağıdaki amaçlarla da kullanılabilir:

- Yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standardda açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek,
- Mevcut binaların net ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,
- Mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek,
- Bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını millî seviyede tahmin etmek.

3.2.2 TS 825 Standardının Uygulama Alanları

TS 825 standardı; konutlara, yönetim binalarına, iş ve hizmet binalarına, otel, motel ve lokantalara, öğretim binalarına, tiyatro ve konser salonlarına, kışlalara, ceza ve tutuk evlerine, müze ve galerilere, hava limanlarına, hastanelere, yüzme havuzlarına, imalat ve atölye mahallerine, genel kullanım amaçları dolayısıyla iç sıcaklıkları asgari 15 °C olacak şekilde ısıtılan iş yerleri ile endüstri ve sanayi binalarına uygulanmaktadır [28].

3.2.3 TS 825 Standardının Genel Esasları

TS 825 standardı, binaları bir bütün olarak ele almaktadır. Standartta verilen hesaplama metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdan ve eğer varsa, ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşmaktadır.

TS 825' de binanın ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyen faktörler; bina özellikleri, ısıtma sisteminin karakteristikleri, iç iklim şartları, dış iklim şartları, iç ısı kazanç kaynakları ve güneş enerjisi olarak belirtilmiş, hesaplama metodunda, iletim ve havalandırma yoluyla

gerçeklesen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır. Bu etkenlerin hesaba katılmasıyla binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplandığı bir metot belirlenmiştir. Hesaplanan değerin, standartta verilen enerji ihtiyacının sınır değerlerinin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, yalıtım ayrıntılarına ait çözümlerinin projelendirilmesi ve raporlanması gerekmektedir.

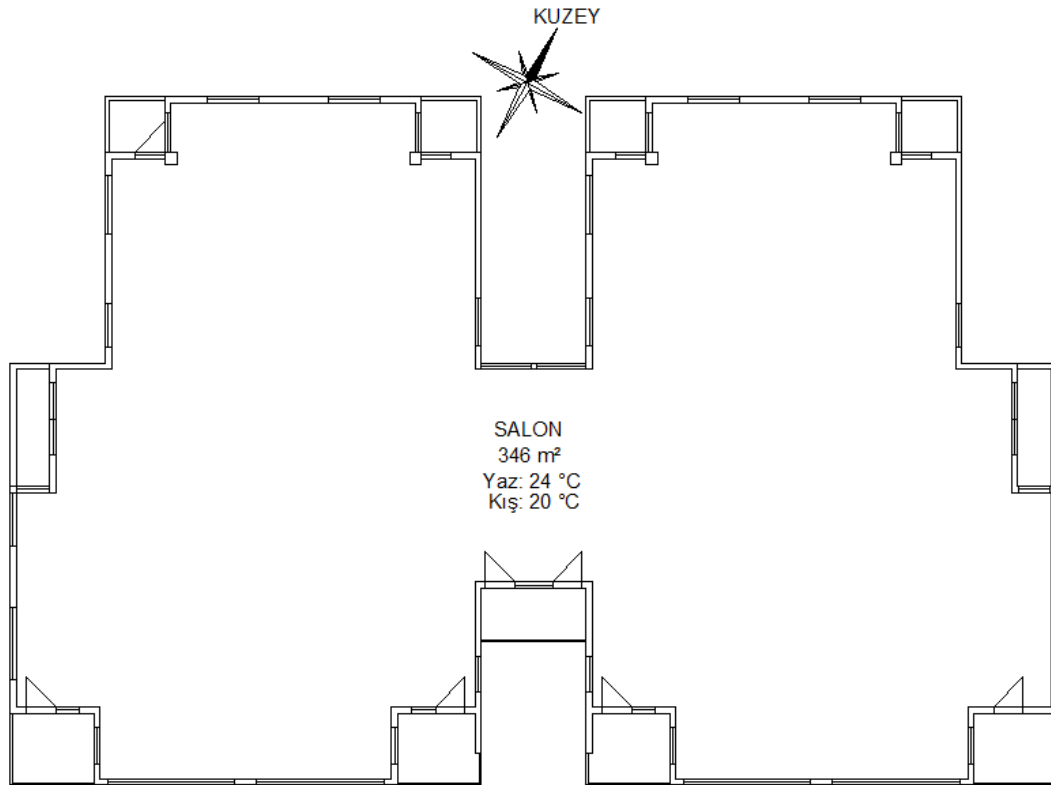
Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanmakta, kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekmektedir. Standartta tanımlanan hesaplama metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama iletmesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenmekte ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç kazançlar çıkartılarak hesaplanmaktadır. Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunmaktadır. Böylece binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânını da sağlamaktadır.

Ayrıca dış ortam ile temas halinde bulunan tüm yapı bileşenlerinde meydana gelen buhar difüzyonunun analiz edilmesi ve standartta verilen şartları her bir yapı elemanının sağlayacak şekilde tasarlanması da gerekmektedir. Buna göre TS 825'e göre yoğuşan su miktarının, yoğuşmanın meydana geldiği ara kesitteki malzemelere zarar vermeyeceği kabul edilen belirli bir sınır değeri asmaması ve kuruma periyodunda tamamen buharlaşması gerekmektedir. Enerji sınır değerleri içerisinde kalacak şekilde tasarımılanan bir binada bulunan tüm yapı bileşenleri yoğuşma kriterlerini de sağlıyorsa yapılan tasarımın uygun olduğu rapor haline getirilmektedir. Yoğuşma veya enerji sınır değerlerinden birisini sağlayamayan tasarımlar standarda uygun olmadığından, yapı ruhsatı alamamaktadır.

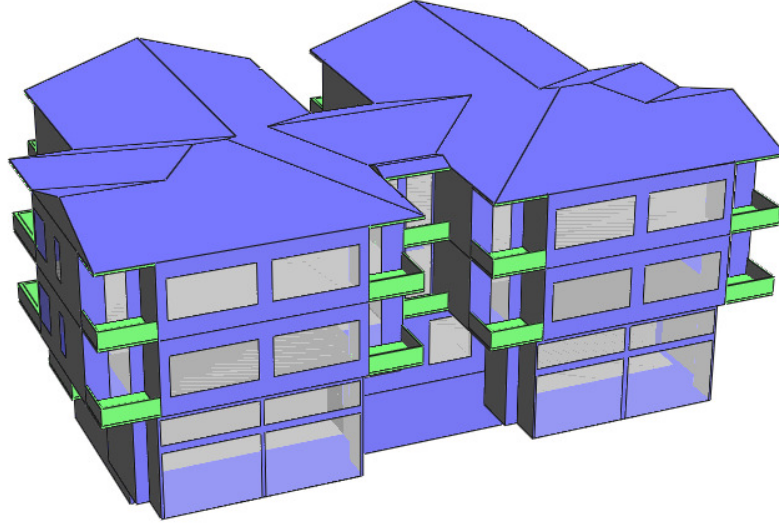
BÖLÜM 4

DENEYSEL MATERYAL VE HESAP METODU

Optimum yalıtım kalınlığı tespiti yapılan bina İstanbul Beykoz'da bulunmaktadır. Bina 2 normal kat, zemin kat ve bodrum kattan oluşmaktadır. Binanın normal kat planı ve üç boyutlu gösterimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Mevcut binada farklı yönler için ayrı ayrı olmak üzere dış duvar iç yüzey, dış duvar dış yüzey, iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerleri ısı çift cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. Ölçümü alınan yüzey sıcaklık değerleri ısı kayıp/kazanç hesaplarında referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 4. 1 Mevcut normal kat planı

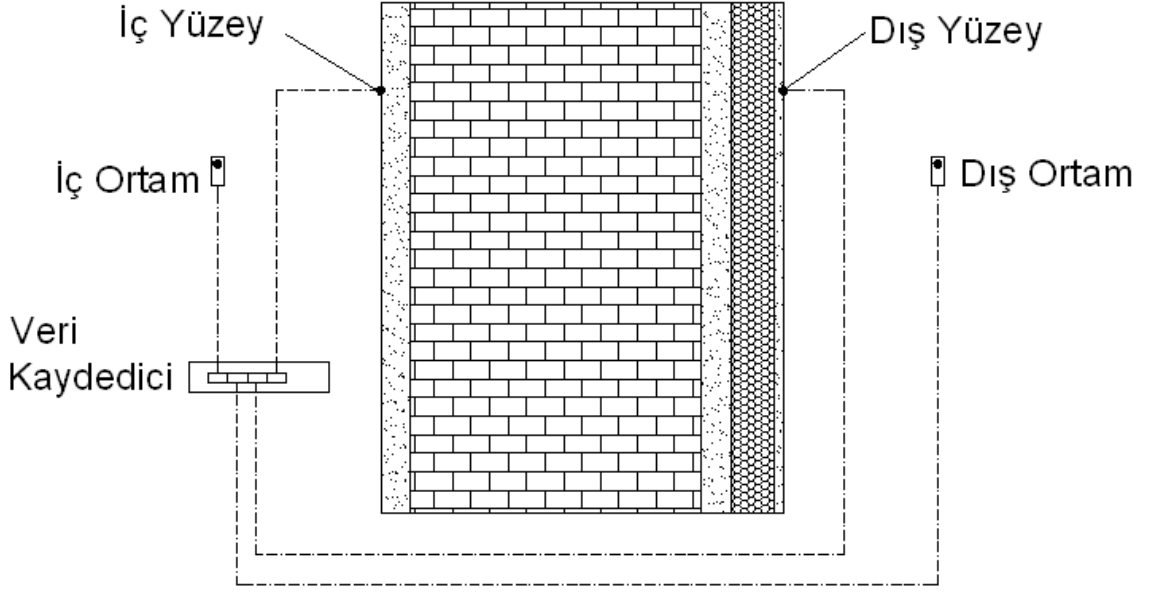


Şekil 4. 2 Mevcut bina görünüşü

4.1 Veri Kaydedici ile Yüzey Sıcaklık Ölçümü

Mevcut binada bir sene boyunca tüm bina yönlerinde iç yüzey, iç ortam, dış yüzey ve dış ortam sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bunun için binanın dış duvarının iç ve dış yüzeyine, iç ortam ve dış ortama ısıl çift kanalları konumlandırılmış (Şekil 4.3) ve eş zamanlı olarak sıcaklık ölçümleri alınmıştır. İç ortam sıcaklıklarını ölçmek amacıyla konumlanan sıcaklık sensörleri, odaların içinde kat yüksekliklerini ortalayacak ve odada bulunan herhangi bir ısı kaynağından etkilenmeyecek şekilde monte edilmiştir. Dış ortam sıcaklıklarını ölçen sıcaklık sensörleri ise tüm cephelerde bulunan pencerelerden son kat yüksekliğinde, dış duvara teması bulunmadan ve dış duvardan gelen ısı akısına maruz kalmayacak bir şekilde dış ortamda konumlandırılmıştır. Bu sensörlerin iç ortam sıcaklıklarından etkilenmelerini önlemek amacıyla ölçüm noktaları pencerelerden uzakta seçilmiştir.

Yüzey sıcaklıkları ise tüm bina yönleri için en üst katta bulunan dairelerin tuğla duvar yüzeylerinden ölçülmüştür. Kullanılan sensörler duvarların iç ve dış yüzeylerine herhangi bir ısı kaynağından etkilenmeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Ölçülen sıcaklık değerleri cihaz belleğinde depolanarak ısı kaybı/kazancı ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplarında esas olarak alınmıştır.



Şekil 4. 3 Duvar kesit detayı

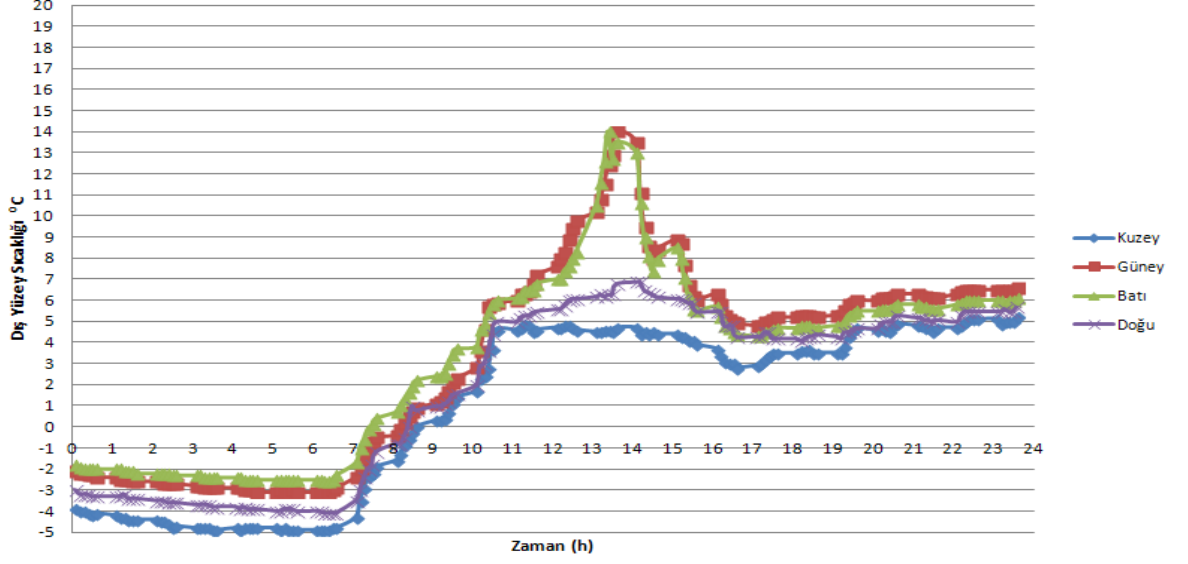
Ölçüm için testo marka 176 T4 tipi harici sensör bağlantılı 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Deneyler sırasında her biri dört kanallı olmak üzere 4 adet veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Cihaz ile 4 kanallı yardımıyla tüm bina cepheleri için eş zamanlı sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kullanılan cihaz iki milyon veri depolama kapasitesine sahip olup, -20 +70 C° sıcaklık aralıklarında çalışmaktadır.



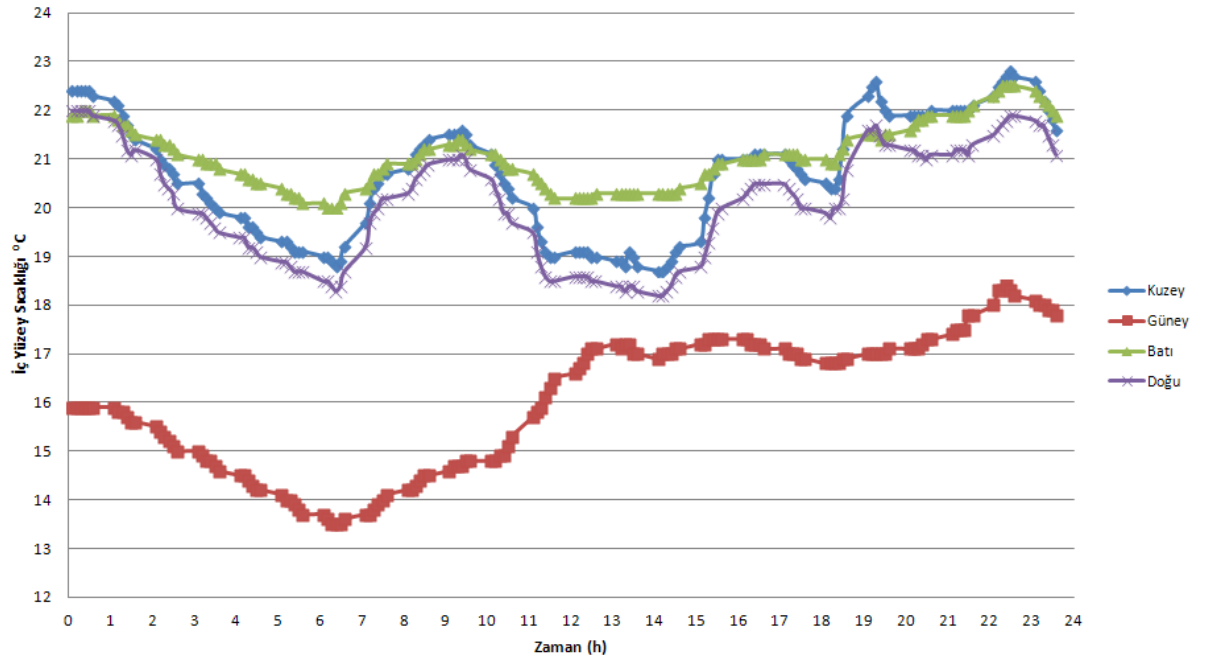
Şekil 4. 4 Veri kaydedici cihazı

Yıl boyunca yapılan yüzey sıcaklık ölçümlerinde cihazın elde ettiği veriler ışığında en soğuk ve en sıcak günler incelenmiştir. Buna göre yıl içinde en soğuk gün 10 Ocak ve en sıcak gün 18 Ağustos olarak kayıt edilmiştir. Bu günler için yönlere göre ölçülen iç yüzey

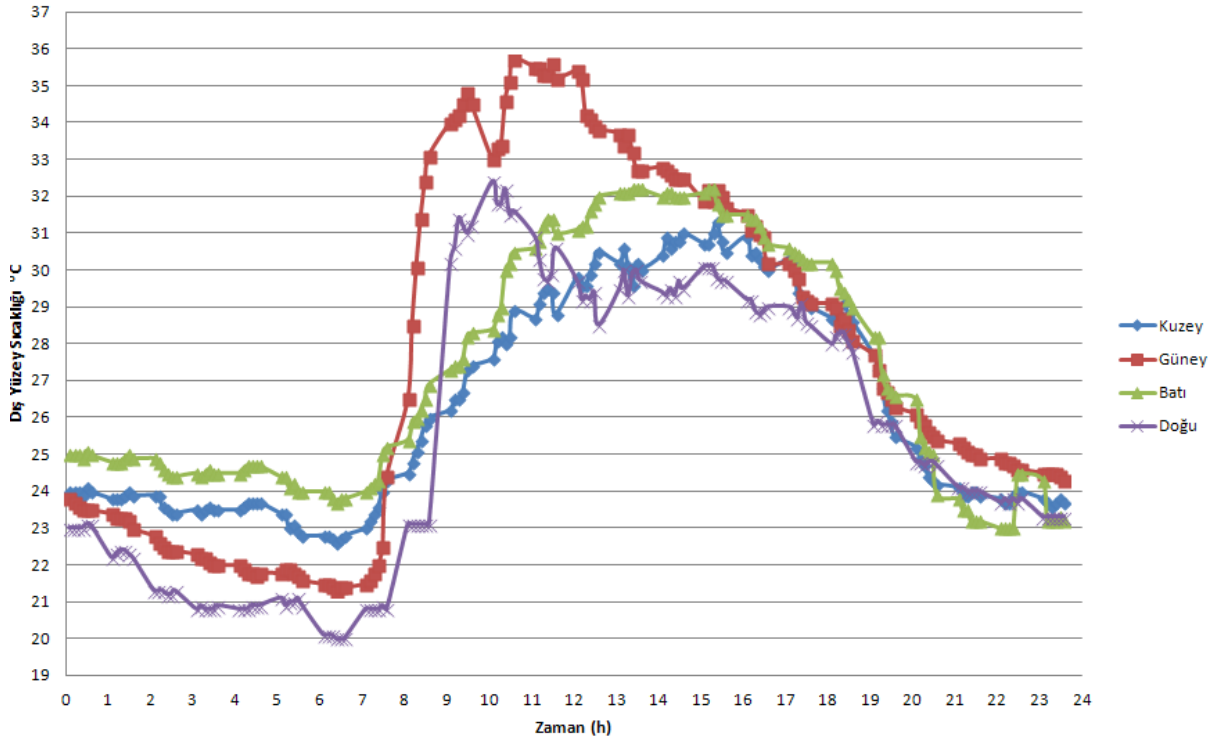
ve dış yüzey sıcaklık-zaman grafikleri Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



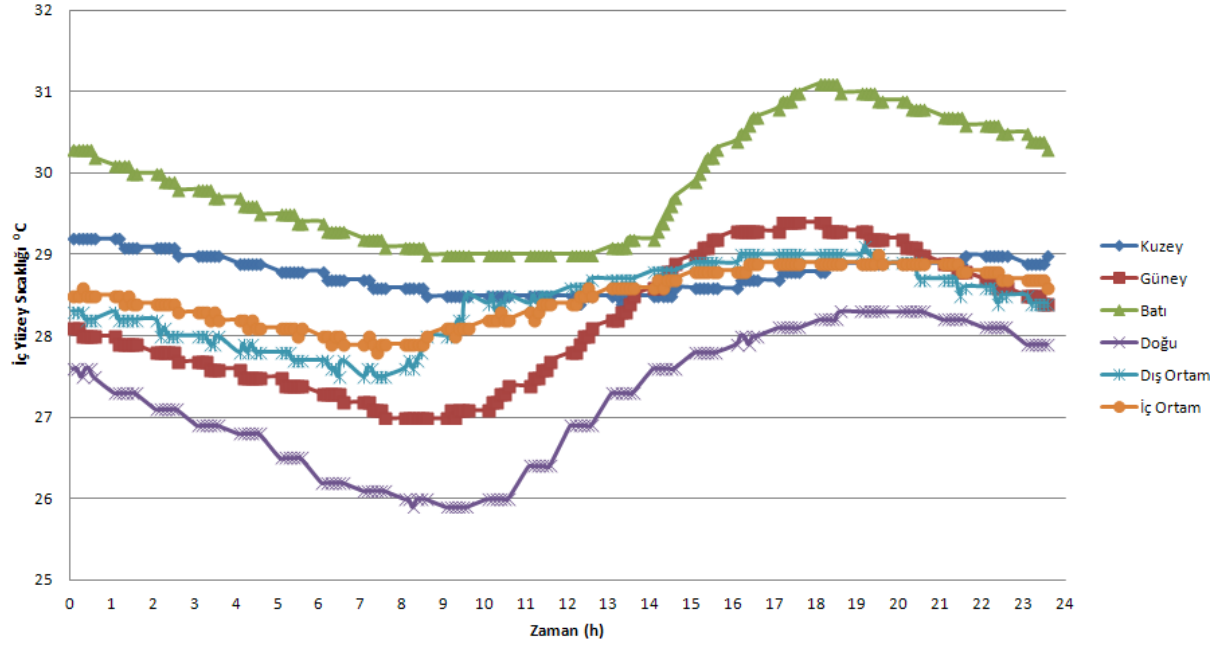
Şekil 4. 5 Dış yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (10 Ocak)



Şekil 4. 6 İç yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (10 Ocak)



Şekil 4. 7 Dış yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (18 Ağustos)



Şekil 4. 8 İç yüzey sıcaklığı-zaman grafiği (18 Ağustos)

4.2 Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için öncelikle binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması gerekir. Bu aşamada binanın dış duvar ısı geçiş katsayıları TS 825 esas alınarak belirlenir.

$$U = \frac{1}{R_i + R_d + R_{izo} + R_e} \quad (4.1)$$

Burada R_i ve R_e sırasıyla iç ve dış ortamın ısı taşınım direncini, R_d duvar katmanlarının ısı iletim direncini göstermektedir. R_{izo} ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup denklem (4.2)'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$R_{izo} = \frac{L_i}{k_i} \quad (4.2)$$

Burada L_i ve k_i sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ile yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını göstermektedir.

Yıllık ısıtma enerjisi ise denklem (4.3) esas alınarak ölçülen yüzey sıcaklık değerleri kullanılarak aylık olarak hesaplanmıştır.

$$Q_{yıl} = \sum_{j=1}^{12} \left(H_T (T_i - T_d) - \eta (\phi_i + \phi_s) \right) \times t \quad (4.3)$$

4.3 Ekonomik Analiz Yöntemi

Bir yatırımın ekonomikliğinin değerlendirilmesi aşamasında kullanılacak birçok ekonomik analiz yöntemi vardır. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için de, ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan P1-P2 metodu kullanılmıştır.

P1-P2 metodu, bir yatırımın ekonomik olup olmadığını belirleyen yöntemlerden bir tanesidir. Günümüzde birçok çeşitli araştırma çalışmalarında ekonomik analiz yöntemi olarak P1-P2 metodu kullanılmaktadır. Yatırım ömrü boyunca faiz ve enflasyon oranlarına bağlı olarak bugünkü değer faktörü P1 denklem (4.4)'teki gibi hesaplanır. Hesaplarda bakım ve sürekli maliyetler olmadığı kabul edildiğinden P2 değeri 1 alınmıştır.

$$P1 = \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \quad (4.4)$$

4.4 Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesi fiyatı, ısı iletim katsayısı, ısıtma sistemi verimi, kullanılan yakıtın türü ve buna bağlı olarak ısı değerleri ve fiyatı gibi parametrelere bağlıdır. Buna göre yalıtım malzemesinin maliyeti (4.5) eşitliği ile hesaplanır.

$$C_{izo} = C_i \times L_i \times A_d \quad (4.5)$$

Burada C_i TL cinsinden metreküp başına yalıtım maliyeti, L yalıtım kalınlığı ve A_d duvar alanını ifade etmektedir.

Binanın ısıtma için gereksinim duyduğu yıllık yakıt maliyeti ise denklem (4.6) yardımıyla hesaplanır.

$$C_{yf} = \frac{Q_{yıl}}{H \times \eta} \times C_f \quad (4.6)$$

H (kJ/Nm³) doğalgazın alt ısı değeri, η ısıtma sisteminin verimini ve C_f (TL/Nm³) yakıtın birim maliyetini göstermektedir.

P1-P2 metoduna göre net enerji kazanımı, E_1 yalıtımlı durumdaki ve E_2 mevcut bina yalıtımındaki durumlar için yakıt tüketimleri olmak üzere denklem (4.7) ile hesaplanır.

$$S = \Delta E \times C_f \times P1 - C_i \times P2 \times L_i \times A_d$$

$$S = (E_2 - E_1) \times C_f \times P1 - C_i \times P2 \times L_i \times A_d$$

$$E_1 = \frac{\sum_{j=1}^{12} \left[\left(M + \frac{A_d}{R_d + \frac{L_i}{k_i}} \right) \times \Delta T + \left(\left(e^{\frac{(M + A_d \times U_d) \times \Delta T}{\varphi_i + \varphi_s}} - 1 \right) \times (\varphi_i + \varphi_s) \right) \right] \frac{86400 \times 30}{1000}}{H \times \eta}$$

$$E_2 = \frac{Q_{yıl}}{H \times \eta}$$

$$S = -E_1 \times C_f \times P1 + E_2 \times C_f \times P1 - C_i \times P2 \times L_i \times A_d \quad (4.7)$$

Optimum yalıtım kalınlığı, net enerji kazanımının maksimum olduğu değerdeki kalınlıktır. Bundan dolayı enerji kazanım denkleminin türevini sıfıra eşitleyen yalıtım

kalınlığı değeri optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı denklem (4.8) ile bulunmaktadır.

$$L_{opt} = \left(\sum_{j=1}^{12} \frac{k \times \Delta T \times 2592 \times C_f \times P_1}{H \times \eta \times C_i \times P_2} \left(1 - e^{-\frac{(M + \frac{Ad}{Li}) \times \Delta T}{Rd + \frac{ki}{\varphi i + \varphi s}}} \right) \right)^{0,5} - R_d \times k_i \quad (4.8)$$

Denklemden M aylık yalıtımsız duvar için, ısı iletim katsayısı ve duvar alanı çarpımını göstermektedir.

4.5 Geri Ödeme Süresi Tespiti

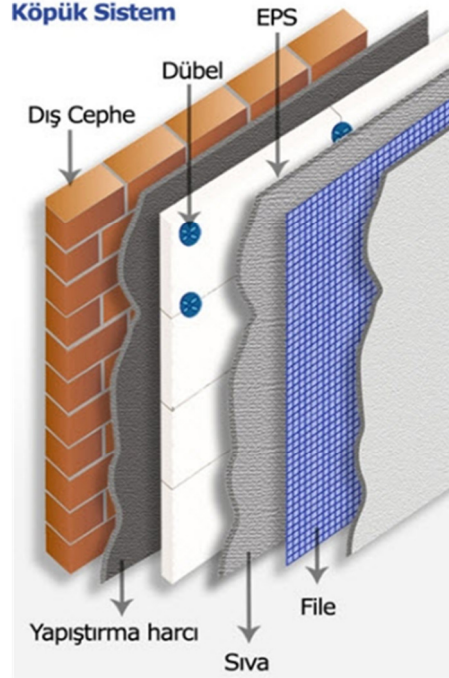
Bir yatırımın kazançlı olması için yapılan maliyetin en kısa sürede kendini karşılması ve yatırımı kara geçirmesi gerekmektedir. Bunun için ısı yalıtımı yatırımında binaların ortalama ömrü de göz önüne alındığında geri ödeme süresi kısa olan bir yalıtım uygulaması zorunlu olmaktadır. Zaman içindeki enflasyon ve faiz oranlarının değişkenliği dikkate alınarak gelirlerin giderleri kaç yıl içinde karşılayacağı net enerji kazanımının sifira ulaştığı noktada başlar ve denklem (4.9) yardımıyla hesaplanır.

$$GÖS = \frac{\ln \left(1 - \frac{C_i \times P_2 \times L_i \times Ad \times H \times \eta \times (d - i)}{C_yf \times H \times \eta - C_f \times \sum_{j=1}^{12} \left[\left(M + \frac{Ad}{Rd + \frac{Li}{ki}} \right) \times \Delta T + \left(\left(e^{\frac{(M + Ad \times U_d) \times \Delta T}{\varphi i + \varphi s}} - 1 \right) \times (\varphi i + \varphi s) \right) \right] \frac{86400 \times 30}{1000}} \right)}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (4.9)$$

YÖNLERE GÖRE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI HESAPLARI

5.1 Binaın Yalıtım Detaylarının Tespiti

Optimum yalıtım kalınlığı tespiti yapılan bina İstanbul Beykoz'da bulunmaktadır. Bina 2 normal kat, zemin kat ve bodrum kattan oluşmaktadır. Binaın mevcut yapısında 3 cm EPS ısı yalıtımı kullanılmıştır. Yapılan tüm hesaplarda ve irdelenen sonuçlarda bu durum göz önüne alınarak optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir.



Şekil 5. 1 Mevcut bina dış duvar detayı

Binadaki mevcut duruma göre ısı geçirgenlik katsayısı hesabı çizelge 5.1'de gösterilmiştir. 2. İklim bölgesinde bulunan İstanbul için ısı geçirgenlik sınır değerleri

(Çizelge 5.2) dikkate alındığında mevcut durumdaki yalıtımın yeterli olmadığı görülmektedir.

Çizelge 5. 1 Dış duvar ısı geçirenlik katsayısı

| Yapı Bileşeni | Yapı Bileşeni Kalınlığı (m) | Isıl İletkenliği Hesap Değeri λ_n (W/m.K) | Isıl Geçirenlik Direnci R (m ² .K/W) | Isı Geçirenlik Katsayısı U (W/m ² .K) |
|---|-----------------------------|---|---|--|
| İç Yüzeyin Yüzeysel Isıl İletim Direnci | - | - | 0,13 | U=1/R _T |
| İç Sıva (Çimento Harcı 4.2) | 0,02 | 1,6 | 0,013 | |
| Ytong Duvar (Gaz Beton Levha 6.1.1) | 0,2 | 0,29 | 0,690 | |
| Dış Sıva (Çimento Harcı 4.2) | 0,02 | 1,6 | 0,013 | |
| Köpük (Expand Polistren Köpük 10.3.1.1) | 0,03 | 0,04 | 0,750 | |
| Dış Sıva (Çimento Harcı 4.2) | 0,006 | 1,6 | 0,004 | |
| Dış Yüzeyin Yüzeysel Isıl İletim Direnci | - | - | 0,04 | |
| Toplam Isıl Geçirenlik Direnci R_T (m².K/W) | | | 1,64 | 0,61 |

Çizelge 5. 2 TS 825'e göre sınır olarak kullanılması tavsiye edilen U değerleri

| | U _D | U _T | U _t | U _P |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | (W/m ² K) | (W/m ² K) | (W/m ² K) | (W/m ² K) |
| 1. Bölge | 0,70 | 0,45 | 0,70 | 2,4 |
| 2. Bölge | 0,60 | 0,40 | 0,60 | 2,4 |
| 3. Bölge | 0,50 | 0,30 | 0,45 | 2,4 |
| 4. Bölge | 0,40 | 0,25 | 0,40 | 2,4 |

Yapılan ölçümler sonucu uygulanan hesap metodunda ısı kaybeden yüzeyler için iç yüzey ve dış yüzey sıcaklık değerleri esas alındığından, duvar ısı geçirenlik katsayısı yüzeysel ısı taşınım değerleri olmadığı durum için belirlenmiştir. Yüzeysel ısı taşınım değerleri olmadığı durum için, iletimle toplam ısı geçiş katsayısı ise denklem (5.1) yardımıyla hesaplanır.

$$\frac{1}{\Lambda_d} = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_e} \quad (5.1)$$

$$\Lambda_d = \frac{1}{\frac{0,02}{1,6} + \frac{0,2}{0,29} + \frac{0,02}{1,6} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,006}{1,6}}$$

$$\Lambda_d = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$$

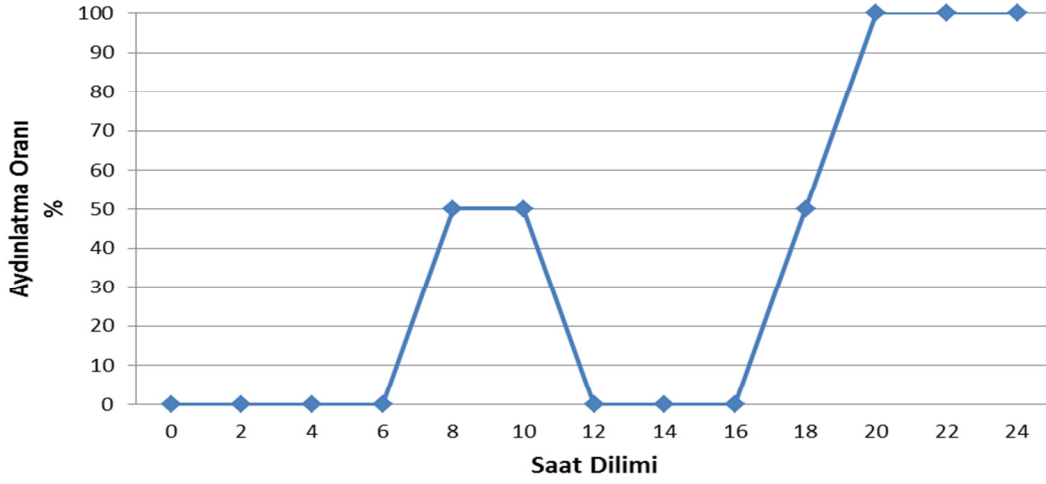
5.2 Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları

Mevcut binanın yıllık ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları enerji ihtiyacını belirlemede önemli olmaktadır. Binanın belirlenen yıllık enerji ihtiyacına göre tasarruf potansiyeli ve optimum yalıtım kalınlığı hesapları incelemeleri yapılmıştır. Buna göre ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları için belirlenen tasarım kriterleri Çizelge 5.3'te olduğu gibidir.

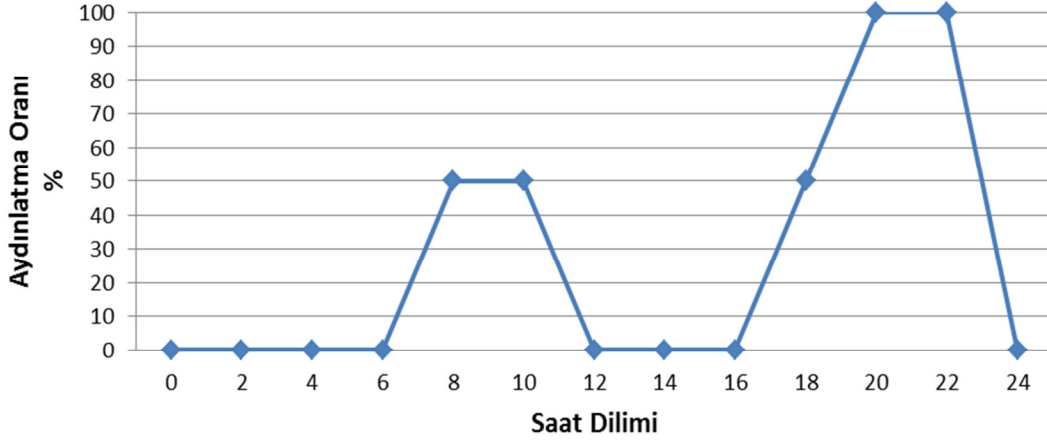
Çizelge 5. 3 Isı kaybı ve ısı kazancı tasarım bilgileri

| Bina Bilgileri | |
|-----------------------------------|---|
| Bina Yeri | İstanbul, Kanlıca |
| Enlem, Boylam, Rakım | 40,97 Kuzey, 28,82 Doğu, 37 m |
| Bina Net Alanı | 957 m ² |
| Bina Kat Sayısı | 2 Normal Kat, 1 Zemin Kat, 1 Bodrum Kat |
| Λ_d | 0,68 W/m ² K |
| U_p | 2,5 W/m ² K |
| U_T | 0,65 W/m ² K |
| U_{ds} | 3,29 W/m ² K |
| SHGC _{Pencere} | 0,75 |
| Hesap Kabulleri | |
| Aydınlatma Gücü _{Dükkan} | 30 W/m ² |
| Aydınlatma Gücü _{Konut} | 15 W/m ² |
| İnsan Sayısı _{Dükkan} | 10 Kişi |
| İnsan Sayısı _{Konut} | 8 Kişi |
| Yaz Hava Sızıntı Değeri | 0,25 Ach |
| Kış Hava Sızıntı Değeri | 0,5 Ach |
| Kişi Başı Duyulur Isı Kazancı | 75 W |
| Kişi Başı Gizli Isı Kazancı | 55 W |
| İç Ortam Yaz Sıcaklığı | 24 °C |
| İç Ortam Kış Sıcaklığı | 20 °C |
| Dış Hava Bilgileri | |
| Yaz KT Sıcaklığı | 34 °C |
| Yaz YT Sıcaklığı | 24,4 °C |
| Kış Tasarım Sıcaklığı | -2,6 °C |

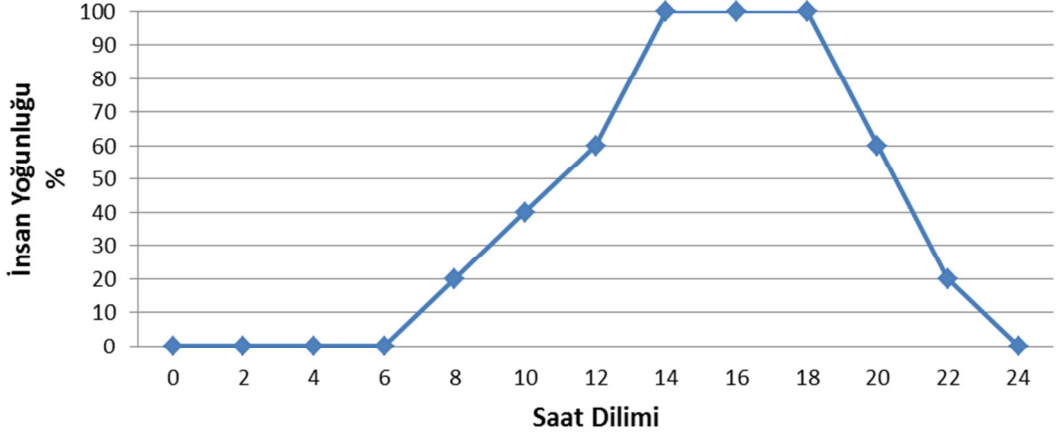
Saatlik ısı kazancı ve ısı kaybı hesaplarında, tüm iç ısı kazançlarının etkisi hesaplamalara dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle konut ve dükkân mahallerinde aydınlatma ve insan yükleri için saatlik yük profilleri tanımlanmıştır. Yıllık enerji tüketim değerlerinin doğru hesaplanması için bu profillerin doğru tanımlanmış olması gerekmektedir. Konut ve dükkân aydınlatmaları gece 24.00 saatinden sabah 06.00 saatine kadar kapalı olduğu varsayılarak hesap yapılmıştır. Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’da iç yüklerin profilleri gösterilmiştir.



Şekil 5. 2 Konut için aydınlatma profili

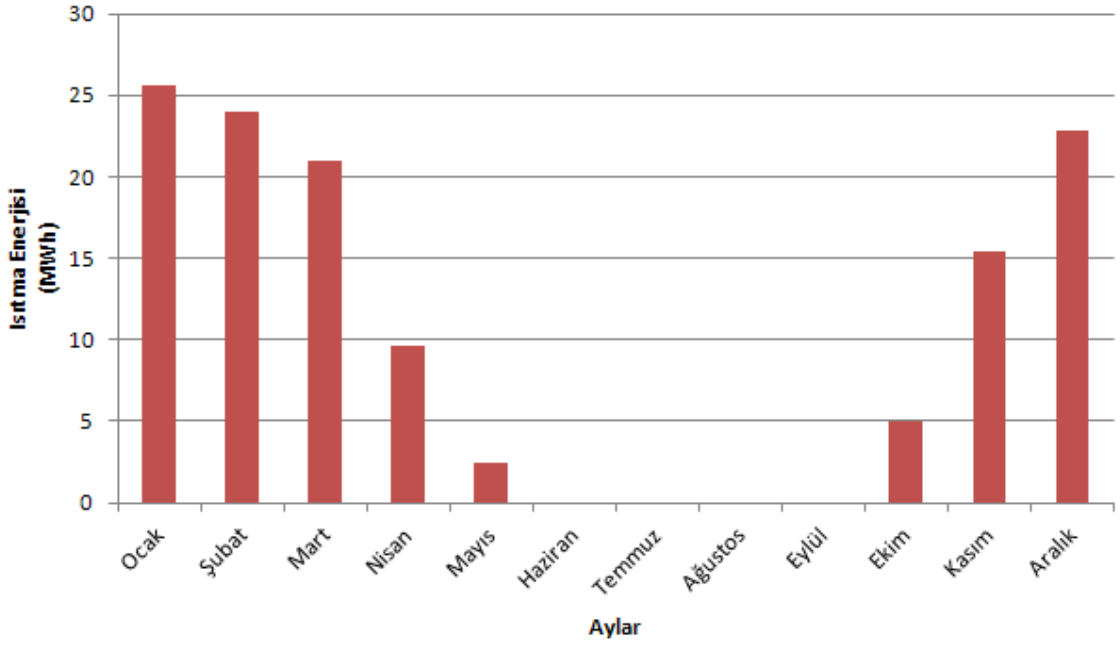


Şekil 5. 3 Dükkân aydınlatma profili

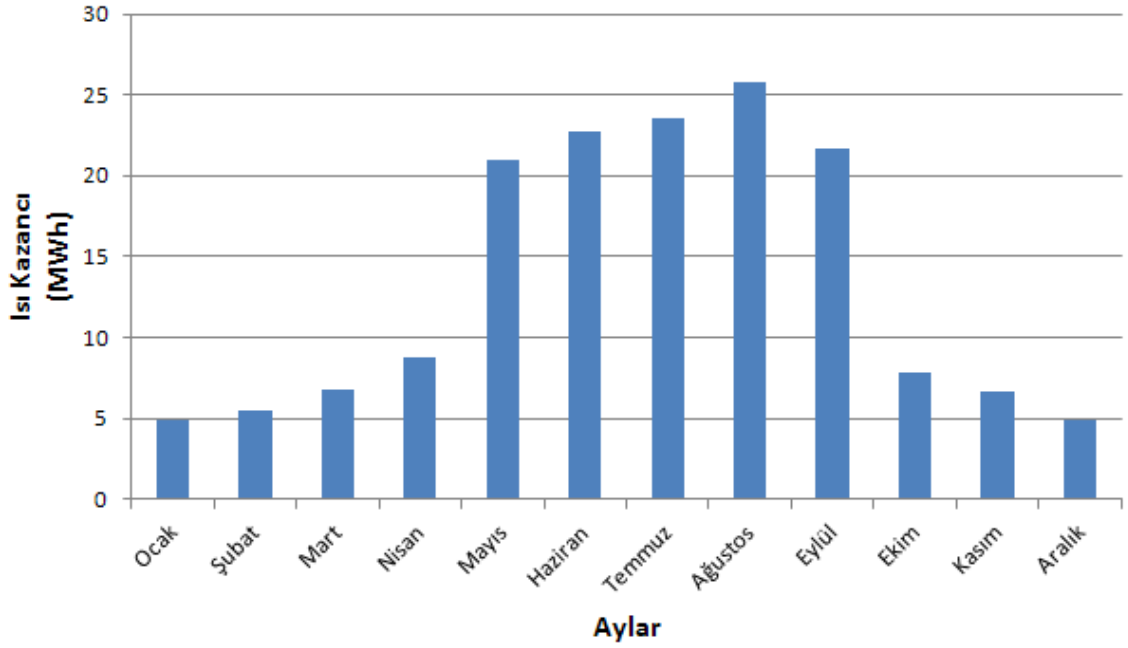


Şekil 5. 4 Dükân insan sayısı profili

Tanımlanan veriler ışığında yapılan hesaplar sonucu mevcut binanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerji tüketim değerleri aylık olarak sırasıyla Şekil 5.5’de ve Şekil 5.6’da gösterilmektedir. Kış aylarında oluşan ısı kazançlarını iç ortamdan meydana gelen kazançlar oluşturmaktadır. Bir yıl boyunca ölçülen bina yüzey sıcaklık değerleri hesaplarda referans olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. 5 Yıllık ısıtma enerjisi dağılımı



Şekil 5. 6 Yıllık soğutma enerjisi dağılımı

5.3 Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Yönlere göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplarında formüllerde kullanılan spesifik veriler kuzey yönü için gösterilmiştir. Diğer yönler için yapılan hesap sonuçları grafikler üzerinde irdelenecektir. Hesapta kullanılan parametreler Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 4 Hesap Parametreleri

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Ömür (N) | 10 yıl |
| Doğalgaz alt ısı değeri (H) | 34526 kJ/Nm ³ |
| Isıl verim (η) | 0,93 |
| Duvar ısı geçirgenliği (R_d) | 0,89 m ² K/W |
| EPS ısı iletim katsayısı (k_i) | 0,04 W/mK |

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, öncelikle oluşturulan model içerisindeki değişkenlerin hesaplanması gerekir. Buna göre yatırım ömrü boyunca TCMB 2013 yılı verileri çerçevesinde faiz ve enflasyon oranlarına bağlı olarak denklem (4.4) kullanılarak bugünkü değer faktörü P1;

$$P1 = \frac{1}{0,0732-0,11} \left[1 - \left(\frac{1+0,11}{1+0,0732} \right)^{10} \right]$$

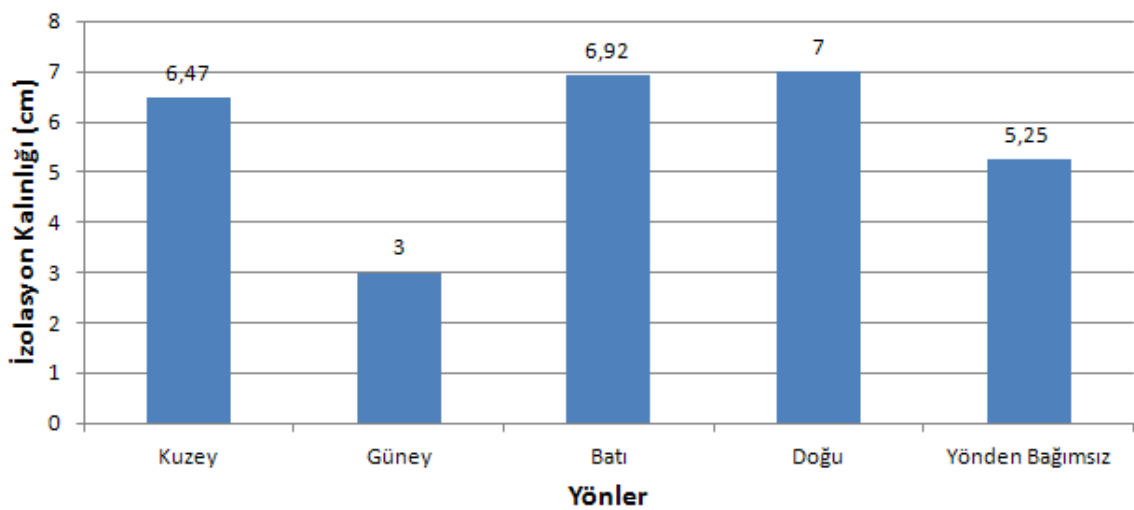
P1=10,86 Olarak bulunur.

Ocak ayı kuzey yönü için belirlenen yalıtım kalınlığı denklem (4.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_i = \left(\sum_{j=1}^{12} \frac{0,04 \times 19,88 \times 2592 \times 0,9212 \times 10,86}{34526 \times 0,93 \times 230 \times 1} \left(1 - e^{-\frac{(142,8 + \frac{210}{0,89 + \frac{0,0147}{0,04}}) \times 19,88}{1705 + 875}} \right)^{0,5} \right) - 0,89 \times 0,04$$

$L_i = 0,0147$ m

Diğer aylar içinde aynı formül kullanılarak yapılan hesaplar sonucunda, bina kuzey cephesi için 3,47 cm optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Mevcut binada bulunan 3 cm ısı izolasyonu da hesaba katıldığında toplamda kuzey cephesi için optimum yalıtım kalınlığı 6,47 cm olarak belirlenmiştir. Diğer bina cepheleri için yapılan hesaplar sonucu belirlenen yönler göre optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 7 Yönler göre optimum yalıtım kalınlıkları

5.4 Enerji Tasarrufu Hesabı

Optimum yalıtım kalınlığı belirlenen kuzey yönü için P1-P2 metoduna göre hesaplanan net enerji tasarrufu miktarı ocak ayı kuzey yönü verileri ile denklem (4.6) ve (4.7) yardımıyla hesaplanmıştır. Maliyet analizi hesabında kullanılan parametreler Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Buna göre bina kuzey cephesi için net enerji tasarrufu;

$$S = - \frac{\sum_{j=1}^{12} \left[\left(142,8 + \frac{210}{0,89 + \frac{0,0147}{0,04}} \right) \times 19,88 + \left(\left(e^{\frac{(142,8+210 \times 0,68) \times 19,88}{1705+875}} - 1 \right) \times (1705 + 875) \right) \right] \frac{86400 \times 30}{1000}}{34526 \times 0,93}$$

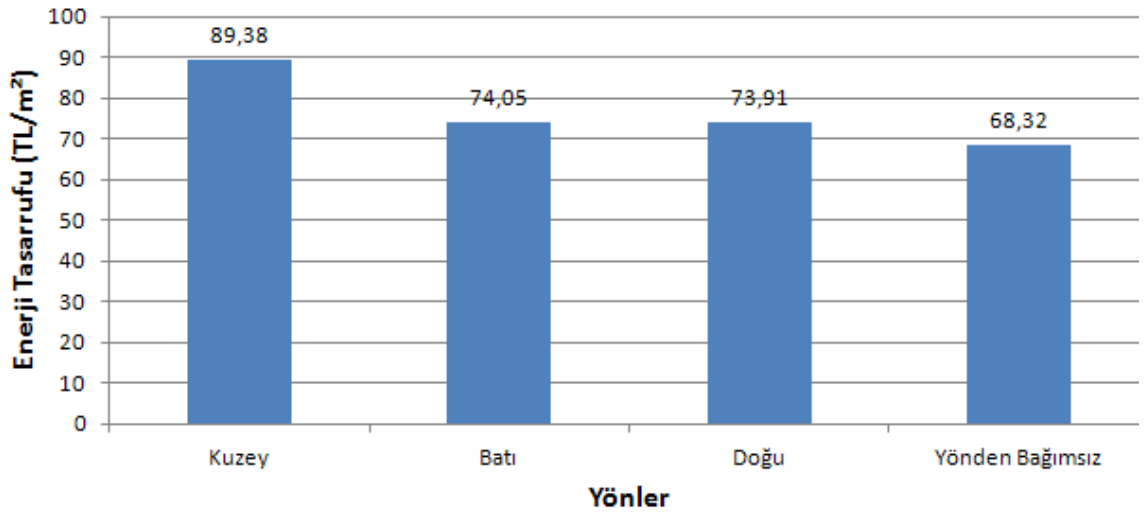
$$\times 0,9212 \times 10,86 + 3439,31 \times 10,86 - 230 \times 1 \times 0,0647 \times 210$$

S = 89,38 TL/m² olarak bulunur.

Çizelge 5. 5 Ekonomik Parametreler

| | |
|--|---------------------------|
| Yakıt Maliyeti (C _f) | 0,9212 TL/Nm ³ |
| Yalıtım birim fiyatı (C _i) | 230 TL/m ³ |
| Faiz oranı (i) | 0,11 |
| Enflasyon oranı (d) | 0,0732 |

Diğer yönler için ve yönden bağımsız durum için yapılan enerji tasarrufu hesapları Şekil 5.8’de olduğu gibidir.



Şekil 5. 8 Enerji tasarrufu miktarları

Güney cephesi için yapılan hesaplar sonucu mevcut binada uygulanan 3 cm ısı yalıtımının yeterli olduğu saptanmış ve enerji tasarrufu tablosunda gösterilmemiştir.

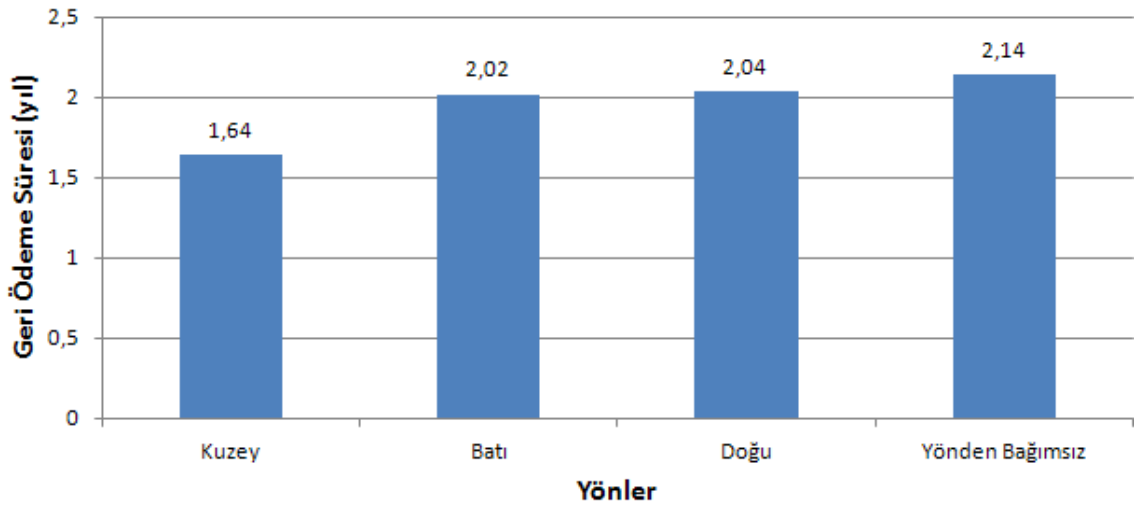
5.5 Geri Ödeme Süresi Hesabı

Bina kuzey cephesi için belirlenen optimum yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresi hesabı ocak ayı hesap verileri denklemde gösterilmek üzere eşitlik (4.9) yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre kuzey yönü için geri ödeme süresi;

$$GÖS = \frac{\ln \left(1 - \frac{230 \times 1 \times 0,0647 \times 230 \times 34526 \times 0,93 \times (0,0732 - 0,11)}{3439,31 \times 34526 \times 0,93 - Cf \times \left[\left(142,8 + \frac{210}{0,89 + \frac{0,0147}{0,04}} \right) \times 19,88 + \left(e^{\frac{(142,8 + 210 \times 0,68) \times 19,88}{1705 + 875}} - 1 \right) \times (1705 + 875) \right] \frac{86400 \times 30}{1000} \right)}{\ln \left(\frac{1 + 0,11}{1 + 0,0732} \right)}$$

GÖS = 1,64 yıl

Buna göre diğer bina cepheleri için yapılan hesaplar sonucu belirlenen geri ödeme süreleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5. 9 Yönlere göre geri ödeme süreleri

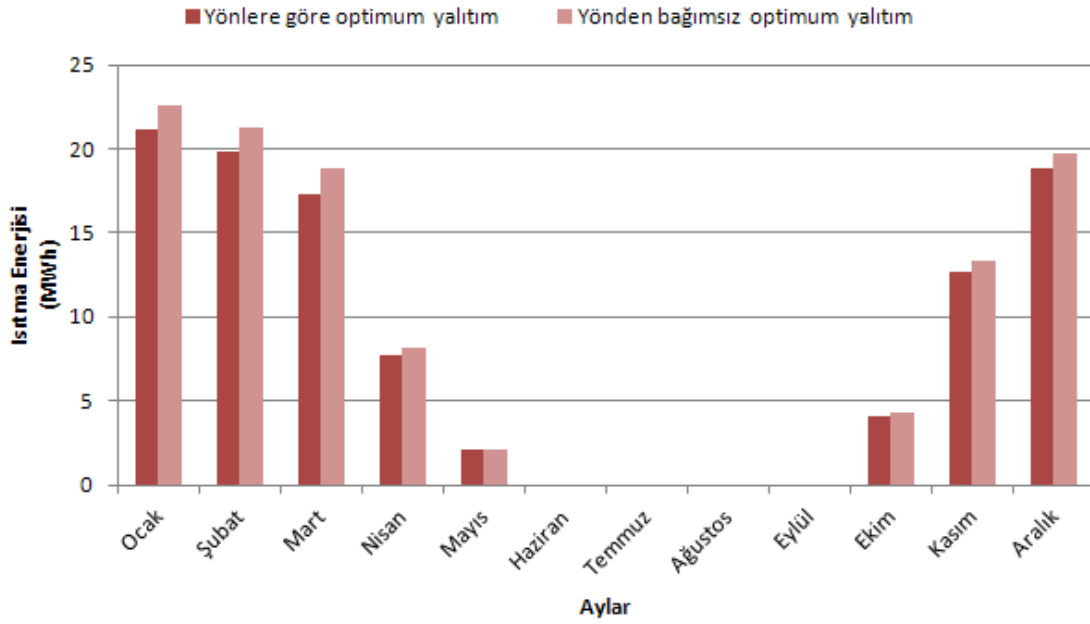
Güney cephesi için yapılan hesaplar sonucu mevcut binada uygulanan 3 cm ısı yalıtımının yeterli olduğu saptanmış ve geri ödeme süresi tablosunda gösterilmemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

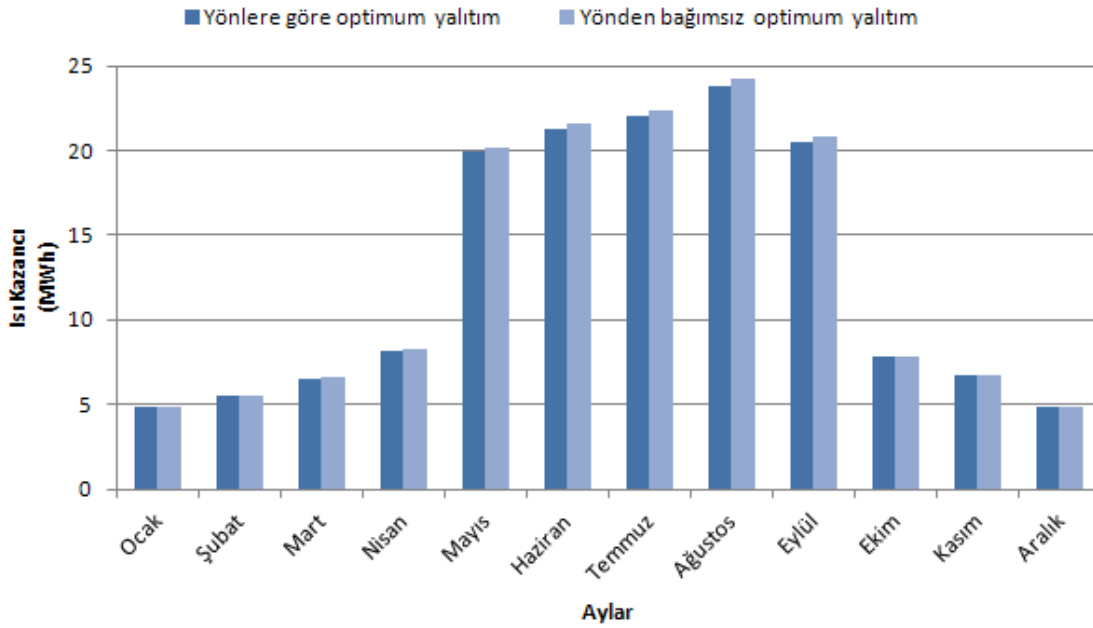
Isı yalıtımı genel anlamda binanın ısı kaybını ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltır. Yüksek oranda yakıt tüketiminin ana nedeni binalardaki ısı yalıtım uygulamasının yetersiz oluşudur. Isı yalıtımının yetersiz olması yalnızca ısı yalıtım kalınlığının yetersizliğinden değil, aynı zamanda yanlış uygulamalar sonucu ısı köprülerinin oluşmasından ve yalıtımın, tüm bina yapı bileşenlerinde uygulanmamış veya eksik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu anlamda günümüzde binalar yüksek enerji potansiyeline sahip olduklarından enerji tasarrufu sağlanabilecek yalıtım uygulaması kalınlığı belirlemek büyük önem kazanmaktadır. Bina dış duvarlarında yapılması gereken optimum yalıtım kalınlığı detaylı ısı hesapları ve ekonomik analizle bulunur.

Bu çalışmada dış duvarlardaki optimum yalıtım kalınlığı ısıtma rejimi için yönlere göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bunun için binanın bir sene boyunca her yönü için eş zamanlı olarak veri kaydedici aracılığıyla iç yüzey ve dış yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Düşük yüzey sıcaklıkları sebebiyle aynı zamanda duvar yüzeylerinde yoğuşma ve küf oluşumu meydana gelmektedir. Dış duvarlardan geçen ısıtma yükleri hesaplarında İstanbul, Türkiye için saatlik iklim verileri ölçülerek kullanılmıştır. Uygulamada ele alınan binada yönlere göre ayrı ayrı belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları ile hesaplanan ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarında, mevcut 3cm ısı yalıtımlı binaya göre %17 oranında azalma gerçekleşmiştir. Yapılan hesaplar sonucu yönlere göre optimum yalıtım kalınlığı belirlemenin tüm bina için yönden bağımsız optimum yalıtım kalınlığından daha ekonomik olduğu saptanmıştır. Konu ile ilgili yapılacak bundan sonraki çalışmalarda algoritma geliştirilerek, her bina için yönlere göre optimum yalıtım

kalınlığı bulunabilir. İki durum içinde belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları doğrultusunda yapılan hesaplar sonucunda Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü üzere ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarında farklılıklar görülmektedir. Buna göre yönlere göre yalıtım kalınlığı uygulanmasıyla tüm bina için ısıtma ve soğutma enerjilerinde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 6. 1 Optimum yalıtımda yıllık ısıtma enerjisi dağılımı



Şekil 6. 2 Optimum yalıtımda yıllık soğutma enerjisi dağılımı

Isı yalıtım yatırımının ekonomik analizi P1–P2 yöntemi kullanılarak yapılmış ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı ve ekonomik analizlerde mevcut binada bulunan 3 cm ısı yalıtımı göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre hesap sonuçları mevcut ısı yalıtımı ile beraber değerlendirilmiştir. Çizelge 6.1’de, yapılan hesaplar sonucunda yönlere ve yönden bağımsız duruma göre optimum ısı yalıtım kalınlığı değerleri ve ekonomik analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6. 1 Mevcut binada yönlere göre optimum yalıtım kalınlığı hesap sonuçları

| Bina Cephesi | Optimum Yalıtım Kalınlığı (cm) | Enerji Tasarrufu (TL/m²) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
|---------------------|---|--|------------------------------------|
| Kuzey | 6,47 | 89,38 | 1,64 |
| Güney | 3 | - | - |
| Doğu | 7 | 73,91 | 2,04 |
| Batı | 6,92 | 74,05 | 2,02 |
| Yönden Bağımsız | 5,25 | 68,32 | 2,14 |

Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere mevcut bina uygulamalarında olduğu gibi yönden bağımsız hesap sonuçları incelendiğinde yönlere göre yalıtım kalınlığı belirlemenin ekonomik anlamda karlı bir yatırım olduğu saptanmıştır. Yön bazında ise en fazla enerji tasarrufu ve en kısa ekonomik geri dönüşüm süresi 6,47 cm optimum ısı yalıtım kalınlığı ile 89,38 TL/m² yıllık tasarruf sağlanan kuzey cephesinde meydana gelmektedir. Mevcut ısı yalıtımının 3 cm olduğu güney cephesinde ise yalıtım kalınlığının uygunluğu yapılan hesaplar sonucu tespit edilmiş ve dolayısıyla enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplarının yapılması gerekli görülmemiştir.

Mevcut bina tasarımında (Şekil 5.2) görüldüğü üzere güney cephesinde diğer bina cephelerine göre pencere alanlarının fazla olduğu bir durum söz konusudur. Bu anlamda pencere duvar alan oranının fazla olması dolayısıyla bina güney cephesinde meydana gelen ısı akısının az bir kısmı duvar alanlarından geçmektedir. Sonuç olarak güney cephesindeki belirlenen optimum ısı yalıtım kalınlığı diğer cephelerden daha az olmaktadır. Bu durum, optimum ısı yalıtım kalınlığı belirlenirken bina cephelerindeki cam alanlarının etkisini ortaya çıkarmaktadır. Buna göre binanın yönü, yalıtım malzemesi ve uygulama biçimi, binanın bulunduğu iklim bölgesi, yapı malzemelerinin

kalitesi, yakıt ve yalıtım malzemesi birim fiyatları gibi optimum yalıtım kalınlığı belirlenmesine etki eden bilinen etkenler dışında mimari tasarımında büyük bir payı ortaya çıkmıştır. Yönden bağımsız olarak yapılan hesaplar sonucu belirlenen 5,25 cm optimum yalıtım kalınlığı uygulaması, yöne göre yapılan hesaplar sonucu belirlenen 3 cm yalıtımın yeterli olmasından dolayı uygun bir seçim olmamaktadır. Aynı şekilde diğer bina yönleri için de belirlenen yalıtım kalınlıklarında da görüldüğü üzere yönlere göre optimum yalıtım kalınlığı belirlenmesi ekonomik anlamda bir kazanç sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Özel, M., (2011). "Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method", *Applied Energy*, 88: 2429-2435.
- [2] Daouas, N., (2010). "A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads", *Applied Energy*, 88: 156-164.
- [3] Özel, M., (2013). "Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in hot climate", *Energy Conversion and Management*, 66: 106-114.
- [4] Axaopoulos, I., Axaopoulos, P. ve Gelegenis, J., (2014). "Optimum insulation thickness for external walls on different orientations considering the speed and direction of the wind", *Applied Energy*, 117: 167-175.
- [5] Özkan, D., B., Onan, C. ve Erdem, S., (2009). "Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Isı Yalıtımına Etkisi", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 27: 190-196.
- [6] Özel, M., ve Pıhtılı, K., (2008). "Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerini Kullanarak Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi", *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3): 191-198.
- [7] Özkan, D., B. ve Onan, C., (2011). "Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic region in Turkey", *Applied Energy*, 88: 1331-1342.
- [8] Kürekçi, A., Bardakçı, A., D., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., (2012). "Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 131: 5-21.
- [9] Bolattürk, A., (2006). "Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey", *Applied Thermal Engineering*, 26: 1301-1309.
- [10] Bolattürk, A., (2008). "Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey", *Building and Environment*, 43: 1055-1064.
- [11] Gürel, A. ve Daşdemir, A., (2011). "Türkiye'nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri için Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27: 346-352.

- [12] Gölcü, M., Dombaycı, A. ve Abalı, S., (2006). "Optimization of Insulation Thickness for External Walls Using Different Energy Sources", Applied Energy, 83: 921-928.
- [13] Kaynaklı, O., (2008). "A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness", Renewable Energy, 33: 1164-1172.
- [14] Kaynaklı, Ö., Kılıç, M. ve Yamankaradeniz, R., (2010). "Isıtma ve Soğutma Süreci İçin Dış Duvar Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı", Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 65: 39-45.
- [15] Karagöl, E., T. ve Mıhçıokur, Ü., İ., (2013). "Enerji Görünümü: Türkiye", SETA Perspektif, 16: 1-4.
- [16] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2012). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümü, Ankara.
- [17] EPDK, (2013). Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu, Doğalgaz Piyasası Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [18] Mega, V., (2005). Sustainable Development, Energy and the City a Civilization of Visions and Actions, Springer, USA.
- [19] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2013). 2014 Yılı Bütçe Sunumu, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.
- [20] Mendler, S. ve Odell, W. (2000). The HOK Guidebook to Sustainable Design, John Wiley & Sons, USA.
- [21] Binalarda Enerji Verimliliği, Binalarda Enerji Performansı, <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Default.aspx#U1bb3KJpeuQ>, 24 Kasım 2013.
- [22] Daniels, K., (1997). The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas, Birkhauser Verlag, Berlin.
- [23] Roaf, S., (2003). Ecohouse 2: A Design Guide, Elsevier, Italy.
- [24] Göksel, T. ve Özbalta, N., (2002). "Enerji Korunumunda Düşük Enerjili Bina Tasarımları", Mühendis ve Makine, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 506: 32-36.
- [25] Gauzin-Müller, D., (2002). Sustainable Architecture and Urbanism, Birkhauser, Italy.
- [26] T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (27075), 5.12.2008.
- [27] İzocam, (2013). Açıklamalı ve Örneklerle TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, İstanbul.
- [28] T.C. Resmi Gazete, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. (27019), 9.10.2008.
- [29] Hafizoğlu, T., (2013). Binaların Isıtma Soğutma Enerji Tüketimlerinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cem BAYKAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.06.1989 – Bakırköy
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : cem_bykl@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|----------------------------|----------------|
| Lisans | Makine Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi | 2011 |
| Lise | Fen | Eyüp Anadolu Lisesi | 2006 |

İŞ TECRÜBESİ

| Yıl | Firma/Kurum | Görevi |
|-------|--------------------------------------|-----------------|
| 2011- | Giray Mühendislik Taah. ve Tic. A.Ş. | Proje Mühendisi |

ÖDÜLLERİ

1. 2008-2009 TEV Yüksek Öğrenim Üstün Başarı Ödülü
2. 2009-2010 TEV Yüksek Öğrenim Üstün Başarı Ödülü
3. 2010-2011 TEV Yüksek Öğrenim Üstün Başarı Ödülü